ISSN 1346-7301
国総研研究報告　第５７号
平 成　２８ 年　９ 月

# 国土技術政策総合研究所
# 研究報告

RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.５７　　September 2016

東日本大震災に対して国土技術政策総合研究所が行った
5 年間の調査研究の全記録

Compilation of Research Results over 5 Years (FY 2011-2015) by NILIM to Contribute Toward Reconstruction Following the Great East Japan Earthquake

**国土交通省　国土技術政策総合研究所**

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所研究報告
第 57 号　　2016 年 9 月

# 東日本大震災に対して国土技術政策総合研究所が行った 5 年間の調査研究の全記録

防災・減災研究推進本部　編集

概要

本研究報告は，「第Ⅰ部　調査研究の全体俯瞰」，「第Ⅱ部　本報告書の基本構成と読み方」，「第Ⅲ部　被害調査編」，「第Ⅳ部　研究成果編」「第Ⅴ部　津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた分野横断的取り組み」の５部構成となっている．第Ⅲ部とⅣ部で調査研究の内容を記述し、第Ⅴ部は結語的内容である．

国土技術政策総合研究所が扱う分野は，下水道，河川，海岸，土砂災害，道路交通，道路構造物，建築，住宅，都市（都市公園を含む），沿岸防災，港湾，空港，社会資本マネジメントと多岐にわたる．また東日本大震災では，地震動と津波という２つのハザードが生起した．さらに調査研究の類型も，ハザードおよび被害の把握・分析，危険事象生起の予測・可能性評価，技術基準等における外力設定や構造物の設計基準等の改定・作成のための検討，工法・手法の開発，復旧・復興の手順・フレームの提示，災害発生覚知手法，災害対応マネジメント手法というように，基盤的検討から施策実践に直結するものにまで及ぶ．

本研究報告では，上記の順に，対象分野を第１軸，今回の災害を起こした主要ハザードの種別（２種類）を第２軸，調査研究の類型を第３軸と捉え，これら３つの軸の相互関係を整理し，それと各調査研究との関係を俯瞰して説明する第Ⅰ部を設けた．この内容は，第Ⅲ部（被害調査編）と第Ⅳ部（研究成果編）に記述している個々の内容の位置づけおよび相互の繋がりを理解する羅針盤の役割を果たす．これにより，個々の内容を結び合わせて統合的に捉える視点も読者に提示できるようにしている．

また本研究報告では，国総研資料や同プロジェクト研究報告など，国総研等の刊行物として発行済みのものに内容が収められている場合には，それを"コア文献"と称し，その要点だけを記述する方式を採用した．目次構成と関連づけたコア文献のリストはアーカイブとしての役割を持つ．読者は必要に応じて，本研究報告とは別にコア文献を参照することになるため，第Ⅱ部ではこのような本研究報告の読み方を説明している．

以上のように本研究報告は，網羅性と総合性を両立するとともに，アーカイブとしての特徴も備えたものである．

キーワード：東日本大震災，分野横断的取り組み，アーカイブ

Research Report of NILIM
No.57 September 2016

# Compilation of Research Results over 5 years（FY2011-2015）by NILIM to Contribute Toward Reconstruction Follwing the Great East Japan Earthquake

Edited by the Disaster Prevention and Reduction Research Committee

Synopsis

This Research Report consists of five parts: "Part I: Overview of research", "Part II: How to read the Report and its basic structure", "Part III: Damage investigation", "Part IV: Research Results", and "Part V: Cross-sectional activities towards development of multiple protection and mitigation systems against tsunami-induced disaster". Part III and Part IV describe investigation and research, while Part V includes concluding remarks.

National Institute for Land and Infrastructure Management is responsible for multiple research fields including wastewater system, river, coast, sabo, road traffic, road structure, building, housing, urban planning and park, coastal and marine disaster prevention, port and harbor, airport, and land and construction management. Multiple hazards, i.e. earthquake ground motion and tsunami, led to the Great East Japan Earthquake. The investigation and research are categorized into multiple types as well from fundamental studies to ones directly applied to practice.

The resarch fields, major hazards, and research types are considered "three axes" in this Research Report; Part I explains the interrelationships of these three axes and overlooks relationship between the axes and each investigation or research. Thus, Part I helps readers to understand locations and interrelationships of investigation and reserch described in Part III and Part IV so that the readers are able to have synthetic viewpoint.

Publications that contain related research results, which are often Technical Report or Project Research Repot of NILIM, are called "Core References" and only their essential points are compiled in this Researh Report. The list of Core References can be used as an archive of our investigation and research. Part II explains how to read this Research Report including a guide to Core References.

This Research Report introduces our investigation and research with comprehensiveness and synthesis and thus can be characterized as an archive of the cross-sectional activities over five years.

Key Words: the Great East Japan Earthquake, cross-sectional activities, archive

# ま え が き

東日本大震災から５年半が過ぎました。死者 15,894 名、行方不明 2,557 名（平成 28 年 9 月 9 日現在）、避難者数 約 47 万人（発災直後）を数え、暮らしと産業の土台にも甚大な被害がもたらされました。

国土交通省 国土技術政策総合研究所は、独立行政法人（当時：現在は国立研究開発法人）土木研究所、建築研究所及び港湾空港技術研究所と連携・協力し、発災直後から、緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）等として職員を現地に派遣し、災害現場における緊急対応の技術支援にあたりました。引き続いて、被害調査と分析、緊急措置や復旧・復興に向けた対応策の検討、地方整備局や地方自治体などへの技術支援、緊急的に必要とされた法整備や技術基準等の改定への技術支援に取り組みました。

1 年 10 ヶ月後の平成 25 年 1 月に、これら一連の震災対応と、震災から浮き彫りになった新たな課題に対する研究の方向性をとりまとめ、「2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み―緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録―」（国土技術政策総合研究所 研究報告 第 52 号）として発刊しました。この刊行企図は、研究成果のとりまとめという通常の研究報告の性格をあえて脇に置き、震災対応の記録をきちんと残し広く共有することに目標を絞り、研究所に求められる災害対応力の向上に役立てる、というものでした。

その後、今日まで 3 年以上が経過し、その間、東日本大震災を踏まえ着手した調査研究の結果が概ね出そろい、現場や施策への反映状況も見えてきました。それらの内容は、これまでにも研究資料や論文等の形で逐次公表してきていますが、それにとどめず全体を系統立てて示すことも大変重要です。そこで、東日本大震災に対して当研究所が中心になって実施してきた調査研究の全容を収めた研究報告をここに刊行することにしました。上記の第 52 号と本 57 号とは、震災対応活動と調査研究内容という対の関係をなします。

さて、発災後 5 年間の集中復興期間が終わり、本年度、復興ステージが「復興・創生期間」に移行しました。集中復興期間において、ライフラインや交通インフラの復旧、ガレキ処理が概ね完了し、海岸での対策や住宅再建・復興まちづくりのための工事等も進みました。その一方、避難者等はなお約 14．8 万人を数えます（復興庁；平成 28 年 7 月 14 日現在）。政府は、復興・創生期間における基本姿勢として、「新たな課題や多様なニーズにきめ細やかに対応しつつ、10 年間の復興期間の「総仕上げ」に向けて、被災地の自立につながり、地方創生のモデルとなるような復興を実現することを目指す。このため、引き続き、復興の新たなステージに応じた切れ目のない被災者支援を行うとともに、次なる災害に備えた住まいの再建や復興まちづくり、被災地の発展基盤となるインフラの復興を着実に進める。さらに、コミュニティの形成や産業・生業の再生等を通じて、新たなまちでの暮らしの再開や地域の再生を図る。」を打ち出しています（「復興・創生期間」における東日本大震災からの復興の基本方針（平成 28 年 3 月 11 日　閣議決定）より抜粋）。

そうした中、本年 4 月 14 日に始まった熊本地震は熊本県、大分県を中心に大きな被害をもたらしました。南海トラフ巨大地震や首都直下地震など甚大な被害につながる地震発生も想定されています。地震災害対策はますます重要かつ喫緊の課題となっています。

国土技術政策総合研究所は、引き続き、国土交通本省及び関係部局とともに、また関係する調

査研究機関等と連携・協力しながら、「現場の課題解決に資する技術力」を基軸に、東日本大震災からの被災地復興への貢献を含め、我が国の震災対応力向上を技術政策面で支援して参る所存です。平成 28 年熊本地震災害に対しても、復旧・復興に向けた現場の取り組みへの技術支援を本格化させています（熊本地震災害に関する技術検討は進行中であり、本研究報告では取り上げていません）。

そこにおいて中核となるべきは絶えざる技術の研鑽です。そのために大切なのは、現場組織が震災への対応状況から教訓を学び取り、それを今後に活かす取り組みを真摯に行うのと同様に、「震災に対応して行った調査研究がどのようなもので、どのように施策に反映され、より重要なこととして、その成果が震災の軽減に具体にどう役立ち、どこに課題があるか？」を見据え次に活かすという、研究の PDCA サイクルをまわすことです。この研究報告が、そのような技術の連続展開を確かなものとする一助になれば誠に幸いです。

平成 28 年 9 月

国土交通省 国土技術政策総合研究所　所長　藤田 光一

# 本研究報告の特徴

本研究報告は、「第Ⅰ部　調査研究の全体俯瞰」、「第Ⅱ部　本報告書の基本構成と読み方」、「第Ⅲ部　被害調査編」、「第Ⅳ部　研究成果編」「第Ⅴ部　津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた分野横断的取り組み」の５部構成となっています。第Ⅲ部とⅣ部で調査研究の内容を記述し、第Ⅴ部は結語的内容となっています。

本研究報告には２つの特徴があります。１つは、網羅性と総合性（synthesis）の両立です。国土技術政策総合研究所（以下、国総研と略記）が扱う分野は、下水道、河川、海岸、土砂災害、道路交通、道路構造物、建築、住宅、都市（都市公園を含む）、沿岸防災、港湾、空港、社会資本マネジメントと多岐にわたります。また東日本大震災では、地震動と津波という２つのハザードが生起しました。さらに調査研究の類型も、ハザードおよび被害の把握・分析、危険事象生起の予測・可能性評価、技術基準等における外力設定や構造物の設計基準等の改定・作成のための検討、工法・手法の開発、復旧・復興の手順・フレームの提示、災害発生覚知手法、災害対応マネジメント手法というように、基盤的検討から施策実践に直結するものにまで及びます。

本研究報告では、上記の順に、対象分野を第１軸、今回の災害を起こした主要ハザードの種別（２種類）を第２軸、調査研究の類型を第３軸と捉え、これら３つの軸の相互関係を整理し、それと各調査研究との関係を俯瞰して説明する第Ⅰ部を設けました。この内容は、第Ⅲ部（被害調査編）と第Ⅳ部（研究成果編）に記述している個々の内容の位置づけおよび相互の繋がりを理解する羅針盤の役割を果たします。これにより、個々の内容を結び合わせて統合的に捉える視点も読者に提示できるようにしています。

２つ目の特徴は、本研究報告がアーカイブ的な性格を持ち合わせていることです。実質的な研究期間が５年に及ぶことと震災規模の大きさから、既公表の内容を１つの研究報告に集めるだけでも非常に大部になります。そこで、国総研資料や同プロジェクト研究報告など国総研の刊行物として発行済みのもの（土木研究所、建築研究所及び港湾空港技術研究所との共同刊行およびそれに準じるものも含む）に内容が収められている場合には、それを“コア文献”と称し、その要点だけを記述する方式を採用しました。こうして、目次構成と関連づけたコア文献のリストはアーカイブとしての役割を持つことになります。

読者には、必要な場合、本研究報告とは別にコア文献を探索・参照する手間をとらせることになりますが、要点把握・全体俯瞰の容易性と内容の網羅性との折り合いをつけるための工夫としてご理解いただければ幸いです。なお、コア文献は当研究所等のウェブサイトで全文閲覧・ダウンロードいただけます。以上に沿った本研究報告の読み方を第Ⅱ部で丁寧に説明しています。

以上から、まず第Ⅱ部をお読みいただき、必要に応じて第Ⅰ部をご覧いただきながら、第Ⅲ部、第Ⅳ部、そして第Ⅴ部に進んでいただくことをお勧めいたします。

なお、組織の名称につきましては、以下の略称を用いています。

・国土技術政策総合研究所→国総研
・独立行政法人　土木研究所（現：国立開発研究法人　土木研究所）→土研
・独立行政法人　建築研究所（現：国立開発研究法人　建築研究所）→建研
・独立行政法人　港湾空港技術研究所（現：国立研究開発法人　海上・港湾・航空技術研究所　港湾空港技術研究所）→港空研

# 目　次

まえがき
本研究報告の特徴
目次
執筆者，研究従事者一覧
編集体制，問い合わせ先

第Ⅰ部　調査研究の全体俯瞰 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
Ⅰ.1　全体俯瞰図の作成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
Ⅰ.2　全体俯瞰図から見る調査研究の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
Ⅰ.3　全体俯瞰図を用いた分析の例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
　Ⅰ.3.1　調査研究の展開パターン ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
　Ⅰ.3.2　分野横断の調査研究連携 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
Ⅰ.4　まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5

第Ⅱ部　本報告書の基本構成と読み方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

第Ⅲ部　被害調査編 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
Ⅲ.1　東日本大震災における地震・津波の
　　外力・影響に関する共通的分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
　Ⅲ.1.1　観測された地震動の特性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
　Ⅲ.1.2　津波の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21
Ⅲ.2　地震により発生した土砂災害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
Ⅲ.3　下水道関係の被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23
　Ⅲ.3.1　下水道施設の被害状況と課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23
　　Ⅲ.3.1.1　下水道施設被害の総括 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23
　　Ⅲ.3.1.2　緊急措置、応急復旧、本復旧状況とあり方 ・・・・・・・・・・・・ 23
　　Ⅲ.3.1.3　今後の耐震・対津波対策における新たな視点 ・・・・・・・・・・・ 23
　　Ⅲ.3.1.4　復興への新たな取り組み ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
　Ⅲ.3.2　管路内津波遡上の実態とそれがもたらす損傷 ・・・・・・・・・・・・・ 25
　Ⅲ.3.3　液状化による地表への管きょ浮き上がり現象 ・・・・・・・・・・・・・ 26
Ⅲ.4　河川・海岸被害の関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
　Ⅲ.4.1　地震及び津波による堤防等河川管理施設の被害 ・・・・・・・・・・・・ 27
　　Ⅲ.4.1.1　地震動による河川堤防の被害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27

Ⅲ.4.1.2　津波による河川堤防等の被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　27
Ⅲ.4.2　津波による河川汽水域への影響－北上川河口を例として－　・・・・・・・　28
Ⅲ.4.3　ダムの安定性確認と今後の対応策の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・　28
Ⅲ.4.4　ダムで観測された地震動記録の収集・分析　・・・・・・・・・・・・・・・　29
Ⅲ.4.5　海岸施設の津波による被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　29
Ⅲ.4.5.1　津波被害の分布　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　29
Ⅲ.4.5.2　痕跡調査による津波遡上特性の把握　・・・・・・・・・・・・・・・・・　30
Ⅲ.4.5.3　仙台平野における半壊した海岸堤防、
線状盛土構造物の減災効果の評価　・・・・・・・・・・・・・・・・・　30
Ⅲ.4.5.4　地域別の海岸堤防被災パターン　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　31
Ⅲ.4.6　東北地方太平洋沖地震津波による
仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査　・・・・・・・・・　32
Ⅲ.4.7　津波前後の地形変化　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　32
Ⅲ.4.8　海岸堤防の被災要因分析　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　33
Ⅲ.4.9　東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災状況データ　・・・・・・　35
Ⅲ.5　道路構造物の被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　37
Ⅲ.5.1　道路構造物の被害概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　37
Ⅲ.5.1.1　地震動の影響による被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　37
Ⅲ.5.1.2　津波の影響による被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　40
Ⅲ.5.1.3　液状化の影響による被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　44
Ⅲ.5.1.4　地震動の特性と橋の被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　51
Ⅲ.5.2　津波による道路橋の被害事例分析　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　51
Ⅲ.5.3　道路橋に作用した津波の特性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　55
Ⅲ.5.3.1　検討概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　55
Ⅲ.5.3.2　対象道路橋位置の津波特性の算出　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　55
Ⅲ.5.3.3　被災状況との整合性の確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　56
Ⅲ.5.3.4　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　57
Ⅲ.6　沿岸・港湾関係の被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
Ⅲ.6.1　被害状況緊急調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
Ⅲ.6.2　被害状況詳細調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
Ⅲ.6.2.1　海岸保全施設　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
Ⅲ.6.2.2　漂流物　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　60
Ⅲ.6.2.3　間接被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　61
Ⅲ.6.3　復旧情報整理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　64
Ⅲ.7　仙台空港の基本施設関係の被害　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　65
Ⅲ.7.1　被害状況緊急調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　65

Ⅲ.7.2　舗装被害調査　・・・

Ⅳ.1.1　設計地震動の分析・検討の全体像　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79
Ⅳ.1.2　地盤の液状化に関する検討の全体像　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79
Ⅳ.1.3　津波防災地域づくりに関わる津波外力設定等の検討　・・・・・・・・・・ 80
Ⅳ.1.3.1　設計津波水位と最大クラスの津波の設定　・・・・・・・・・・・・・・ 81
Ⅳ.1.3.2　建築物及びその利用への影響判断に用いる基準水位の設定法　・・・ 82
Ⅳ.1.3.3　特定開発行為にかかわる技術的基準の検討　・・・・・・・・・・・・ 82
Ⅳ.1.3.4　津波予報における予想波高に応じた津波浸水域検索システムの開発　84
Ⅳ.1.4　構造物の設計等に関わる津波波力設定の全体像　・・・・・・・・・・・・ 86
Ⅳ.1.4.1　津波作用の概略と実用的波力算定法の枠組み　・・・・・・・・・・・ 86
Ⅳ.1.4.2　海上を進む津波の波圧分布の実用的算定法　・・・・・・・・・・・・ 86
Ⅳ.1.4.3　陸上を遡上する津波の波圧分布の実用的算定法　・・・・・・・・・・ 87
Ⅳ.1.4.4　陸上構造物に作用する波圧の実用的算定手法検討の新たな展開
－フルード数の導入・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 88
Ⅳ.1.4.5　津波波力設定手法の技術的系統について・・・・・・・・・・・・・・ 93
Ⅳ.2　地震に伴う土砂災害への対応の向上　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 95
Ⅳ.2.1　地震時の斜面崩壊危険度評価法の改良検討　・・・・・・・・・・・・・・ 96
Ⅳ.2.1.1　既往の評価法と課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96
Ⅳ.2.1.2　実績データの整理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96
Ⅳ.2.1.3　評価法の改良検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96
Ⅳ.2.1.4　結論　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 98
Ⅳ.2.2　地震発生後の土砂災害警戒避難雨量基準の設定　・・・・・・・・・・・・ 99
Ⅳ.2.2.1　背景　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 99
Ⅳ.2.2.2　地震発生後に暫定基準を適用する妥当性の検証　・・・・・・・・・・ 99
Ⅳ.2.2.3　暫定基準解除の考え方の検証　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 100
Ⅳ.2.2.4　暫定ＣＬのより適切な設定方法の検討・・・・・・・・・・・・・・・ 100
Ⅳ.2.2.5　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 101
Ⅳ.2.3　合成開口レーダ画像を用いた大規模崩壊地の
迅速な調査手法の提案　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 101
Ⅳ.2.3.1　はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 101
Ⅳ.2.3.2　光学画像を用いた判読調査・崩壊分布の把握　・・・・・・・・・・・ 101
Ⅳ.2.3.3　合成開口レーダ画像を用いた迅速な大規模崩壊地の調査手法の提案　103
Ⅳ.2.3.4　結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 103
Ⅳ.3　下水道関係の地震・津波対策の向上　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 105
Ⅳ.3.1　下水処理に関わる震災と緊急対応および復旧手順　・・・・・・・・・・ 105
Ⅳ.3.1.1　災害時の下水の排除・処理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 105
Ⅳ.3.1.2　下水汚泥の放射性物質への対応　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 106

Ⅳ.3.2　下水道管きょの耐震対策と被害推定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 107
Ⅳ.3.2.1　管きょ埋め戻部における締固め工の管理手法の提案　・・・・・・・・ 107
Ⅳ.3.2.2　南海トラフ地震に対する管路施設の被害推定とその活用・・・・・・・ 108
Ⅳ.3.2.3　地震後の不明水量の変化に着目した
下水道管路被災のマクロ・迅速把握　・・・・・・・・・・・・・・ 108
Ⅳ.3.3　下水道施設の応急復旧事例等の分析と防災対策の提案　・・・・・・・・・ 109
Ⅳ.4　河川・海岸関係インフラの震災対応能力の向上　・・・・・・・・・・・・・ 111
Ⅳ.4.1　実験、解析及び現地の比較による河川津波の特性の把握　・・・・・・・・ 111
Ⅳ.4.1.1　北上川を遡上した河川津波の特徴　・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
Ⅳ.4.1.2　水理模型実験の概要及び製作上の工夫　・・・・・・・・・・・・・・ 112
Ⅳ.4.1.3　河川津波の遡上に影響する要因の分析　・・・・・・・・・・・・・・ 114
Ⅳ.4.1.4　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 118
Ⅳ.4.2　地震・洪水の同時期生起への対応方策　・・・・・・・・・・・・・・・・ 119
Ⅳ.4.2.1　地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析　・・・・・・ 119
Ⅳ.4.2.2　堤内地での対策を含む様々な
被害低減対策による効果の特性の分析　・・・・・・・・・・・・・ 127
Ⅳ.4.3　ダムにおける大規模地震動の設定方法　・・・・・・・・・・・・・・・・ 131
Ⅳ.4.3.1　はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 131
Ⅳ.4.3.2　分析に利用した加速度記録　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 131
Ⅳ.4.3.3　東北地方太平洋沖地震を考慮したダム距離減衰式の作成　・・・・・・ 132
Ⅳ.4.3.4　ダム距離減衰式による
加速度応答スペクトルの推定値と実測値との比較　・・・・・・・ 135
Ⅳ.4.3.5　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 139
Ⅳ.4.4　津波防災・減災に関わるインフラの機能拡充　・・・・・・・・・・・・・ 141
Ⅳ.4.4.1　粘り強い海岸堤防の構造の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 141
Ⅳ.4.4.2　海岸堤防の粘り強さ向上による減災効果　・・・・・・・・・・・・・・ 144
Ⅳ.4.4.3　自然・地域インフラの活用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 146
Ⅳ.5　道路インフラに関わる震災対応能力の向上　・・・・・・・・・・・・・・・ 149
Ⅳ.5.1　道路橋示方書の設計地震動の改定および津波に対する
配慮事項の規定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 149
Ⅳ.5.2　道路平面部の液状化による被害の影響要因に関する検討　・・・・・・・・ 151
Ⅳ.5.2.1　東日本大震災における道路平面部の液状化被災状況　・・・・・・・・ 151
Ⅳ.5.2.2　道路平面部の液状化被害と諸条件の関係に関する検討　・・・・・・・ 154
Ⅳ.5.3　センサーを用いた道路橋の自動通行障害把握システムの開発　・・・・・・ 166
Ⅳ.5.3.1　はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 166
Ⅳ.5.3.2　被災状況と通行障害の整理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 166

Ⅳ.5.3.3　地震被害による通行障害への影響　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 167
Ⅳ.5.3.4　被災把握技術の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 167
Ⅳ.5.3.5　道路橋被災把握システムの構築　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 169
Ⅳ.5.3.6　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 170
Ⅳ.5.4　道路啓開優先路線の選定法に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・ 172
Ⅳ.5.4.1　現地調査に基づく道路啓開状況と
避難所物資供給状況の関係分析　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 172
Ⅳ.5.4.2　災害対応行動に基づいた道路ネットワーク重要度評価と
啓開優先路線選定に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 174
Ⅳ.5.4.3　道路上のガレキ量予測に関する調査　・・・・・・・・・・・・・・・ 188
Ⅳ.6　沿岸・港湾関係インフラの防災対策について　・・・・・・・・・・・・・・ 191
Ⅳ.6.1　防災計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 191
Ⅳ.6.1.1　津波避難シミュレーションによる避難安全性の評価　・・・・・・・・ 191
Ⅳ.6.1.2　海洋レーダによる津波検知技術の開発　・・・・・・・・・・・・・・ 192
Ⅳ.6.2　技術基準の改訂に資する研究　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 193
Ⅳ.6.2.1　避難水域整備に関わる港湾計画基準について　・・・・・・・・・・・ 193
Ⅳ.6.2.2　海岸保全施設の耐津波設計について　・・・・・・・・・・・・・・・ 193
Ⅳ.6.2.3　港湾施設（防波堤）の耐津波設計について　・・・・・・・・・・・・ 194
Ⅳ.6.2.4　港湾施設の耐震設計と地震被害推定について　・・・・・・・・・・・ 197
Ⅳ.7　空港における減災対策の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 201
Ⅳ.7.1　震災リスクマネジメントの応用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 201
Ⅳ.7.2　震災初期段階での緊急対応に求められる空港機能の分析　・・・・・・・ 202
Ⅳ.8　建築物の地震動・津波・地震時火災への対処能力向上　・・・・・・・・・・ 203
Ⅳ.8.1　津波避難ビルの構造基準の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 203
Ⅳ.8.1.1　津波避難ビル等の構造基準の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 203
Ⅳ.8.1.2　津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討　・・・・・・・・・ 204
Ⅳ.8.1.3　外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発　・・・・・・・・・・・ 205
Ⅳ.8.2　建築物の長周期地震動への対応　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 207
Ⅳ.8.3　高層建築物の地震後の火災対応　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 207
Ⅳ.8.3.1　ヒアリング結果を踏まえた状況の想定　・・・・・・・・・・・・・・ 207
Ⅳ.8.3.2　点検方法について　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 208
Ⅳ.8.4　天井脱落対策に係わる技術基準の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 208
Ⅳ.8.5　エレベーター、エスカレーターの脱落防止対策の検討　・・・・・・・・・ 209
Ⅳ.8.6　住宅性能表示制度に係わる住宅地盤の液状化判定手法　・・・・・・・・・ 209
Ⅳ.8.6.1　住宅地盤の液状化判定手法の開発　・・・・・・・・・・・・・・・・ 210
Ⅳ.8.6.2　住宅地盤の液状化に関する情報提供の検討　・・・・・・・・・・・・ 213

Ⅳ．9　被災者の住宅確保方策の向上　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 215
Ⅳ.9.1 応急仮設住宅の適切な供給に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 215
Ⅳ.9.1.1　仮設住宅の供給及び解消の状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 215
Ⅳ.9.1.2　借り上げ仮設住宅入居世帯の入居実態と再建動向　・・・・・・・・・ 216
Ⅳ.9.2　災害公営住宅の供給促進に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 219
Ⅳ.9.2.1　災害公営住宅基本計画等事例集　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 219
Ⅳ.9.2.2　原発被災者向け災害公営住宅の整備計画の立案支援及び
入居者への生活支援スキームの提案　・・・・・・・・・・・・・・・ 219
Ⅳ.9.2.3　公営住宅の建設と復興まちづくり　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 230
Ⅳ.9.3　被災地域の住宅生産体制に関する調査　・・・・・・・・・・・・・・・・ 231
Ⅳ.9.3.1　地域型復興住宅の生産体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 231
Ⅳ.9.3.2　地域型仮設住宅　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 232
Ⅳ.9.3.3　地域工務店の活動　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 234
Ⅳ.9.4　被災前景観の３Ｄデータの作成　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 237
Ⅳ.10　震災対応能力の高い都市づくり方策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 238
Ⅳ.10.1　津波避難安全性確保のための市街地整備手法に関する研究　・・・・・ 238
Ⅳ.10.1.1　津波避難シミュレータの開発　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 238
Ⅳ.10.1.2　津波避難を円滑化する市街地整備の
計画手法に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 239
Ⅳ.10.2　大規模被災時の防災拠点機能の
リダンダンシー確保の計画手法に関する研究　・・・・・・・・・・・ 241
Ⅳ.10.2.1　東日本大震災被災都市における
都市防災拠点機能の喪失状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 241
Ⅳ.10.2.2　津波被災リスクのある都市における防災拠点の
機能確保手法に関する検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 243
Ⅳ.10.3　市街地の液状化対策に資する技術開発　・・・・・・・・・・・・・・・ 246
Ⅳ.10.3.1　東日本大震災による
液状化被災地の復旧・復興支援技術　・・・・・・・・・・・・・・ 246
Ⅳ.10.3.2　宅地の液状化マップ作成支援ソフトの開発　・・・・・・・・・・・ 249
Ⅳ.11　復興および防災・減災に関わる公園緑地整備手法　・・・・・・・・・・・ 252
Ⅳ.11.1　東日本大震災からの復興に係る
公園緑地整備の技術的指針の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・ 252
Ⅳ.11.2　防災公園計画・設計に関するガイドライン（案）の
改訂に関する国総研の取り組み　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 252
Ⅳ.12　大規模災害時の危機対応の向上　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 254
Ⅳ.12.1　地域建設業による大規模災害時の支援活動　・・・・・・・・・・・・・ 254

Ⅳ.12.1.1　調査内容 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 254
Ⅳ.12.1.2　調査結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 254
Ⅳ.12.1.3　まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 254
Ⅳ.12.2　東日本大震災における道路管理者の対応の記録 ・・・・・・・・・・・ 255
Ⅳ.12.3　大規模広域型地震時の即時震害推測技術の開発 ・・・・・・・・・・・ 258
Ⅳ.12.3.1　はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 258
Ⅳ.12.3.2　地震災害時における道路施設管理 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 258
Ⅳ.12.3.3　即時震害推測システム ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 259
Ⅳ.12.3.4　現場での活用を踏まえた機能実装 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 264
Ⅳ.12.3.5　まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 266
Ⅳ.12.4　低頻度激甚災害に対する
危機管理方策を検討する手法の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 268
Ⅳ.12.4.1　研究の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 268
Ⅳ.12.4.2　リスクマネジメントの導入 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 268
Ⅳ.12.4.3　災害発生シナリオの構築手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 269
Ⅳ.12.4.4　災害リスクの重大性評価手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 269
Ⅳ.12.4.5　危機管理方策検討・評価手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 270
Ⅳ.12.4.6　ツールの概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 270
Ⅳ.12.4.7　試験的利用 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 271
Ⅳ13　災害対応マネジメントにおける情報技術の活用 ・・・・・・・・・・・・・ 274
Ⅳ.13.1　ETC2.0プローブを用いた通行実績区間、
区間旅行時間の把握 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 274
Ⅳ.13.2　災害危険地域内にいる車両への注意情報提供 ・・・・・・・・・・・・ 275
Ⅳ.13.3　道路基準点・道路基盤地図情報座標補正 ・・・・・・・・・・・・・・ 276
Ⅳ.13.4　震後対応支援に役立つ道路管理用情報
共有プラットフォームの検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 277
Ⅳ.13.4.1　はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 277
Ⅳ.13.4.2　道路管理ＰＦの構築 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 277
Ⅳ.13.4.3　まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 279
Ⅳ.13.5　３次元CADデータを活用した災害復旧支援に関する研究 ・・・・・・・ 279
Ⅳ.13.6　情報化施工技術による埋設ガレキ等の管理に関する研究 ・・・・・・・ 280
Ⅳ.13.7　橋梁３次元データの災害時変状把握・監視への活用 ・・・・・・・・・ 281
Ⅳ.14　東日本大震災からの復興における
自然環境・地域資源の再生手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 284
Ⅳ.14.1　海岸・港湾域の自然環境の修復 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 284
Ⅳ.14.1.1　環境の修復・再生技術 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 284

Ⅳ.14.1.2　環境に配慮した港湾構造物の復旧技術　・・・・・・・・・・・・・・ 284
Ⅳ.14.2　被災した歴史的市街地の復旧プロセス　・・・・・・・・・・・・・・・・ 285
Ⅳ.14.2.1　研究の背景と目的　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 285
Ⅳ.14.2.2　研究方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 285
Ⅳ.14.2.3　過去の自然災害における復旧事例分析　・・・・・・・・・・・・・・ 285
Ⅳ.14.2.4　東日本大震災における復旧事例分析　・・・・・・・・・・・・・・・ 290
Ⅳ.14.2.5　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 292

第Ⅴ部　津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた
　　分野横断的取り組み　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 294
Ⅴ.1　システム構築に必要な技術開発の骨格　・・・・・・・・・・・・・・・・・ 294
Ⅴ.2　システム構築と本研究報告に収められた内容との関係　・・・・・・・・・・ 294
Ⅴ.3　分野横断の統合的取り組みの重要性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 296

# 執筆者一覧

| 分野 | 大課題 | 小課題 | 執筆担当者 | 研究従事者(研究当時) |
|---|---|---|---|---|
| Ⅰ.<br>調査研究の全体俯瞰 | | | 国土技術政策総合研究所長、藤田　光一 | |
| Ⅱ.<br>本報告書の構成と読み方 | | | 日本建設情報総合センター建設情報研究所、標準部、主任研究員、杉原　直樹<br>(前　河川研究部、河川構造物管理研究官) | |
| | | | | |
| Ⅲ. 被災調査編 | | | | |
| Ⅲ. 1<br>東日本大震災における地震・津波の外力・影響に関する共通的分析 | Ⅲ. 1. 1<br>観測された地震動の特性 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 危機管理技術研究センター、地震防災研究室、室長、金子　正洋<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、片岡　正次郎<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、長屋　和宏<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、研究官、研究官　松岡　一成 |
| | Ⅲ. 1. 2<br>津波の概要 | | 沿岸海洋・防災研究部、津波災害研究官、岡本　修 | 港湾研究部、港湾施設研究室長、長尾　毅<br>他7名 |
| Ⅲ. 2<br>地震により発生した土砂災害 | | | 都市局都市安全課、企画専門官、松下　一樹<br>(前　土砂災害研究部、土砂災害研究室、研究官) | 危機管理技術研究センター、センター長、山下　勝<br>危機管理技術研究センター、土砂災害研究官、西　真佐人<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、室長、小山内　信智<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、主任研究官、水野　正樹<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、主任研究官、冨田　陽<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、主任研究官、内田　太郎<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、林　真一郎<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、桂　真也<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、鈴木　拓郎<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、交流研究員、佐藤　匠 |
| Ⅲ. 3<br>下水道関係の被害 | Ⅲ. 3. 1<br>下水道施設の被害状況と課題 | | 下水道研究部、下水道機能復旧研究官、内田　勉<br>下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉 | 下水道研究部、下水道研究室、室長、横田　敏宏<br>下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉<br>下水道研究部、下水道研究官、尾崎　正明<br>下水道研究部、下水道研究官、森田　弘昭<br>下水道研究部、下水道研究室、研究員、松橋　学 |
| | Ⅲ. 3. 2<br>管路内津波遡上の実態とそれがもたらす損傷 | | 下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉 | 下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉<br>下水道研究部、下水道研究室、研究員、松橋　学 |
| | Ⅲ. 3. 3<br>液状化による地表への管きょ浮き上がり現象 | | 下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉 | 下水道研究部、下水道研究室、室長、小川　文章<br>下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉<br>下水道研究部、下水道研究室、研究員、松橋　学 |
| Ⅲ. 4<br>河川・海岸被害の関係 | Ⅲ. 4. 1<br>地震及び津波による堤防等河川管理施設の被害 | | 河川研究部、河川研究室、研究員、中村　賢人 | 河川研究部、部長、藤田　光一<br>河川研究部、河川研究室、室長、服部　敦<br>河川研究部、河川研究室、主任研究官、福島　雅紀<br>河川研究部、河川研究室、研究官、武内　慶了<br>河川研究部、河川研究室、研究官、福原　直樹<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、研究官、松岡　一成 |
| | Ⅲ. 4. 2<br>津波による河川汽水域への影響<br>－北上川河口を例として－ | | 河川研究部、河川研究室、研究員、中村　賢人 | 環境研究部、河川環境研究室、主任研究官、中村　圭吾 |
| | Ⅲ. 4. 3<br>ダムの安定性確認と今後の対応策の検討 | | 河川研究部、大規模河川構造物研究室、研究官、田中幸志 | 河川研究部、水資源研究室、室長、三石　真也<br>水工研究グループ、水工構造物チーム、上席研究員、山口　嘉一<br>水工研究グループ、水工構造物チーム、総括主任研究員、金銅　将史 |
| | Ⅲ. 4. 4<br>ダムで観測された地震動記録の収集・分析 | | 河川研究部、大規模河川構造物研究室、研究官、田中幸志 | 河川研究部、水資源研究室、室長、川﨑　将生<br>河川研究部、水資源研究室、研究官、伊藤　壮志 |
| | Ⅲ. 4. 5<br>海岸施設の津波による被害 | | 河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、野口　賢二<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、山田　浩次<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、鳩貝　聡<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、笹岡　信吾 |
| | Ⅲ. 4. 6<br>東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査 | | 河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、野口　賢二<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、山田　浩次<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、鳩貝　聡<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、笹岡　信吾 |
| | Ⅲ. 4. 7<br>津波前後の地形変化 | | 河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、野口　賢二<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、山田　浩次<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、鳩貝　聡<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、笹岡　信吾 |
| | Ⅲ. 4. 8<br>海岸堤防の被災要因分析 | | 企画部、国際研究推進室研究官(併)企画課、建設専門官、姫野　一樹<br>(前　河川研究部、海岸研究室、研究官) | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広 |
| | Ⅲ. 4. 9<br>東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災状況データ | | 企画部、国際研究推進室研究官(併)企画課、建設専門官、姫野　一樹<br>(前　河川研究部、海岸研究室、研究官)<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広 |
| Ⅲ. 5<br>道路構造物の被害 | Ⅲ. 5. 1<br>道路構造物の被害概要 | | 道路構造物研究部、橋梁研究室、研究官、宮原　史<br>土木研究所、構造物メンテナンス研究センター、橋梁構造研究グループ、上席研究員、玉越　隆史<br>(前　道路構造物研究部、橋梁研究室、室長) | 道路構造物研究部、橋梁研究室、室長、玉越　隆史<br>他 |
| | Ⅲ. 5. 2<br>津波による道路橋の被害事例分析 | | 道路構造物研究部、橋梁研究室、研究官、宮原　史<br>土木研究所、構造物メンテナンス研究センター、橋梁構造研究グループ、上席研究員、玉越　隆史<br>(前　道路構造物研究部、橋梁研究室、室長) | 道路構造物研究部、橋梁研究室、室長、玉越　隆史<br>道路構造物研究部、橋梁研究室、研究官、横井　芳輝<br>道路構造物研究部、橋梁研究室、交流研究員、川見　周平 |
| | Ⅲ. 5. 3<br>道路橋に作用した津波の特性 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、片岡　正次郎 |
| Ⅲ. 6<br>沿岸・港湾関係の被害 | Ⅲ. 6. 1<br>被害状況緊急調査 | | 沿岸海洋・防災研究部、津波災害研究官、岡本　修 | 港湾研究部、港湾施設研究室長、長尾　毅<br>他7名 |
| | Ⅲ. 6. 2<br>被害状況詳細調査 | Ⅲ. 6. 2. 1<br>海岸保全施設 | 京都大学、特定准教授、熊谷　兼太郎<br>(前　沿岸海洋・防災研究部、主任研究官)<br>四日市港管理組合、逢井　正<br>(前　沿岸海洋・防災研究部、沿岸防災研究室、室長) | 沿岸海洋・防災研究部、沿岸防災研究室、室長、逢井　正<br>沿岸海洋・防災研究部、沿岸防災研究室、研究員、渡邉　祐二<br>沿岸海洋・防災研究部、主任研究官、熊谷　兼太郎 |
| | | Ⅲ. 6. 2. 2<br>漂流物 | 京都大学、特定准教授、熊谷　兼太郎<br>(前　沿岸海洋・防災研究部、主任研究官) | 沿岸海洋・防災研究部、主任研究官、熊谷　兼太郎 |
| | | Ⅲ. 6. 2. 3<br>間接被害 | 沿岸海洋・防災研究部、津波災害研究官、岡本　修<br>管理調整部、国際業務研究室長、柴崎　隆一 | 港湾研究部、港湾システム研究室、室長、赤倉　康寛<br>港湾研究部、港湾計画研究室、研究官、安藤　和也<br>港湾研究部、港湾計画研究室、研究員、瀬間　基広<br>管理調整部、国際業務研究室、室長、柴崎　隆一 |
| | Ⅲ. 6. 3<br>復旧情報整理 | | 港湾研究部、港湾施工システム・保全研究室、主任研究官、坂田　憲治 | 沿岸海洋・防災研究部、沿岸海洋新技術研究官、宮島　正悟<br>他5名 |

# 執筆者一覧

| 分野 | 大課題 | 小課題 | 執筆担当者 | 研究従事者(研究当時) |
|---|---|---|---|---|
| Ⅲ．7<br>仙台空港の基本施設関係の被害 | Ⅲ．7．1<br>被害状況緊急調査 | | 沿岸海洋・防災研究部、津波災害研究官、岡本　修 | 港湾研究部、港湾施設研究室、室長、長尾　毅<br>他7名 |
| | Ⅲ．7．2<br>舗装被害調査 | | 空港研究部、空港施設研究室、室長、坪川　将丈 | 空港研究部、空港施設研究室、室長、坪川　将丈 |
| Ⅲ．8<br>建築・住宅・都市関係の被害および住宅再建動向の調査 | Ⅲ．8．1<br>建築，住宅および都市域全般に係る被害の状況 | | 都市研究部、都市防災研究室長、竹谷　修一 | 住宅研究部、部長、大竹　亮<br>都市研究部、部長、柴田　好之<br>住宅研究部、住宅計画研究室、室長、森　正志<br>住宅研究部、住宅生産研究室、室長、有川　智<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、室長、竹谷　修一<br>都市研究部主任研究官、阪田　知彦<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ、主任研究員、石井　儀光<br>都市研究部、都市防災研究室、室長、木内　望<br>都市研究部、主任研究官、阪田　知彦 |
| | Ⅲ．8．2<br>強震観測記録に基づく地震動特性と建築物の挙動 | | 建築研究部、建築災害対策研究官、石原　晃彦 | 建築研究部、構造基準研究室、室長、小豆畑　達哉<br>建築研究所、研究専門役、古川　信雄<br>建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、小山　信<br>建築研究所、国際地震工学センター、上席研究員、原　辰彦<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、鹿嶋　俊英<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、石原　直<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、藤井　雄士郎<br>建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、大川　出<br>建築研究所、国際地震工学センター、上席研究員、斉藤　大樹<br>建築研究所、国際地震工学センター、上席研究員、森田　高市<br>建築研究所、企画部、国際研究協力参事、大佛　瑞郎<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、長谷川　隆<br>建築研究所、建築生産研究グループ、主任研究員、脇山　善夫 |
| | Ⅲ．8．3<br>地震による建築物等の被害 | | 建築研究部、建築災害対策研究官、石原　晃彦 | 建築研究部、部長、西山　功<br>総合技術政策研究センター、評価システム研究室、室長、槌本　敬大<br>建築研究部、主任研究官、井上　波彦<br>建築研究部、主任研究官、新井　洋<br>建築研究部、主任研究官、岩田　善祐<br>建築研究部、研究官、諏訪田　晴彦<br>建築研究所、構造研究グループ長、飯場　正紀<br>建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、福山　洋<br>建築研究所、国際地震工学センター、上席研究員、森田　高市<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、加藤　博人<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、平手　務<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、長谷川　孝<br>建築研究所、建築生産研究グループ、主任研究員、脇山　善夫<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、石原　直<br>建築研究所、構造研究グループ、研究員、壁谷澤　寿一<br>建築研究所、構造研究グループ、研究員、谷　昌典<br>建築研究所、建築生産研究グループ、上席研究員、中島　史郎<br>建築研究所、材料研究グループ、主任研究員、山口　修由<br>建築研究所、材料研究グループ、主任研究員、中川　貴文<br>建築研究所、構造研究グループ、研究員、荒木　康弘<br>建築研究所、建築新技術研究官、向井　昭義<br>建築研究所、構造基準研究室、室長、小豆畑　達哉<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、田尻　清太郎<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、向井　智久 |
| | Ⅲ．8．4<br>津波による建築物の被害 | | 建築研究部、建築災害対策研究官、石原　晃彦 | 危機管理技術研究センター、建築災害対策研究官、港　以知郎<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室長、竹谷　修一<br>総合技術政策研究センター、評価システム研究室長、槌本　敬大<br>総合技術政策研究センター、主任研究官、喜々津　仁密<br>建築研究部、主任研究官、宮村　雅史<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ長、五條　渉<br>建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、福山　洋<br>建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、奥田　泰雄<br>建築研究所、国際地震工学センター、上席研究員、斉藤　大樹<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、加藤　博人<br>建築研究所、国際地震工学センター、主任研究員、石原　直<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ、主任研究員、石井　儀光<br>建築研究所、材料研究グループ、主任研究員、中川　貴文<br>建築研究所、構造研究グループ研究員、壁谷澤　寿一<br>建築研究所、構造研究グループ研究員、荒木　康弘<br>(平成23年4月時点)<br>建築研究部、部長、西山　功<br>建築研究部、建築新技術研究官、向井　昭義<br>建築研究部、基準認証システム研究室、室長、深井　敦夫<br>建築研究部、主任研究官、井上　波彦<br>建築研究部、主任研究官、新井　洋<br>建築研究部、主任研究官、岩田　善祐<br>建築研究部、研究官、原口　毅<br>建築研究所、建築生産研究グループ、上席研究員、中島　史郎<br>建築研究所、構造研究グループ、主任研究員、田尻　清太郎<br>建築研究所、材料研究グループ、主任研究員、山口　修由<br>(以上、平成24年3月時点) |
| | Ⅲ．8．5<br>火災による建築物の被害 | | 建築研究部、建築災害対策研究官、石原　晃彦 | 総合技術政策研究センター、主任研究官、岩見達也<br>都市研究部、主任研究官、鍵屋浩司<br>都市研究部、研究官、吉岡英樹<br>建築研究所、防火研究グループ、上席研究員、萩原一郎<br>建築研究所、防火研究グループ、上席研究員、林吉彦<br>建築研究所、防火研究グループ、研究員、鈴木淳一 |
| | Ⅲ．8．6<br>住宅再建・地域復興への動向 | Ⅲ．8．6．1<br>応急仮設住宅等 | 住宅局、住宅生産課、建築技術政策分析官、佐藤　英明<br>(前　住宅研究部、住宅ストック高度化研究室長) | 住宅研究部、部長、大竹　亮<br>都市研究部、部長、柴田　好之<br>住宅研究部、住宅生産研究室、室長、長有川　智<br>都市研究部、都市防災研究室長、木内　望<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、室長、竹谷　修一<br>住宅研究部、研究官、角倉　英明<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ、研究員、米野　史健 |
| | | Ⅲ．8．6．2<br>被災後の住宅・居住状況 | 住宅局、住宅生産課、建築技術政策分析官、佐藤　英明<br>(前　住宅研究部、住宅ストック高度化研究室、室長) | 住宅研究部、部長、大竹　亮<br>都市研究部、部長、柴田　好之<br>住宅研究部、住宅生産研究室、室長、長有川　智<br>都市研究部、都市防災研究室長、木内　望<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、室長、竹谷　修一<br>住宅研究部、研究官、角倉　英明<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ、研究員、米野　史健 |
| | | Ⅲ．8．6．3<br>住宅再建への取組 | 住宅局、住宅生産課、建築技術政策分析官、佐藤　英明<br>(前　住宅研究部、住宅ストック高度化研究室長) | 住宅研究部、部長、大竹　亮<br>都市研究部、部長、柴田　好之<br>住宅研究部、住宅生産研究室、室長、長有川　智<br>都市研究部、都市防災研究室長、木内　望<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、室長、竹谷　修一<br>住宅研究部、研究官、角倉　英明<br>建築研究所、住宅・都市研究グループ、研究員、米野　史健 |
| Ⅲ．9<br>公園緑地および海岸林の被害と減災効果 | | | 社会資本マネジメント研究センター、緑化生態研究室、主任研究官、飯塚　康雄<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、主任研究官) | 防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、室長、松江　正彦<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、主任研究官、飯塚　康雄 |

# 執筆者一覧

| 分野 | 大課題 | 小課題 | 執筆担当者 | 研究従事者(研究当時) |
|---|---|---|---|---|
| Ⅳ. 研究成果編 | | | | |
| Ⅳ. 1<br>地震・津波の外力・影響の設定に関する共通的検討 | 冒頭部分 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | |
| | Ⅳ. 1. 1<br>設計地震動の分析・検討の全体像 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、片岡　正次郎 |
| | Ⅳ. 1. 2<br>地盤の液状化に関する検討の全体像 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 危機管理技術研究センター、地震災害研究官、　運上　茂樹<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、室長　金子　正洋<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、片岡　正次郎<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、長屋　和宏<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、研究官、松岡　一成 |
| | Ⅳ. 1. 3<br>津波防災地域づくりに関わる津波外力設定等の検討 | | 河川研究部、河川研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、竹下　哲也<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、鳩貝　聡 |
| | Ⅳ. 1. 4<br>構造物の設計等に関わる津波波力設定の全体像 | | 河川研究部、河川研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 |
| Ⅳ. 2<br>地震に伴う土砂災害への対応の向上 | Ⅳ. 2. 1<br>地震時の斜面崩壊危険度評価法の改良検討 | | 土砂災害研究部、砂防研究室、主任研究官、内田　太郎 | 危機管理技術研究センター、砂防研究室、室長、蒲原潤一<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、主任研究官、内田　太郎<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、奥山　悠木<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、交流研究員、秦　雅之 |
| | Ⅳ. 2. 2<br>地震発生後の土砂災害警戒避難雨量基準の設定 | | 都市局都市安全課、企画専門官、松下　一樹<br>(前　土砂災害研究部、土砂災害研究室、研究官) | 危機管理技術研究センター、砂防研究室、室長、岡本　敦<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、野村　康裕 |
| | Ⅳ. 2. 3<br>合成開口レーダ画像を用いた大規模崩壊地の迅速な調査手法の提案 | | 土砂災害研究部、土砂災害研究室、主任研究官、神山　嬢子 | 危機管理技術研究センター、砂防研究室、室長、蒲原　潤一<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、主任研究官、水野　正樹<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、神山　嬢子<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、研究官、林　真一郎<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、交流研究員、江川　真史<br>危機管理技術研究センター、砂防研究室、交流研究員、佐藤　匠 |
| Ⅳ. 3<br>下水道関係の地震・津波対策の向上 | Ⅳ. 3. 1<br>下水処理に関わる震災と緊急対応および復旧手順 | Ⅳ. 3. 1. 1<br>災害時の下水の排除・処理 | 企画部、国際研究推進室研究官(併)研究評価・推進課、研究官、濵田　知幸<br>(前　下水道研究部、下水道処理研究室、研究官)<br>土木研究所、材料資源研究グループ、リサイクルチーム、主任研究員、諏訪　守 | 下水道研究部、下水処理研究室、主任研究官、山下　洋正<br>下水道研究部、下水処理研究室、研究官、久岡　夏樹<br>下水道研究部、下水処理研究室、研究官、西村　峻介<br>土木研究所、土研材料資源グループ、グループ長、鈴木　穣、<br>土木研究所、土研材料資源グループ、主任研究員、諏訪　守、<br>土木研究所、土研材料資源グループ、専門研究員、安井　宣仁、<br>土木研究所、土研材料資源グループ、研究員、桜井　健介<br>土木研究所、水環境研究グループ、上席研究員、岡本　誠一郎 |
| | | Ⅳ. 3. 1. 2<br>水汚泥の放射性物質への対応 | 下水道研究部、下水処理研究室、研究官、小越　眞佐司 | 下水道研究部、下水処理研究室、室長、原田　一郎<br>下水道研究部、下水処理研究室、主任研究官、山下　洋正<br>下水道研究部、下水処理研究室、研究官、對馬　育夫<br>下水道研究部、下水処理研究室、研究官、小越　真佐司 |
| | Ⅳ. 3. 2<br>下水道管きょの耐震対策と被害推定 | | 下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉 | 下水道研究部、下水道研究室、室長、小川文章<br>下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉<br>下水道研究部、下水道研究室、研究官、松熊　学 |
| | Ⅳ. 3. 3<br>下水道施設の応急復旧事例等の分析と防災対策の提案 | | 下水道研究部、下水道研究室、主任研究官、深谷　渉 | 下水道研究部、下水処理研究室、室長、山下洋正<br>下水道研究部、下水道機能復旧研究官、尾崎正明 |
| Ⅳ. 4<br>河川・海岸関係インフラの震災対応能力の向上 | 冒頭部分 | | 日本建設情報総合センター建設情報研究所、標準部、主任研究員、杉原　直樹<br>(前　河川研究部、河川構造物管理研究官) | |
| | Ⅳ. 4. 1<br>実験、解析及び現地の比較による河川津波の特性の把握 | | 日本建設情報総合センター建設情報研究所、標準部、主任研究員、杉原　直樹<br>(前　河川研究部、河川構造物管理研究官)<br>河川研究部、河川研究室、研究員、中村　賢人 | 河川研究部、河川研究室、室長、服部　敦<br>河川研究部、河川研究室、主任研究官、福島　雅紀<br>河川研究部、河川研究室、主任研究官、森　啓年<br>河川研究部、河川研究室、研究官、松浦　達郎<br>河川研究部、河川研究室、研究官、鈴木　宏幸<br>河川研究部、河川研究室、研究官、笹岡　信吾<br>河川研究部、河川研究室、研究員、中村　賢人 |
| | Ⅳ. 4. 2<br>地震・洪水の同時期発生起への対応方策 | | 河川研究部、河川研究室、主任研究官、山本　陽子 | 河川研究部、河川研究室、室長、服部　敦<br>河川研究部、河川研究室、主任研究官、板垣　修<br>河川研究部、河川研究室、主任研究官、松浦　達郎<br>河川研究部、河川研究室、研究官、福原　直樹 |
| | Ⅳ. 4. 3<br>ダムにおける大規模地震動の設定方法 | | 河川研究部、大規模河川構造物研究室、研究官、田中　幸志 | 河川研究部、大規模河川構造物研究室、室長、佐々木　隆<br>河川研究部、大規模河川構造物研究室、研究官、伊藤　壮志 |
| | Ⅳ. 4. 4<br>津波防災・減災に関わるインフラの機能拡充 | | 企画部、国際研究推進室研究官(併)企画課、建設専門官、姫野　一樹<br>(前　河川研究部、海岸研究室、研究官)<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、竹下　哲也<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、渡邊　国広<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、鳩貝　聡<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、姫野　一樹<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 |
| Ⅳ. 5<br>道路インフラに関わる震災対応能力の向上 | 冒頭部分 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | |
| | Ⅳ. 5. 1<br>道路橋示方書の設計地震動の改定および津波に対する配慮事項の規定 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室 主任研究官) | 危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、　片岡　正次郎 |
| | Ⅳ. 5. 2<br>道路平面部の液状化による被害の影響要因に関する検討 | | 土木研究所、地質・地盤研究グループ、土質・振動チーム、主任研究員、東　拓生<br>(前　道路構造物研究部、道路基盤研究室、研究官) | 道路構造物研究部、道路基盤研究室、室長、轡　雅行<br>道路構造物研究部、道路基盤研究室、研究官、東　拓生<br>道路構造物研究部、道路基盤研究室、研究官、石原　佳樹<br>土木研究所、地質・地盤研究グループ、土質・振動チーム、上席研究員、佐々木　哲也<br>土木研究所、地質・地盤研究グループ、土質・振動チーム、研究員、山本　正彦<br>土木研究所、地質・地盤研究グループ、土質・振動チーム、研究員、梶取　真一 |
| | Ⅳ. 5. 3<br>センサーを用いた道路橋の自動通行障害把握システムの開発 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、梶尾　辰史<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、研究官) | 防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、室長、松本　幸司<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、長屋　和宏<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、研究官、梶尾　辰史 |
| | Ⅳ. 5. 4<br>道路啓開優先路線の選定法に関する検討 | | 沖縄総合事務局(開発建設部)、本局部付、企画調整官、神田　忠士<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 企画部、企画課、課長、中尾　吉宏<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、室長、金子　正洋<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、室長、高宮　進<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、開渕 利明<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、研究官、松岡　一成<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、室長、松本　幸司<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、神田　忠士 |

# 執筆者一覧

| 分野 | 大課題 | 小課題 | 執筆担当者 | 研究従事者(研究当時) |
|---|---|---|---|---|
| Ⅳ. 6<br>沿岸・港湾関係インフラの防災対策について | Ⅳ. 6. 1<br>防災計画 | Ⅳ. 6. 1. 1<br>津波避難シミュレーションによる避難安全性の評価 | 京都大学、特定准教授、熊谷　兼太郎<br>(前　沿岸海洋・防災研究部、主任研究官) | 沿岸海洋・防災研究部、主任研究官、熊谷　兼太郎 |
| | | Ⅳ. 6. 1. 2<br>海洋レーダによる津波検知技術の開発 | 沿岸海洋・防災研究部、沿岸域システム研究室、室長、上島　顕司 | 沿岸海洋・防災研究部、沿岸域システム研究室、室長、上島　顕司<br>沿岸海洋・防災研究部、沿岸域システム研究室、室長、日向　博文 |
| | Ⅳ. 6. 2<br>技術基準の改定に資する研究 | | 港湾研究部、港湾計画研究室、室長、安部　智久<br>四日市港管理組合、淺井　正<br>(前　沿岸海洋・防災研究部、沿岸防災研究室、室長)<br>港湾研究部、港湾施設研究室、室長、宮田　正史 | 港湾研究部、港湾計画研究室長、安部　智久<br>沿岸海洋・防災研究部、沿岸防災研究室長、淺井　正<br>港湾研究部、港湾施設研究室長、宮田　正史 |
| Ⅳ. 7<br>空港における減災対策の検討 | Ⅳ. 7. 1<br>震災リスクマネジメントの応用 | | 空港研究部、空港新技術研究官、中島　由貴<br>近畿地方整備局、神戸港湾事務所長、小野　正博<br>(前　空港研究部、空港計画研究室、室長) | 空港研究部、空港新技術研究官、中島　由貴<br>空港研究部、空港計画研究室、室長、小野　正博 |
| | Ⅳ. 7. 2<br>震災初期段階での緊急対応に求められる空港機能の分析 | | 空港研究部、空港新技術研究官、中島由貴 | 空港研究部、空港新技術研究官、中島由貴 |
| Ⅳ. 8<br>建築物の地震動・津波・地震時火災への対処能力向上 | Ⅳ. 8. 1<br>津波避難ビルの構造基準の検討 | Ⅳ. 8. 1. 1<br>津波避難ビル等の構造基準の検討 | 住宅局、建築指導課、建築安全調査室長、呉　祐一郎<br>(前　建築研究部、基準認証システム研究室、室長) | 建築研究部、建築新技術研究官、向井　昭義<br>建築研究部、評価システム研究室、室長、槌本　敬大<br>建築研究部、基準認証システム研究室、室長、深井　敦夫<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、井上　波彦 |
| | | Ⅳ. 8. 1. 2<br>津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討 | 首都大学東京、准教授、壁谷澤　寿一<br>(前　建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官) | 建築研究部、建築災害対策研究官、奥田　泰雄<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、壁谷澤　寿一 |
| | | Ⅳ. 8. 1. 3<br>外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発 | 建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、岩田　善裕 | 建築研究部、建築災害対策研究官、奥田　泰雄<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、岩田　善裕<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、壁谷澤　寿一 |
| | Ⅳ. 8. 2<br>建築物の長周期地震動への対応 | | 建築研究部、構造基準研究室、室長、森田　高市 | 建築研究部、構造基準研究室、室長、森田　高市<br>建築研究部、評価システム研究室、室長、井上　波彦<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、岩田　善裕 |
| | Ⅳ. 8. 3<br>高層建築物の地震後の火災対応 | | 建築研究部、防火基準研究室長、林　吉彦 | 建築研究部、防火基準研究室長、成瀬　友宏<br>建築研究部、防火基準研究室長、林吉彦、主任研究官、鈴木　淳一 |
| | Ⅳ. 8. 4<br>天井脱落対策に係わる技術基準の検討 | | 住宅局、建築指導課、建築安全調査室長、呉　祐一郎<br>(前　建築研究部、基準認証システム研究室、室長)<br>建築研究部、評価システム研究室、主任研究官、脇山　善夫 | 建築研究部、建築新技術研究官、向井　昭義<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、壁谷澤　寿一<br>総合技術政策研究センター、評価システム研究室、主任研究官、脇山　善夫 |
| | Ⅳ. 8. 5<br>エレベーター、エスカレーターの脱落防止対策の検討 | | 住宅局、建築指導課、建築安全調査室長、呉　祐一郎<br>(前　建築研究部、基準認証システム研究室、室長) | 建築研究部、基準認証システム研究室、室長、深井　敦夫<br>建築研究部、基準認証システム研究室、室長、安藤　恒次 |
| | Ⅳ. 8. 6<br>住宅性能表示制度に係わる住宅地盤の液状化判定手法 | | 建築研究所、構造研究グループ、上席研究員、井上　波彦 | 建築研究部、評価システム研究室、室長、井上　波彦<br>建築研究部、構造基準研究室、主任研究官、新井　洋 |
| Ⅳ. 9<br>被災者の住宅確保方策の向上 | Ⅳ. 9. 1<br>応急仮設住宅の適切な供給に関する検討 | | 建築研究所、住宅・都市研究グループ　主任研究員、米野　史健<br>(住宅研究部、住宅計画研究室、主任研究官) | 住宅研究部、住宅計画研究室、主任研究官、米野　史健 |
| | Ⅳ. 9. 2<br>災害公営住宅の供給促進に関する検討 | Ⅳ. 9. 2. 1<br>災害公営住宅基本計画等事例集 | 住宅局、住宅生産課、建築技術政策分析官、佐藤　英明<br>(前　住宅研究部、住宅ストック高度化研究室長) | 住宅研究部、住宅計画室、室長、左海　冬彦<br>住宅研究部、住宅計画室、室長、森　正志<br>住宅研究部、住宅ストック高度化研究室、室長、佐藤　英明 |
| | | Ⅳ. 9. 2. 2<br>原発被災者向け災害公営住宅の整備計画の立案支援及び入居者への生活支援スキームの提案 | 住宅研究部、住宅性能研究官、長谷川　洋 | 住宅研究部、住宅性能研究官、長谷川　洋 |
| | | Ⅳ. 9. 2. 3<br>公営住宅の建設と復興まちづくり | 建築研究所、住宅・都市研究グループ　主任研究員、米野　史健<br>(前　住宅研究部、住宅計画研究室、主任研究官) | 住宅研究部、住宅計画研究室、主任研究官、米野　史健 |
| | Ⅳ. 9. 3<br>被災地域の住宅生産体制に関する調査 | | 広島大学、准教授、角倉　英明<br>(前　建築研究所, 建築生産研究グループ, 主任研究員) | 住宅研究部、住宅ストック高度化研究室、室長、佐藤　英明<br>建築研究所, 建築生産研究グループ, 主任研究員、角倉　英明 |
| | Ⅳ. 9. 4<br>被災前景観の3Dデータの作成 | | 住宅研究部、住宅計画研究室、研究官、小林　英之 | 住宅計画研究室、研究官、小林　英之 |
| Ⅳ. 10<br>震災対応能力の高い都市づくり方策 | Ⅳ. 10. 1<br>津波避難安全性確保のための市街地整備手法に関する研究 | | 都市研究部、都市防災研究室、室長、竹谷　修一 | 建築研究所、住宅・都市研究グループ, 主任研究員、岩見　達也<br>都市研究部、都市防災研究室、室長、竹谷　修一 |
| | Ⅳ. 10. 2<br>大規模被災時の防災拠点機能のリダンダンシー確保の計画手法に関する研究 | | 都市研究部、都市計画研究室、室長、木内　望 | 都市研究部、都市計画研究室、室長、木内　望<br>都市研究部、都市防災研究室、室長、竹谷　修一<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、主任研究官、岩見　達也<br>都市研究部、都市開発研究室、主任研究官、勝又　済 |
| | Ⅳ. 10. 3<br>市街地の液状化対策に資する技術開発 | | 都市研究部、都市計画研究室、主任研究官、大橋　征幹 | 都市研究部、部長、金子　弘<br>都市研究部、都市計画研究室、室長、明石　達生<br>都市研究部、都市計画研究室、主任研究官、大橋　征幹<br>建築研究部、構造基準研究室、主任研究官、新井　洋<br>建築研究部、基準認証システム研究室、主任研究官、井上　波彦 |
| Ⅳ. 11<br>復興および防災・減災に関わる公園緑地整備手法 | 冒頭部分 | | 大臣官房付、(併)総務省行政管理局官民競争入札等管理委員会事務局(併)<br>総務省行政管理局公共サービス改革推進室、参事官、栗原　正夫<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、室長) | |
| | Ⅳ. 11. 1<br>東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備の技術的指針の検討 | | 社会資本マネジメント研究センター、緑化生態研究室、主任研究官、飯塚　康雄<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、主任研究官) | 防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、室長、松江　正彦<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、主任研究官、飯塚　康雄 |
| | Ⅳ. 11. 2<br>防災公園計画・設計に関するガイドライン(案)の改訂に関する国総研の取り組み | | 社会資本マネジメント研究センター、緑化生態研究室、研究官、荒金　恵太<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、研究官) | 防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、研究官、曽根　直幸<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、室長、栗原　正夫 |

# 執筆者一覧

| 分野 | 大課題 | 小課題 | 執筆担当者 | 研究従事者(研究当時) |
|---|---|---|---|---|
| Ⅳ. 12<br>大規模災害時の危機対応の向上 | 冒頭部分 | | 道路構造物研究部、道路地震防災研究室、室長、片岡　正次郎<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | |
| | Ⅳ. 12. 1<br>地域建設業による大規模災害時の支援活動 | | 社会資本マネジメント研究センター、建設マネジメント研究官、喜安　和秀<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、建設マネジメント研究官)<br>建築研究所、国際協力審議役、北村　重治 | 総合技術政策研究センター、建設マネジメント研究官、森　望<br>総合技術政策研究センター、建設マネジメント研究官、小橋　秀俊<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、室長、竹谷　修一<br>総合技術政策研究センター、建設経済研究室、主任研究官、大橋　幸子<br>総合技術政策研究センター、建設システム課、施工管理技術係長、渡辺　健一<br>総合技術政策研究センター、建設システム課、部外研究員、横井　宏行 |
| | Ⅳ. 12. 2<br>東日本大震災における道路管理者の対応の記録 | | 企画部、国際研究推進室(併)企画課、主任研究官、長屋　和宏<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、長屋　和宏<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、室長、金子　正洋<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、研究官、山影　修司 |
| | Ⅳ. 12. 3<br>大規模広域型地震時の即時震害推測技術の開発 | | 企画部、国際研究推進室(併)企画課、主任研究官、長屋　和宏<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 企画部、評価研究官、日下部　毅明<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、室長、松本　幸司<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、長屋　和宏<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、片岡　正次郎 |
| | Ⅳ. 12. 4<br>低頻度激甚災害に対する危機管理方策を検討する手法の開発 | | 関東地方整備局、北首都国道事務所三郷国道出張所、出張所長、稲澤　太志<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官) | 企画部、評価研究官、日下部　毅明<br>道路交通部、道路防災研究官、齋藤　清志<br>危機管理技術研究センター、地震防災研究室、主任研究官、木村　祐二<br>防災・メンテナンス基盤研究センター、国土防災研究室、主任研究官、稲澤　大志 |
| Ⅳ. 13<br>災害対応マネジメントにおける情報技術の活用 | Ⅳ. 13. 1<br>ETC2.0プローブを用いた通行実績区間, 区間旅行時間の把握 | | 道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、交流研究員、水谷　友彰 | 道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、室長、牧野　浩志<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、主任研究官、鹿野島　秀行<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、研究官、田中　良寛<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、交流研究員、佐治　秀剛<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、交流研究員、水谷　友彰 |
| | Ⅳ. 13. 2<br>災害危険地域内にいる車両への注意情報提供 | | 道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、交流研究員、吉村　仁志 | 道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、室長、牧野　浩志<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、主任研究官、松田　奈緒子<br>道路交通研究部、高度道路交通システム研究室、交流研究員、吉村　仁志 |
| | Ⅳ. 13. 3<br>道路基準点・道路基盤地図情報座標補正 | | 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(総括担当) 付、企画官、重高　浩一<br>(前　社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、室長)<br>社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、研究官、今野　新 | 高度情報化研究センター、情報基盤研究室、室長、重高　浩一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、主任研究官、勤角　俊介<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、今井　龍一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、井星　雄貴<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、湯浅　直美<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、部外研究員、横地　克謙<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、部外研究員、佐々木　洋一 |
| | Ⅳ. 13. 4<br>震後対応支援に役立つ道路管理用情報共有プラットフォームの検討 | | 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(総括担当) 付、企画官、重高　浩一<br>(前　社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、室長)<br>社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、研究官、今野　新 | 高度情報化研究センター、情報基盤研究室、室長、重高　浩一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、小川　倫哉<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、今井　龍一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、谷口　寿俊<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、交流研究員、上田　英滋<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、交流研究員、有賀　清隆<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、主任研究官、小原　弘志 |
| | Ⅳ. 13. 5<br>3次元CADデータを活用した災害復旧支援に関する研究 | | 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(総括担当) 付、企画官、重高　浩一<br>(前　社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、室長)<br>総合政策局、公共事業企画調整課、施工安全企画室課、課長補佐、近藤弘嗣<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、メンテナンス情報基盤研究室、主任研究官)<br>社会資本マネジメント研究センター、社会資本施工高度化研究室、研究官、長山　真一 | 高度情報化研究センター、情報基盤研究室、室長、重高　浩一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、今井　龍一 |
| | Ⅳ. 13. 6<br>情報化施工技術による埋設ガレキ等の管理に関する研究 | | 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(総括担当) 付、企画官、重高　浩一<br>(前　社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、室長)<br>総合政策局、公共事業企画調整課、施工安全企画室課、課長補佐、近藤弘嗣<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、メンテナンス情報基盤研究室、主任研究官)<br>社会資本マネジメント研究センター、社会資本施工高度化研究室、研究官、長山　真一 | 高度情報化研究センター、情報基盤研究室、室長、重高　浩一<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、梶田　洋規<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、北川　順 |
| | Ⅳ. 13. 7<br>橋梁3次元データの災害時変状把握・監視への活用 | | 内閣府政策統括官(防災担当)付参事官(総括担当) 付、企画官、重高　浩一<br>(前　社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、室長)<br>社会資本マネジメント研究センター、社会資本情報基盤研究室、主任研究官、青山　憲明 | 高度情報化研究センター、情報基盤研究室、主任研究官、青山　憲明<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、井星　雄貴<br>高度情報化研究センター、情報基盤研究室、研究官、谷口　寿俊 |
| Ⅳ. 14<br>東日本大震災からの復興における自然環境・地域資源の再生手法 | Ⅳ. 14. 1<br>海岸・港湾域の自然環境の修復 | | 沿岸海洋・防災研究部、海洋環境研究室、室長、岡田　知也 | 沿岸海洋・防災研究部、海洋環境研究室、室長、岡田　知也 |
| | Ⅳ. 14. 2<br>被災した歴史的市街地の復旧プロセス | | 社会資本マネジメント研究センター、緑化生態研究室、研究官、荒金　恵太<br>(前　防災・メンテナンス基盤研究センター、緑化生態研究室、研究官) | 環境研究部、緑化生態研究室、研究官、阿部 貴弘 |
| | | | | |
| Ⅴ.<br>津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた<br>分野横断的取り組み | | | 国土技術政策総合研究所長、藤田　光一<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 | 河川研究部、海岸研究室、室長、諏訪　義雄<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、加藤　史訓<br>河川研究部、海岸研究室、主任研究官、竹下　哲也<br>河川研究部、海岸研究室、研究官、濵口　耕平 |

# 編集体制

編集委員

Ｈ２６年度、平成２７年度

| | | | |
|---|---|---|---|
| 委員長 | 研究総務官[推進本部長] | 藤田　光一 | |
| 幹事 | 企画部　コーディネート研究官 | 安田　泰二 | |
| | 河川研究部　河川構造物管理研究官 | 杉原　直樹 | |
| | 防災・メンテナンス基盤研究センター　国土防災研究室長 | 松本　幸司 | |
| | 下水道研究部　下水道機能復旧研究官 | 尾﨑　正明 | |
| | 同 | 内田　勉 | （Ｈ２７．４～） |
| | 土砂災害研究部　深層崩壊対策研究官 | 長井　義樹 | |
| | 道路交通研究部　道路防災研究官 | 日下部　毅明 | |
| | 道路構造物研究部　道路構造物管理システム研究官 | 木村　嘉富 | |
| | 建築研究部　建築災害対策研究官 | 奥田　泰雄 | |
| | 住宅研究部　住環境計画研究室長 | 佐藤　英明 | |
| | 都市研究部　都市防災研究室長 | 竹谷　修一 | |
| | 沿岸海洋・防災研究部　津波災害研究官 | 岡本　修 | |

Ｈ２８年度

| | | | |
|---|---|---|---|
| 委員長 | 研究総務官[本部長] | 藤田　光一 | （現　所長） |
| | 同 | 伊藤　正秀 | （Ｈ２８．７～） |
| 幹事 | 企画部　コーディネート研究官 | 安田　泰二 | |
| | 河川研究部　河川構造物管理研究官 | 佐々木　隆 | |
| | 道路構造物研究部　道路地震防災研究室長 | 片岡　正次郎 | |
| | 下水道研究部　下水道機能復旧研究官 | 内田　勉 | |
| | 土砂災害研究部　深層崩壊対策研究官 | 萬徳　昌昭 | |
| | 道路交通研究部　道路防災研究官 | 齋藤　清志 | |
| | 道路構造物研究部　道路構造物管理システム研究官 | 福島　眞司 | |
| | 建築研究部　建築災害対策研究官 | 石原　晃彦 | |
| | 住宅研究部　住宅ストック高度化住環境計画研究室長 | 佐藤　英明 | （現　住宅局） |
| | 同 | 中西　浩 | （Ｈ２８．７～） |
| | 都市研究部　都市防災研究室長 | 竹谷　修一 | |
| | 沿岸海洋・防災研究部　津波災害研究官 | 岡本　修 | |

編集事務局

Ｈ２６年度、平成２７年度

| | | |
|---|---|---|
| 河川研究部 | 河川構造物管理研究官 | 杉原　直樹 |
| 防災・メンテナンス基盤研究センター | 国土防災研究室長 | 松本　幸司 |
| 防災・メンテナンス基盤研究センター | 国土防災研究室 | 稲沢　太志 |

Ｈ２８年度

| | | |
|---|---|---|
| 道路構造物研究部 | 道路地震防災研究室長 | 片岡　正次郎 |
| 道路構造物研究部 | 道路地震防災研究室 | 今長　信浩 |
| 道路構造物研究部 | 道路地震防災研究室 | 石井　洋輔 |

問い合わせ先

〒305-0804　茨城県つくば市旭１番地
企画部研究評価・推進課　　TEL 029-864-2675

# Ⅰ．調査研究の全体俯瞰

## Ⅰ.1　全体俯瞰図の作成

目次の項立てから主だった調査研究項目を抜き出し、それを１枚の図に記載し、本研究報告に収められた調査研究の全体俯瞰図とした（図-Ⅰ.1 参照）。図では、１つの項目を１つの枠内に記載し、項目数（枠の数）は９６個になった。なお、目次の複数の項目を１つの枠にまとめたものもあるので、目次の項目と枠が一対一で対応するものではない。それでも、図中の各項目と目次を比較すれば、各項目の結果が本報告書のどこに記述されているかを大方見つけることができる。

全体俯瞰図の使い勝手は項目記載の配置等のルールに左右される。これについては、「本研究報告の特徴」のところで述べた３つの軸（対象分野、ハザードの種別、調査研究の類型）を考慮して、次のように定めた。

まず、第２軸（ハザードの種別）を念頭に、図の左上端に「地震動の把握・分析」を、左下端に「津波襲来状況の把握」を配し、東日本大震災を引き起こした二大ハザードの把握・分析を起点にした調査研究の展開を表現する方式とした。両方のハザードを一緒に扱う調査等もあるので、地震動と津波の両方を起点にする表現もできるようにした（図-Ⅰ.1　中で、左上と左下の起点をつなぐ二重線から発する調査研究）。

次に、ある調査研究の成果がもう一つの調査研究の実施につながるという関係性を持つ項目同士を矢印でつなぐことにより、ハザード把握という起点から調査研究が次々展開されていく様を表現した。たとえば、〔津波襲来状況の把握→海岸堤防の被災状況把握→被災度合いを支配する要因の分析→被災しにくい構造上の工夫の検討〕というつなぎ方である。ここで、矢印の向きが大略左から右になるように各項目の枠を配した。また項目同士のつながりは同一分野内でより強くなる。このため、出来上がった全体俯瞰図は、調査研究項目の連なりが、左から右に向かって対象分野ごとに何本も伸びて行くという形を持つことになった。こうして、調査研究の展開は分野毎の整理が基本になった（第１軸）。

調査研究の類型という第３軸については、類型の違いを枠の表示法（色）の違いで識別できるようにすることで全体俯瞰図に取り込んだ。設定した類型は次の 10 個であり、それぞれの表示法を図-Ⅰ.1 の右端にある凡例で説明している。

- 震災を起こした事象の把握・分析
- 被害の実態把握、分析、メカニズム検討／データアーカイブ
- 緊急対応、復旧、復興の実態把握
- 危険事象予測、危険度評価手法
- 外力設定法・基準
- 構造物の設計基準
- 新工法・手法の開発
- 復旧、復興の手順・計画・フレーム
- 災害事象覚知手法
- 災害対応マネジメント手法

以上の各類型が先に説明した調査研究の展開（項目の連なり）において、どのような順番になっているか？などを見ることにより、類型の“連鎖的変転”のパターンを把握することができる。

以上の作業を行った上で、改めて、調査研究項目で深い関係性を持つもの同士を線（矢印無しの線のみ）で結んだ。既に同一分野で直接つながりがあるもの同士は矢印で結ばれているので、この段階での結線は、分野毎の左から右への連なり（第１軸の視点）を縦につなぐものになる。なお、結線だけではカバーしきれない場合は、関係する調査研究項目群をまとめて囲う表示とした。

図-Ⅰ.2 は以上に説明した内容を概念図に表したものである。

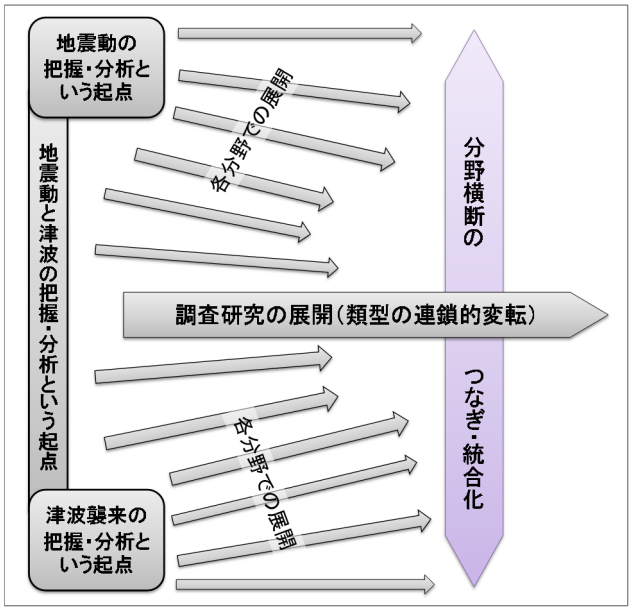
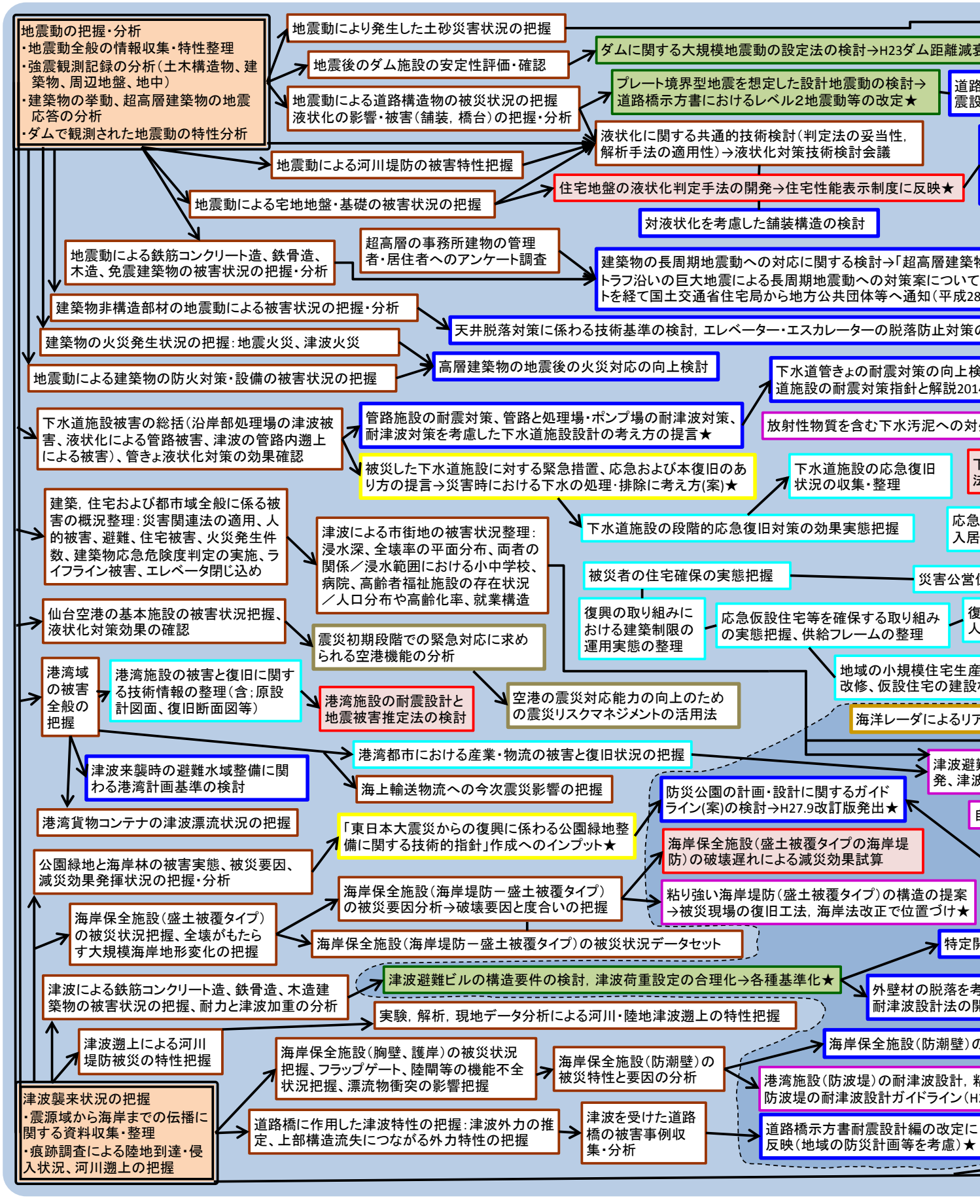
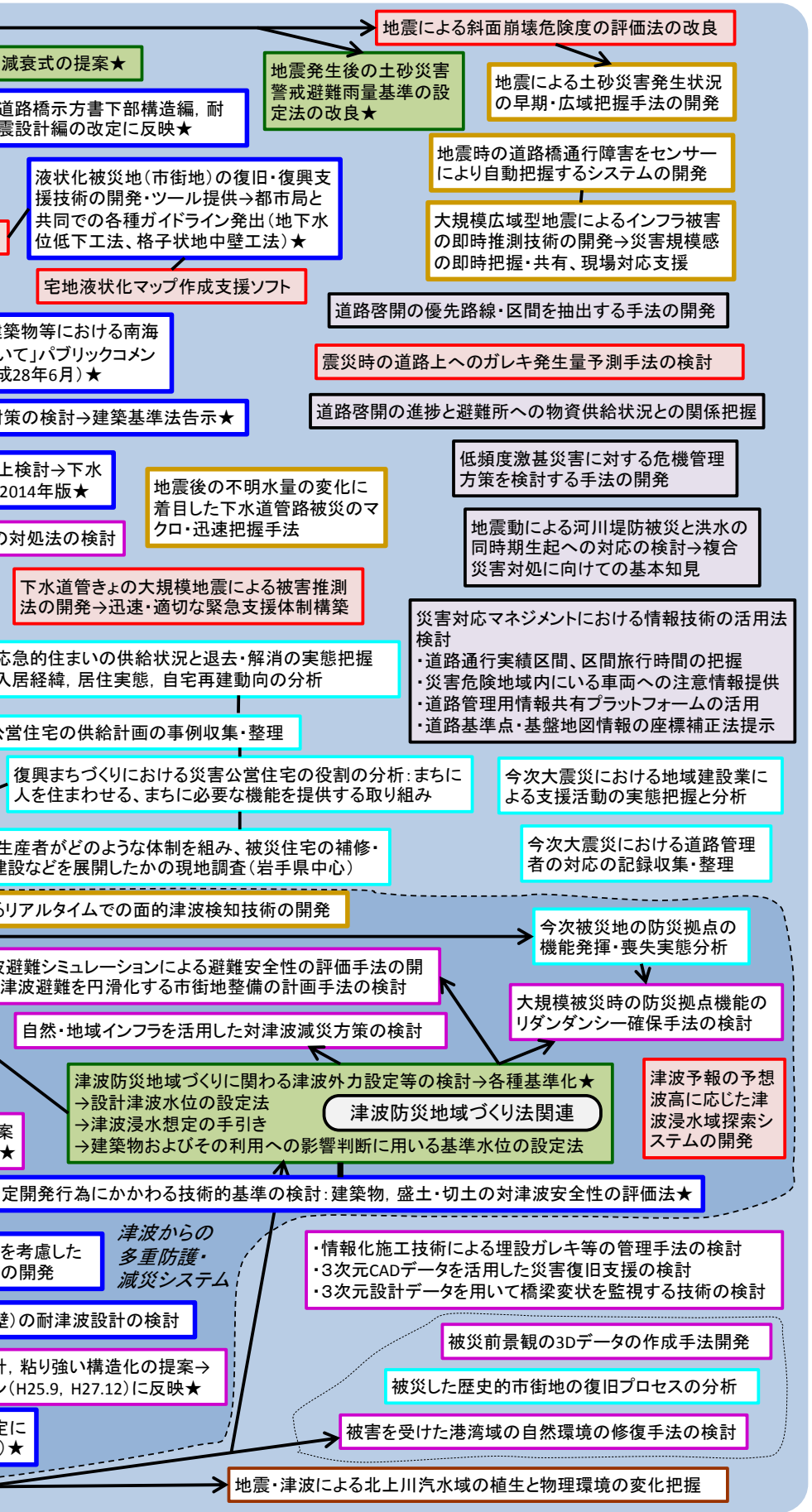



図-Ⅰ.2　全体俯瞰図の作成の考え方




図－Ⅰ.1　調査研究の全体俯瞰図




## 調査研究項目の類型の凡例

震災を起こした事象の把握・分析

被害の実態把握、分析、メカニズム検討／データアーカイブ

緊急対応、復旧、復興の実態把握

危険事象予測、危険度評価手法

外力設定法・基準

構造物の設計基準

新工法・手法の開発

復旧、復興の手順・計画・フレーム

災害事象覚知手法

災害対応マネジメント手法

★･･･技術基準、ガイドライン等としての施策反映がなされたもの

## Ⅰ.2　全体俯瞰図から見る調査研究の概要

改めて図-Ⅰ.1 を参照いただきたい。左上端の地震動の把握分析と左下端の津波襲来状況の把握を起点に、様々な分野の調査研究が左から右へ展開していく状況が示されている。それを縦に見ていくと分野の並びを読み取ることができる。大まかには上から順に、

・土砂災害、ダム、道路構造物、河川構造物（主として堤防）、宅地、各種建築物　　＜主に地震動による被害＞
・下水道施設、都市域全般の被害状況、被災者の住宅確保、空港、港湾施設（含；防波堤）、漂流物、港湾関係の物流　　＜地震動と津波による被害＞
・公園緑地、海岸保全施設（盛土被覆タイプ、胸壁、護岸）、建築物、河川堤防、道路橋、自然環境（津波影響、修復）、景観・歴史的市街地等　＜主に津波による被害＞

という分野を、一連の調査研究がカバーしていることがわかる。さらに、矢印でつながれた項目群を見ることで調査研究の展開を追跡することができ、また縦方向に線（矢印無し）でつながれた、あるいは破線で囲まれた項目群を見ることで、分野横断の連携状況を把握できる。

このような全体俯瞰図から、各調査研究項目の位置づけを把握できることはもちろん、例えば、調査研究項目間でさらに連携を充実させるべき組み合わせがないか、今後新たなカバーすべき分野があるかなどの吟味を行うことができる。また、別の大きな災害発生に際して、どのような調査研究体制を組むべきかを検討する際に、このような俯瞰図は有用な材料となろう。

この種の俯瞰図は、“地図”と似ていて、特定の目的のために作成するというよりも、全体俯瞰を可能にする基本的道具を調えること自体に必要性を認めて作成するという性格が濃い。したがって、図-Ⅰ.1 から得られる情報を手早く抽出して作業完了にするというようなことではなく、そこから様々に役立つ情報をその時々で引き出していくという利用スタンスが望ましい。

次節では、図-Ⅰ.1 活用の代表事例として、「調査研究の展開パターン」と「分野横断の調査研究連携」について理解を深めるための分析を示す。

## Ⅰ.3　全体俯瞰図を用いた分析の例

### Ⅰ.3.1　調査研究の展開パターン

前述のように図-Ⅰ.1 は、調査研究項目の左から右への連なりが対象分野ごとに何本も存在する状況を表現している。この連なりにおいて、調査研究の類型が変転するパターンを見ていく。図-Ⅰ.1 から最大公約数的パターンを抽出した図-Ⅰ.3 を参照されたい。一連の調査研究の中で、「震災を起こした事象の把握・分析」から「被害の実態把握、分析、メカニズム検討／データアーカイブ」という展開が全体の基軸となり、そこからさらに「危険事象予測、危険度評価手法」「外力設定法・基準」「構造物の設計基準」「新工法・手法の開発」「復旧、復興の手順・計画・フレーム」それぞれに向かって調査研究が展開する。このうち「外力設定法・基準」「構造物の設計基準」「新工法・手法の開発」は相互依存関係を持つ場合が多い。ここまでのつながりは明瞭で、調査研究の展開の“定型”をなすと表現できる。

技術基準やガイドライン等という施策反映が明示的になされたことを示す★マークも、上記の定型的展開の出口部分に多く付いており（特に「外力設定法・基準」「構造物の設計基準」「新工法・手法の開発」）、ここまでの調査研究の展開が、直接的な施策反映のために重要な役割を果たしていると言えそうである。

それに対して、「緊急対応、復旧、復興の実態把握」「災害事象覚知手法」「災害対応マネジメント手法」は、この定型展開とはやや距離がある。このうち「緊急対応、復旧、復興の実態把握」は、被害実態把握等の検討結果を受けて実施される面があるが、国総研の被害調査の対象が社会インフラ中心であること、被害状況と復旧・復興のプロセスとは一対一で対応するものではないことから、定型展開とのつながりは弱い。また、「災害事象覚知手法」「災害対応マネジメント手法」と定型部分との関係はさらに薄くなる。これは、災害対応マネジメント、災害事象覚知手法のいずれも、個々の災害事象を受けての対応と言うよりは、それらを包含して災害対応レベルの底上げを図るという性格を持つため、ハザードから発する調査研究の流れと直接的関係を持ちにくいためである。

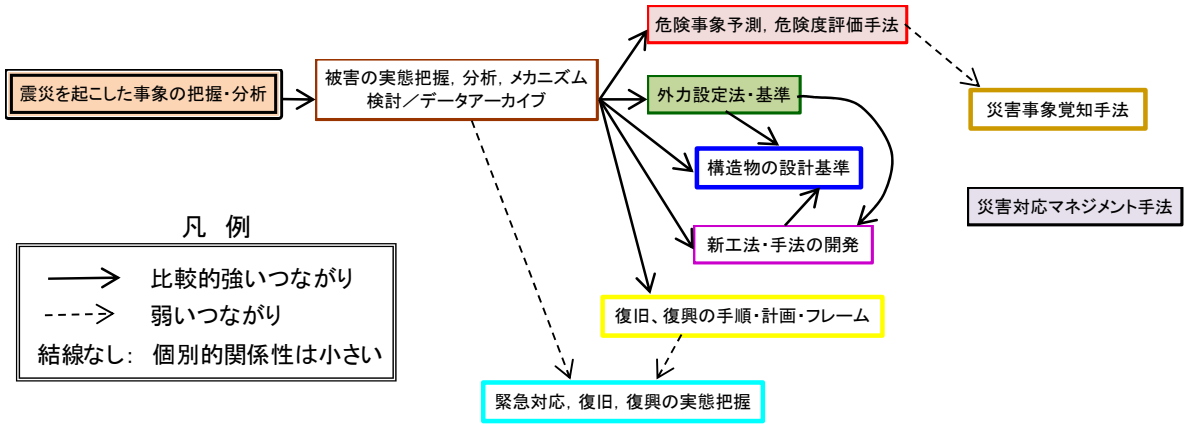



図-Ⅰ.3　調査研究の展開における類型変転の代表的パターン

このような、定型展開とやや距離を置く調査研究類型は、★マークが現段階で付いていないことと相まって、その位置づけがあいまいとの印象を与えるかもしれない。しかし、たとえば、「緊急対応、復旧、復興の実態把握」の類型に属する被災者のための住宅確保や応急仮設住宅供給の取り組み実態、災害公営住宅の役割発揮状況、防災拠点の機能発揮状況、地域建設業の支援活動実態などに関する調査・分析（図-Ⅰ.1 の中段、中央～右方に位置）は、被災者や被災地と密接な関係を持つという意味で有用な情報・知見を提供している。災害事象覚知手法を包含する災害対応マネジメント手法の検討も（図-Ⅰ.1 では右端に位置する）、防災・減災施策におけるソフト面の強化やソフトーハードの一体化を進める上で、今後重要度がさらに増大していくはずである。

以上から、当該ハザードの把握・分析に発する比較的道筋が明確な“定型展開”は、「従前の技術体系においてさらに改善すべきことを当該災害から見出し、防災・減災の技術水準の向上とその実務への波及を達成する」という“PDCA サイクル回し”を担うもの、と言える。この際には、1 回前の PDCA サイクル回しがどのようなものであったかを理解して積み上げるという技術の継続性の確保が重要となる。その意味で、既往災害に際して行った展開と対比できるようにしておくことが大事である。

一方、定型展開とやや距離を置く調査研究類型については、現時点で直接的な施策反映に持って行きにくいことだけをもって軽視するのではなく、それが防災・減災策の拡充につながる可能性を見据えて取り組むことが大事である。拡充は、「緊急対応、復旧、復興の実態把握」「災害事象覚知手法」「災害対応マネジメント手法」に発するものに限らず、次なる施策拡充に向けて新たな調査研究項目を開拓することがあって良い。ただし、この種の調査研究は、定型展開と違って成果の活用先が定まりにくい性格を持つので、常にその意義と位置づけを吟味するという姿勢が求められる。

以上の整理から、防災・減災のための技術水準を的確に向上させる定型展開と、施策の次なる拡充につなげるための新たな展開をバランス良く行っていくこと、そのための調査研究のマネジメントが肝要と言える。

## Ⅰ.3.2　分野横断の調査研究連携

図-Ⅰ.1 において、縦方向すなわち分野横断のつながり状況を見ていく。この図から、分野横断の結節には次の３種類すなわち、・ハザード起源、・事象メカニズム、・施策、に関する共通性があると言えそうである。

まず、ハザード起源の共通性は、東日本大震災について言えば、地震動と津波という２つのハザードから各分野の調査研究が展開しており、地震動と津波襲来状況に関する検討は、多くの分野に共通する起点となっていることを指す。一連の調査研究の起点に位置するこの結節点は、特に、各分野の外力設定と密接な関係を持つ。構造物は分野毎に求められる機能や外力作用状況を支配する条件が異なるので、甚大な被害をもたらす１つのハザードが生起したからと言って、各分野の外力設定を同じ方式で一律に見直すことにはならない。その一方、同種のハザードを起源とする外力を扱うがゆえに確保すべき共通性や整合性も存在する。この結節点での分野横断の吟味を通じて、外力設定検討における分野間の共通性を理解した上で、分野それぞれの独自性を検討するというやり方をとることは、技術を体系的・合理的に進展させる上で重要である。

本研究報告では、この点を考慮して、第Ⅲ部の被害調査編に「東日本大震災における地震・津波の外力・影響に関する共通的分析」という章（第１章）を、また、第Ⅳ部の研究成果編に「地震・津波の外力・影響の設定に関する共通的検討」という章（第１章）を設け、関係する分野が共通して必要とする分析・検討を行っている。さらにⅣ.1.4 の「構造物の設計等に関わる津波外力設定の全体像」のところでは、一見すると津波外力算定手法が分野毎に発展してきているように見えるが、津波の構造物への作用に関する基本特性に照らすと実は、根幹のところで互いに共通している部分があり、そこから、各分野の津波外力算定法を体系的に捉え直すことができると論じている。

２番目の「事象メカニズムの共通性」の代表例は液状化現象である。液状化現象は、東日本大震災において地震動により出現した、被災を起こす事象の１つであり、その影響は、道路構造物（特に、基礎や舗装)、河川堤防､宅地､下水道管きょという多分野に及んだ。その被害の態様と復旧および対策法には分野毎に違いはあるものの、被害の直接原因が液状化現象という点で共通している。図-Ⅰ.1 上部の中央付近において縦方向に繋いでいる線は､「液状化に関する共通的技術検討」をコアに、関係する分野の調査研究内容が相互に関係性を持つことを示している。この例のように、様々な被災を起こす共通的事象が存在する場合、それに着目した分野横断連携をはかることが必要となる。

３番目の「施策に関する共通性」は、調査研究の“出口”が１つの施策パッケージに属することを意味する。すなわち、様々な調査研究の成果が、体系的に構成され１つの施策パッケージの推進に寄与する構図となることを求められる場合、それらの調査研究は“出口”が同じという共通性を持つことになる。その代表は、図-Ⅰ.1 の右下部に位置する､広く破線で囲われた領域「津波からの多重防護・減災システム」の調査研究群である。

東日本大震災のような大規模津波に備えるには、ハード整備だけでは限界があることから、ハード・ソフト施策を総動員する多重防御による減災システムの構築が必要である。これを達成するためには、性格の異なる様々な技術や方法を適切に組み合わせた包括的な施策展開の実施が求められる。このように、持つべき相互関係が明確な多数の成果の創出を求められる調査研究群の実施においては、着手段階からの連携が大事になる。このような連携のマネジメントを適切に行うために､「施策に関する共通性」に着目した調査研究群の関係把握は有用である。本研究報告では、第Ⅴ部として「津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた分野横断的取り組み」を設け、この共通性に根ざした分野横断の統合的調査研究がどのように実施されたかを、各分野の研究成果とは別に説明している。

以上の「津波からの多重防護・減災システム」の調査研究群領域の右下方には、津波により影響を受けた自然環境や被災した歴史的市街地などの地域資源を、復旧・復興のプロセスにきちんと組み込んで再生していくことに役立つ調査研究群が示されている。

分野横断の連携を促す以上３種の共通性以外に、たとえば､「場の共通性」も考えられる。これには、１つの場所に異種のインフラが存在し、それらの被害が相互に影響を与える場合が考えられる。

## Ⅰ.4　まとめ

以上に見てきたように、広範な調査研究の内容を図-Ⅰ.1 のような図に表現することで､調査研究の展開パターンを把握・確認することができ、個々の調査研究の位置づけの明確化に役立ち、その進め方の改善について知見を得ることができる。また、全体俯瞰図を用いて各分野の調査研究の展開を横断的に関連づけることは､技術展開の合理化･体系化を一層進める上でも、包括的な施策推進に資するよう調査研究の成果を最大化する上でも有用である。

全体俯瞰には、ここで示した方法に限らず、様々な方法が試されて良い。重要なことは、広範で、しかも相互に密接な関係を持ちうる調査研究の推進や結果の評価、次の調査研究への改善方策の具体化を図るために、それに適した道具を工夫し、活用して行くことである。

# Ⅱ．本報告書の基本構成と読み方

**本報告書の構成**

本報告書は、大きく 2 つの編から成っている。第Ⅲ部の被害調査編と第Ⅳ部の研究成果編である。被害調査編は、発災後早い段階から国総研が行った、地震動、津波の状況、国土交通省が所管する施設等の被害状況等の把握、分析に関する取り組みを紹介している。研究成果編は、調査結果等を踏まえて、国総研で行ってきた研究内容及びその成果の反映等の取り組みを紹介している。それぞれの編を構成する章・節・項目は、基本的には施設ごと、あるいは研究対象ごとに整理しているので、それぞれ関心のある分野に対応した章・節・項目をご覧いただければ、必要な情報が得られるように構成している。その上で、第Ⅰ部で説明したように、分野横断の連携が重要となる内容については別途記述している。第Ⅲ部 1 章、第Ⅳ部 1 章、第Ⅴ部がこれに当たる。

**本報告の記述方法**

次に、本報告書の記述の仕方について以下に説明する。冒頭の「本研究報告の特徴」と合わせてご覧いただきたい。

第Ⅲ部と第Ⅳ部では、元となる文献の性格やそれへの依存度に応じて大きく 2 種類の記述方法を採用している。第 1 の方法は、国総研の刊行物として発行済みのものに当該調査研究の全体がとりまとめられており、それを引用するというものである。具体的には、当該刊行物をその項目の最初に枠囲みで紹介し（以下、これを「コア文献」と呼ぶ）、その大要を記述する。国総研の刊行物（国総研研究報告や国総研資料、同プロジェクト研究報告）はウエブサイトで全文閲覧・ダウンロードが可能であり、調査研究の詳細をさらに確認する際には、コア文献を該当ウエブサイトから参照いただくことを想定している。なお、コア文献として、国立研究開発法人土木研究所、同建築研究所、同港湾空港技術研究所との共同刊行およびそれに準じるものが示されている場合もある（同様に全文閲覧・ダウンロードが可能）。

第 2 の方法は、国総研の刊行物としても、土木研究所、建築研究所、港湾空港技術研究所との共同刊行物等としても発行されていない調査研究内容を扱う場合である。この場合でも、研究内容が学会機関誌や論文ジャーナル等へ投稿されていることが多い。しかし、第 1 の場合と異なり、1 つの論文等に当該調査研究の全容がまとまった形で提示されているとは限らない。また、成果を論文等にしていない場合もある。そこで、既発表の論文等を再構成し、また、必要に応じて成果を書き下ろして当該項目の内容とする記述法とした。なお、該当する既発表論文等は参考文献（各項目ごとに末尾に配置）の中で示している。

第 1 の方法の代表例としては「p.16　Ⅲ.1.1 観測された地震動の特性」が、第 2 の方法については「p.81　Ⅳ.1.4　構造物の設計等に関わる津波波力設定の全体像」があり、これらをご覧いただくと、ここで説明した記述法の理解の助けになる。

表-Ⅱ.1 にコア文献一覧を示す。この表では、各コア文献が、どの章・節・項目の内容になっているかも合わせて示している。こうして、この表は、調査研究内容を収めた文献に関するアーカイブ的性格を持つことになる。

表-Ⅱ.2 は、参考文献のうち、本研究報告の内容を構成するものを一覧にしたものである（前記の第 2 の方法に関わるもの）。この表は、したがって、国総研の研究成果発表文献リストとしての性格も持つ。

表-Ⅱ.1　コア文献一覧

| No. | 標題 | 刊行物名または著者 | 刊行年月 |
|---|---|---|---|
| 1 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報 | 国土技術政策総合研究所資料　第646号<br>土木研究所資料　第4202号 | 平成23年7月 |
| 2 | 2011年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み | 国土技術政策総合研究所研究報告　第52号 | 平成25年1月 |
| 3 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による強震記録 | 国土技術政策総合研究所研究報告　第726号 | 平成25年2月 |
| 4 | 2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報 | 港湾空港技術研究所資料　第1231号 | 平成23年4月 |
| 5 | 下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書 | 下水道地震・津波対策技術検討委員会(日本下水道協会) | 平成24年3月 |
| 6 | 津波からの多重防御・減災システムに関する研究 | 国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告　第52号 | 平成28年6月 |
| 7 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告 | 国土技術政策総合研究所資料　第814号<br>土木研究所資料　第4295号 | 平成26年12月 |
| 8 | 1978年宮城県沖地震災害調査報告書 | 土木研究所報告　第159号 | 昭和58年3月 |
| 9 | 2011年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析 | 国土技術政策総合研究所資料　第843号 | 平成27年3月 |
| 10 | 平成23年(2011年)東日本大震災2.5万分1浸水範囲概況図 | 国土地理院技術資料　D1-No.588～593 | 平成23年9月<br>(No.593のみ11月) |
| 11 | 2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査 | 国土技術政策総合研究所資料　第658号 | 平成23年12月 |
| 12 | 2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査(その2) | 国土技術政策総合研究所資料　第781号 | 平成26年3月 |
| 13 | 東北地方太平洋沖地震津波による防潮壁の被災特性に関する検討 | 国土技術政策総合研究所資料　第810号 | 平成26年9月 |
| 14 | 東日本大震災による船舶動静及び対米国コンテナ流動への影響 | 国土技術政策総合研究所資料　第649号 | 平成23年9月 |
| 15 | 東日本大震災による港湾都市における産業・物流の被害・復旧状況 | 国土技術政策総合研究所資料　第677号 | 平成24年3月 |
| 16 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告 | 国土技術政策総合研究所資料　第798号<br>港湾空港技術研究所資料　第1291号 | 平成27年9月 |
| 17 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による仙台空港の舗装に関する被害報告 | 国土技術政策総合研究所資料　第680号 | 平成24年3月 |
| 18 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報)(東日本大震災) | 国土技術政策総合研究所資料　第636号<br>建築研究資料　第132号 | 平成23年5月 |
| 19 | 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告 | 国土技術政策総合研究所資料　第674号<br>建築研究資料　第136号 | 平成24年3月 |
| 20 | 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究 | 国土技術政策総合研究所資料　第204号 | 平成16年11月 |
| 21 | 単偏波の高分解能SAR画像による河道閉塞箇所判読調査手法(案) | 国土技術政策総合研究所資料　第760号 | 平成25年11月 |
| 22 | 2偏波SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案) | 国土技術政策総合研究所資料　第791号 | 平成26年6月 |
| 23 | 平成25年度下水道関係調査研究年次報告書集 | 国土技術政策総合研究所資料　第823号 | 平成27年1月 |

表-Ⅱ.1　コア文献一覧

| No. | 標題 | 刊行物名または著者 | 刊行年月 | 引用箇所（上から順に，部，章，節，項目） |
|---|---|---|---|---|
| 24 | 2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への津波避難シミュレーションの適用性 | 国土技術政策総合研究所資料　第742号 | 平成25年6月 | |
| 25 | 海洋レーダを利用したインバージョン手法に基づく津波初期水位の推定精度に対するレーダ観測時間の影響 | 国土技術政策総合研究所資料　第739号 | 平成25年6月 | |
| 26 | 東京湾における津波来襲時での避難水域規模推計に関する研究 | 国土技術政策総合研究所資料　第782号 | 平成26年3月 | |
| 27 | 大規模地震時における港湾全体としての係留施設の被害程度の推定手法の提案 | 国土技術政策総合研究所資料　第836号 | 平成27年4月 | |
| 28 | 海溝型巨大地震による地震動の予測のための震源パラメターの経験式-強震動パルスの生成に着目して- | 港湾空港技術研究所資料　第1257号 | 平成24年9月 | |
| 29 | 空港の災害リスクの定量的評価に関する研究 | 国土技術政策総合研究所資料　第756号 | 平成25年9月 | |
| 30 | 空港の確率論的リスク評価における財務影響分析に関する研究 | 国土技術政策総合研究所資料　第783号 | 平成26年3月 | |
| 31 | 空港の性能維持・早期復旧に関する地震リスクマネジメント | 国土技術政策総合研究所資料　第830号 | 平成27年3月 | |
| 32 | 公共施設運営権設定下の地震リスクマネジメントに関する研究～空港を例として～ | 国土技術政策総合研究所研究報告　第55号 | 平成26年3月 | |
| 33 | 空港総体での安全評価の問題点と地震リスクマネジメントに関するガイドラインの試案 | 国土技術政策総合研究所資料　第863号 | 平成27年9月 | |
| 34 | 津波災害の初期段階における代替空港に関する検討 | 国土技術政策総合研究所資料　第718号 | 平成25年3月 | |
| 35 | 津波避難ビル等の構造上の要件の解説 | 国土技術政策総合研究所資料　第673号 | 平成24年3月 | |
| 36 | 超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討　－長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ3連動地震による超高層・免震建物の応答解析 | 建築研究資料　第144号 | 平成25年8月 | |
| 37 | 超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討　－南海トラフ4連動地震による超高層・免震建物の応答解析 | 建築研究資料　第147号 | 平成25年9月 | |
| 38 | 長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性に関する検討 | 建築研究資料　第160号 | 平成26年7月 | |
| 39 | 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説 | 国土技術政策総合研究所資料　第751号<br>建築研究資料　第146号 | 平成25年9月 | |
| 40 | 東日本大震災における災害公営住宅の供給促進のための計画に関する検討 | 国土技術政策総合研究所資料　第846号 | 平成27年10月 | |
| 41 | 防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案）（平成27年9月改訂版） | 国土技術政策総合研究所資料　第857号 | 平成27年9月 | |
| 42 | 東日本大震災における建設関連企業の活動実態調査－被災地の支援・復旧に向けた初動の記録－ | 国土技術政策総合研究所資料　第729号 | 平成25年3月 | |
| 43 | 宮古湾におけるアマモ復元の視点でみた底質状況 | 国土技術政策総合研究所資料　第688号 | 平成24年6月 | |
| 44 | 宮古湾における底泥およびアマモのモニタリング結果（2012年10月） | 国土技術政策総合研究所資料　第752号 | 平成25年9月 | |
| 45 | 宮古湾における底泥およびアマモのモニタリング結果（2013年10月） | 国土技術政策総合研究所資料　第796号 | 平成26年7月 | |
| 46 | 東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災後の大船渡湾の水質に関する研究 | 国土技術政策総合研究所資料　第831号 | 平成27年3月 | |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅲ | 3 | 深谷渉、松橋学、横田敏宏、小川文章 | 東日本大震災による下水道不明水への影響 | 下水道協会誌 | Vol.51, No.623 | 129-135 | 平成26年9月 |
| Ⅲ | 3 | 深谷渉、松橋学、小野寺知幸、庄野貴英、小西康彦 | 気仙沼市における津波の管路内遡上によるマンホール蓋飛散事例研究 | 下水道協会誌 | Vol.51, No.615 | 105-112 | 平成26年1月 |
| Ⅲ | 3 | 深谷渉、松橋学、横田敏宏、加藤秀仁 | 東日本大震災における潮来市下水道管きょの浮上原因に関する2，3の考察 | 下水道協会誌 | Vol.52, No.637 | 86-94 | 平成27年11月 |
| Ⅲ | 4 | 服部　敦、福島雅紀 | 津波による堤防等河川管理施設の被害 | 土木技術資料 | 第53巻、第8号 | 22-27 | 平成23年7月 |
| Ⅲ | 4 | 中村 圭吾、岩見　洋一、芳賀　正崇 | 東日本大震災津波による河川汽水域への影響－北上川河口を例として－ | 雑誌河川 | No.795 | 41-46 | 平成23年10月 |
| Ⅲ | 4 | Fuminori Kato、Yoshio Suwa、Kunihiro Watanabe、Satoshi Hatogai | Damages to Shore Protection Facilities Induced by the Great East Japan Earthquake Tsunami | Journal of Disaster Research | Vol.8, No.4 | 612-625 | 平成25年8月 |
| Ⅲ | 4 | 加藤 史訓、野口 賢二、諏訪 義雄、木村 晃、河合 雅史、高木 利光、小俣 雅志 | 東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No.2 | I_1396-I_1400 | 平成24年11月 |
| Ⅲ | 4 | 加藤 史訓、野口 賢二、諏訪 義雄、坂上 敏彦、佐藤 祥昭 | 津波による地形変化に関する現地調査 | 土木学会論文集B3（海洋開発） | Vol.68, No.2 | I_174-I_179 | 平成24年9月 |
| Ⅲ | 4 | 渡辺 国広、諏訪 義雄、加藤 史訓［他］、藤田 光一 | 東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災分析 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No.2 | I_356-I_360 | 平成24年11月 |
| Ⅲ | 4 | Fuminori Kato、Yoshio Suwa、Kunihiro Watanabe、Satoshi Hatogai | Mechanisms of Coastal Dike Failure Induced by the Great East Japan Earthquake Tsunami | Proceedongs of 33rd Conference on Coastal Engineering, structures, 40 | | | 平成25年12月 |
| Ⅲ | 4 | | 海岸堤防の被災メカニズムと粘り強い構造の要件 | 東日本大震災合同調査報告　共通編2 | | 221-265 | 平成26年6月 |
| Ⅲ | 5 | 玉越 隆史、星隈 順一、横井 芳輝 | 地震・津波による橋梁等道路構造物の被害 | 土木技術資料 | 第53号、第8号 | 12-15 | 平成23年8月 |
| Ⅲ | 5 | 玉越 隆史、白戸 真大、横井 芳輝 | 東北地方太平洋沖地震津波による道路橋の被災分析 | 土木学会年次講演会 | Vol.68 | I-113 | 平成25年9月 |
| Ⅲ | 5 | 片岡　正次郎、松本 幸司 | 東日本大震災時に道路橋に作用した津波の特性とその影響 | 土木技術資料 | 第57巻、第6号 | 14-17 | 平成27年6月 |
| Ⅲ | 5 | Mori, N., Takahashi, T. and the 2011 Tohoku earthquake tsunami joint survey group | Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku earthquake tsunami | Coastal Engineering Journal | 54,Issue 1 | 1-27 | 平成23年 |
| Ⅲ | 5 | 国土地理院 | 平成23年（2011年）東日本大震災2.5万分1浸水範囲概況図 | 国土地理院技術資料 | | D-1 No. 588-593 | 平成23年 |
| Ⅲ | 5 | 佐々木達生、幸左賢二、鄭玉龍 | 桁抵抗力津波作用力比に基づく橋梁の被害分析 | 構造工学論文集 | Vol.59A | 417-427 | 2013年 |
| Ⅲ | 6 | Kentaro KUMAGAI | Tsunami-induced Debris of Freight Containers due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake | Journal of Disaster Fact Sheet, JSCE | | | 平成25年9月 |
| Ⅳ | 1 | 加藤 史訓、諏訪 義雄、藤田 光一、岸田 弘之、五十嵐 崇博、岡村 次郎、林 雄一郎 | 建築物等による津波のせき上げの評価方法 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No.2 | I_356-I_360 | 平成24年11月 |
| Ⅳ | 1 | 加藤 史訓、諏訪 義雄、鳩貝 聡、本間 基寛、内田 良始 | 津波の高さ予想に応じた津波浸水域の推定方法 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No.2 | I_326-I_330 | 平成24年11月 |
| Ⅳ | 1 | 谷本ら | 1983年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討 | 第31回海岸工学講演会論文集 | | 257-261 | 1984年 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 1 | 朝倉ら | 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究 | 海岸工学論文集 | vol.47 | 911-915 | 2000年 |
| Ⅳ | 1 | 池野ら | ソリトン分裂と砕波を伴う津波の防波堤に作用する波力評価に関する実験的研究 | 海岸工学講演集 | Vol.52 | 751-755 | 2005年 |
| Ⅳ | 1 | 池野ら | The tsunami wave force acting on land structures | Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering, ASCE | | 1191-1202 | 2002年 |
| Ⅳ | 1 | 榊山勉 | 陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究 | 土木学会論文集B2(海岸工学) | Vol.68, No.2 | I_771-I_775 | 2012年 |
| Ⅳ | 2 | 奥山悠木、内田太郎、秦雅之、蒲原潤一、高山陶子、松田昌之 | 地震による斜面崩壊危険度の絶対的評価に向けての検討 | 平成26年度砂防学会研究発表概要集B | | B318-319 | 平成26年5月 |
| Ⅳ | 2 | 冨田陽子、桂真也、小山内信智、戸村健太郎、高山陶子、中島達也、岡野和行、原田美鈴 | 「地震による斜面崩壊危険度評価判別式」の岩手・宮城内陸地震への適用について | 平成22年度砂防学会研究発表会概要集 | | 572-573 | 2010年 |
| Ⅳ | 2 | 奥山悠木、野村康裕、岡本敦、高山陶子、戸村健太郎 | 震時斜面崩壊危険度評価手法の高度化に関する検討 | 平成25年度砂防学会研究発表会概要集 | | B370-371 | 2013年 |
| Ⅳ | 2 | Keefer,D.K. | Investigating landslide caused by earthquakes-a historical review | Surveys in Geophysics | 23 | 473-510 | 2002年 |
| Ⅳ | 2 | 冨田陽子、桜井亘、中庸充 | 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について | 砂防学会誌 | Vol.48, No. 6 | 15-21 | 1996年 |
| Ⅳ | 2 | 国土交通省河川局砂防部 | 土砂災害警戒情報における地震発生後の暫定基準について(平成19年12月17日事務連絡) | 砂防便覧、治水砂防協会 | | 1127-1129 | 2010年 |
| Ⅳ | 2 | Yasuhiro Nomura、Atsushi Okamoto、Kazumasa Kuramoto、Hiroshi Ikeda | Landslide-triggering Rainfall Thresholds after Major Earthquakes for Early Warning | International Journal of Erosion Control Engineering | Vol.7, No. 2 | 56-62 | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 2 | 伊藤英之、小山内信智、西本晴男、臼杵伸浩、佐口治 | 地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係 | 砂防学会誌 | Vol.61, No. 5 | 46-51 | 2009年 |
| Ⅳ | 2 | 檜垣大助、佐藤剛、梅村順、井良沢道也、千葉則行、若井明彦、鵜飼恵三、川邉洋、綱木亮介、八木浩司、武士俊也、冨田陽子 | 平成23年東北地方太平洋沖地震に見る海溝型巨大地震での斜面災害発生場 | 平成24年度砂防学会研究発表会概要集 | | 198-199 | 2012年 |
| Ⅳ | 2 | 水野正樹、蒲原潤一、江川真史、神山嬢子 | 高分解能光学画像を用いた東日本大震災時の崩壊分布把握 | 土木技術資料 | 第56巻、第7号 | 43-44 | 平成26年7月 |
| Ⅳ | 2 | 林真一郎、水野正樹、佐藤匠、神山嬢子、岡本敦、吉川知弘、鵜殿俊昭、横田浩、野田敦夫、吉川和男 | 紀伊半島台風12号災害を事例とした人工衛星高分解能SAR画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立 | 砂防学会誌 | Vol.66, No. 3 | 32-39 | 2013年 |
| Ⅳ | 2 | 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一、林真一郎 | 単偏波の高分解能SAR画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案） | 国土技術政策総合研究所資料 | 第760号 | | 平成25年11月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 2 | 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一 | 2偏波SAR画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案） | 国土技術政策総合研究所資料 | 第791号 | | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 3 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 | 災害時における下水の排除・処理に関する考え方(案) | 本省及び国総研下水道研究室HPに掲載 | | | 平成24年9月 |
| Ⅳ | 3 | 諏訪守、安井宣仁、鈴木穣、岡本誠一郎、桜井健介 | 津波被災下水処理場の段階的復旧対策による水質改善効果 | 下水道協会誌 | Vol.50, No.614 | 111-120 | 平成25年12月 |
| Ⅳ | 3 | 對馬育夫、小越眞佐司、山下洋正、原田一郎 | 下水処理場における放射性セシウムの挙動調査及び溶出試験 | 水環境学会誌 | Vol.36, No.1 | 33 | 平成25年1月 |
| Ⅳ | 3 | 對馬育夫、小越眞佐司 | 放射性物質を含む下水汚泥を用いた長期浸出実験 | 下水道協会誌 | Vol.50, No.607 | 108-135 | 平成25年5月 |
| Ⅳ | 3 | 松橋学、深谷渉、横田敏宏 | 下水道管渠埋戻し部の締固め工法の技術的課題 | 第50回下水道研究発表会講演集 | | | 平成25年7月 |
| Ⅳ | 3 | 深谷渉、松橋学、横田敏宏 | 南海トラフ連動型地震で想定される下水道施設被害と効果的復旧支援 | 土木技術資料 | 第57巻、第10号 | 38-41 | 平成27年10月 |
| Ⅳ | 3 | 深谷渉、松橋学、横田敏宏、小川文章 | 東日本大震災による下水道不明水への影響 | 下水道協会誌 | vol.51, N0.623 | 129-135 | 平成26年9月 |
| Ⅳ | 3 | 尾崎正明、山下洋正、濱田知幸 | 応急復旧の実態調査と今後の課題 | 第52回下水道研究発表会講演集 | | | 平成27年7月 |
| Ⅳ | 3 | 小野寺和幸　他 | 気仙沼市公共下水道の応急復旧について～東日本大震災への対応～ | 第49回下水道研究発表会講演集 | | 361-363 | 2012年7月 |
| Ⅳ | 4 | 福島雅紀、松浦達郎、服部敦 | 河川津波の特性把握に関する実験的検討 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol. 69 | I_261-I_265 | 平成25年11月 |
| Ⅳ | 4 | 福島雅紀、松浦達郎、服部敦 | 河川津波の特徴を考慮した水位・氾濫状況に関する解析条件の検討 | 河川 | Vol.812 | 31-34 | 平成26年3月 |
| Ⅳ | 4 | 中村賢人、森啓年、鈴木宏幸、服部敦 | 津波遡上の最大水位に河川流量が与える影響に関する実験 | 土木学会第70回年次学術講演会　講演会概要集 | | Ⅱ-152 | 平成27年9月 |
| Ⅳ | 4 | 河田惠昭 | 自然災害の新しい脅威と災害対応の課題 | 減災 | Vol.3 | 14-20 | 2008年5月 |
| Ⅳ | 4 | 松浦達郎、板垣修、服部敦 | 地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析 | 河川技術論文集 | 第20巻 | 385-390 | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 4 | 板垣修、松浦達郎、服部敦 | 地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析 | 第14回日本地震工学シンポジウム論文集 | | | 平成26年12月 |
| Ⅳ | 4 | 福原直樹、板垣修、松浦達郎、服部敦 | 地震と洪水の複合災害対策による被害低減効果の検討 | 河川技術論文集 | 第21巻 | 449-454 | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 4 | 庄司学、高橋大、築地拓哉、那波悟志 | 2011年東北地方太平洋沖地震における1都5県の停電分析 | 土木学会論文集A1 | Vol.68, No.4 | I_1210-I_1223 | 2012年7月 |
| Ⅳ | 4 | Gaku Shoji and Ayumi Toyota | Function of emergency road networks during the post-earthquake process of lifeline systems restoration | Journal of Disaster Research | Vol.7, No.2 | 173-183 | 2012年2月 |
| Ⅳ | 4 | Gaku Shoji and Tomoharu Nakamura | Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake | Journal of Disaster Research | Vol.9, No.2 | 121-127 | 2014年3月 |
| Ⅳ | 4 | 川上英二 | 震度、被害率、断水率の関係 | 土木学会第53回年次学術講演会 | | 646-647 | 1998年10月 |
| Ⅳ | 4 | Shigeru Nagata, Kohei Kageyama, Kinya Yamamoto | An emergency restoration model for water supply network damage due to earthquakes | Journal of Disaster Research | Vol.3, No.6 | 390-399 | 2008年12月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 4 | N.Matsumoto, H.Yoshida, T.Sasaki, T.Annaka | esponse Spectra of Earthquake Motions at Dam Foundations | 21st Congress on Large Dams, Montreal | Q.83-R.35, Vol.3 | 595-611 | 2003年 |
| Ⅳ | 4 | 松本徳久、吉田等、佐々木隆、安中正 | ダムサイトでの地震動の応答スペクトル | 大ダム | No.186 | 69-76 | 2004年 |
| Ⅳ | 4 | N. Matsumoto, T.Ohmachi, N.Yasuda, T.Sano, T.Sasaki, T.Annaka | Acceleration Response Spectra at Dam Foundations | 22st Congress on Large Dams, Barcelona | C.9, Vol.2 | 727-745 | 2006年 |
| Ⅳ | 4 | 松本徳久、大町達夫、安田成夫、佐野貴之、佐々木隆、安中正 | ダム基礎における加速度応答スペクトル | 大ダム | No.199 | 54-63 | 2007年 |
| Ⅳ | 4 | 三石真也、島本和仁 | 大規模地震に対するダム耐震性能照査について | ダム技術 | No.274 | 6-35 | 2009年 |
| Ⅳ | 4 | 松浦達郎、板垣修、服部敦 | 地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析 | 日本地震工学会論文集、第16号第5号（特集号） | | | 平成28年4月 |
| Ⅳ | 4 | 佐々木隆、伊藤壮志 | 東北地方太平洋沖地震及びその余震を考慮した距離減衰式の提案 | 土木技術資料 | Vol.56, No.11 | 38-41 | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 4 | 佐々木隆、伊藤壮志 | 地震動の距離減衰式の改良 | ダム技術 | No.338 | 17-28 | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 4 | 佐々木隆、伊藤壮志、山口嘉一、安中正 | 東北地震を踏まえたダム基礎岩盤における地震動距離減衰式 | 大ダム | No.229 | 99-106 | 平成26年10月 |
| Ⅳ | 4 | T. Ito, T. Sasaki, Y. Yamaguchi、T.Annaka | Attenuation Relationship of Earthquake Motion at Dam Foundation in Consideration of The 2011 Tohoku Earthquake | ICOLD BALI 2014 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON " DAMS IN GLOBAL ENVIRONMENTAL CHALLENGES" | | II-519-528 | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 4 | 武村雅之 | 日本列島および周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係 | 地震 | 第43巻 | 257-265 | 1990年 |
| Ⅳ | 4 | 鳩貝ら | 津波越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No.2 | I_406-I_410 | 2012年 |
| Ⅳ | 4 | 加藤ら | 津波の越流に対するコンクリート平張り海岸堤防の粘り強い構造 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.69, No.2 | I_1021-I_1025 | 2013年 |
| Ⅳ | 4 | 加藤ら | 津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.70, No.1 | 31-49 | 2014年 |
| Ⅳ | 4 | 加藤ら | 波越流時の海岸堤防の被覆工下面に作用する圧力に関する気液二相流解析 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.70, No.2 | I_971-I_975 | 2014年 |
| Ⅳ | 4 | 渡辺ら | 海岸堤防の粘り強さ向上による減災効果の感度分析 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.71, No.2 | I_1597-I_1602 | 2015年 |
| Ⅳ | 4 | 諏訪 | 自然・地域インフラとは何か | RIVER FRONT | Vol.79 | 11-15 | 2015年 |
| Ⅳ | 4 | 宇多ら | 洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動　－流水に対する安定性・耐侵食性を判断するために－ | 土木研究所資料 | 3489号 | | 1997年 |
| Ⅳ | 5 | 梶尾辰史、金子正洋、長屋和宏 | 地震後の道路橋の通行障害に関する調査 | 第30回日本道路会議論文集 | | No.2037 | 平成25年10月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 5 | 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司 | 地震発生時の道路橋の被災状況把握技術の開発 | 国総研レポート2015 | | 76 | 2015 |
| Ⅳ | 5 | 松本幸司、長屋和宏、梶尾辰史 | 道路橋の地震被害計測技術の研究 | 土木技術資料 | | 44-45 | 2015.5 |
| Ⅳ | 5 | 伊藤茂也、貴史豊、梶尾辰史 | 道路橋の地震被災状況把握技術の研究事例 | 第31回日本道路会議論文集 | No.2,P05 | | 2015.10 |
| Ⅳ | 5 | 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司 | 変位計による道路橋地震被災把握システムの開発に関する考察 | 第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集 | | pp.118-123 | 平成27年10月 |
| Ⅳ | 5 | 松岡一成、金子正洋 | 現地調査に基づく道路啓開状況と避難所物資供給状況の関係について | 日本地震工学会大会2012概要集 | | 354-355 | 平成24年11月 |
| Ⅳ | 5 | 金子正洋、間渕利明、神田忠士、松本幸司 | 大規模地震時の被災者支援に必要な道路ネットワーク機能に関する研究 | 土木計画学研究・講演集 | Vol.51 | | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 5 | 神田忠士、間渕利明、金子正洋、松本幸司 | 災害時の道路啓開における路線の優先度の評価に関する研究 | 土木計画学研究・講演集 | Vol.51 | | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 5 | 神田忠士、松本幸司 | 災害時に道路啓開を優先すべき路線を抽出する手法の開発 | 土木技術資料 | 第58巻、第3号 | 22-25 | 平成28年3月 |
| Ⅳ | 5 | 間渕利明、金子正洋、高宮進、中尾吉宏 | 道路上の震災ガレキ量の予測手法について | 日本地震工学会・大会2012概要集 | | 346-347 | 平成24年11月 |
| Ⅳ | 5 | 家田仁、上西周子、猪股隆行、鈴木忠徳 | 阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能障害とその影響 | 土木学会論文集 | | | 1997年1月 |
| Ⅳ | 6 | 大江悠介ほか | 津波避難施設の最適配置のための数理計画モデル生成 | 日本オペレーションズ・リサーチ学会2012年春季研究発表会アブストラクト集 | | 130-131 | 平成24年3月 |
| Ⅳ | 6 | 熊谷 兼太郎、富田 孝史 | 津波避難開始時間の数理モデル | 土木計画学研究・講演集 | Vol. 50 | | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 6 | 熊谷兼太郎 | 2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションによる再現性の検証 | 土木学会論文集D3（土木計画学） | Vol. 70, No.5 | I_187-I_196 | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 6 | 熊谷兼太郎 | レーザセンサを用いた津波避難の人流測定 | 土木計画学研究・講演集 | Vol. 49 | | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 6 | Hinata et al. | Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the kii Channel,Japan | Estuar., Coast. And Shelf Science | Vol. 95,issue1 | 268-273 | 2011年11月 |
| Ⅳ | 6 | 日向ら | 紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.68, No2 | I_196-I_200 | 2012年 |
| Ⅳ | 6 | 藤良太郎、日向博文、藤井智史、永松宏、小笠原勇、伊藤浩之、片岡智哉、高橋智幸 | 仮想津波実験に基づく海洋レーダ津波検知距離の検討 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.70, No1 | I_351-I_355 | 2015年 |
| Ⅳ | 6 | 片岡智哉、藤良太郎、日向博文、永松宏、小笠原勇、伊藤浩之、高橋智幸 | 短波海洋レーダによる津波観測のためのノイズ軽減手法の開発 | 日本リモートセンシング学会学術講演会論文集 | Vol.50 | 65-66 | 2015年 |
| Ⅳ | 6 | 大村智宏、八木宏、中山哲厳、米山正樹、成田賢仁、加藤広之、門安曇、滑川順 | 胸壁に作用する津波波力に関する実験的研究 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.71, No2 | I_991-I_996 | 平成27年11月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 6 | 淺井正、樋口直人、田中聡 | 陸閘の被災に与える戻り流れの影響に関する数値計算 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.71, No2 | I_1111-I_1116 | 平成27年11月 |
| Ⅳ | 6 | 淺井正、樋口直人、田中聡 | 東北地方太平洋沖地震津波で被災した胸壁の津波越流に関する数値計算による検証 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.70, No.2 | I_321-I_325 | 平成27年11月 |
| Ⅳ | 6 | 小原恒平、宮田正史、青木信之、金正富雄、笹井剛、佐藤広章 | 最大クラスの津波に対する防波堤の津波減災効果について | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.69, No.2 | | 平成25年10月 |
| Ⅳ | 6 | 細川真也、宮田正史、青木信之、鴨打浩一 | 津波に対して粘り強い港湾構造物の設計手法に関する研究 | 平成24年度国土技術研究発表会 | | | 平成24年10月 |
| Ⅳ | 6 | 宮田正史、野島和也、桜庭雅明、浅井茂樹 | 防波堤天端形状が津波越流時の流況特性に及ぼす影響に関する数値解析 | 土木学会第68回年次学術講演会講演概要集 | | | 平成25年9月 |
| Ⅳ | 6 | 宮田正史、小竹康夫、竹信正寛、中村友昭、水谷法美、浅井茂樹 | 防波堤を越流する津波の水理特性に関する実験的研究 | 土木学会論文集B3（海洋開発） | Vol.70 | | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 6 | 小竹康夫、中村友昭、水谷法美、宮田正史、竹信正寛、浅井茂樹 | 越流する津波に対する防波堤の安定性評価における空気相の影響に関する考察 | 土木学会論文集B2（海岸工学） | Vol.70 | I_931-I_935 | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 6 | 小濱英司、菅野高弘、竹信正寛、宮田正史、野津厚 | 2011年東北地方太平洋沖地震における桟橋およびコンテナクレーンの地震観測 | 土木学会論文集B3（海洋開発） | Vol.69 | | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 6 | 野津厚、長尾毅 | 海溝型巨大地震による地震動の予測のための震源パラメターの経験式 | 港湾空港技術研究所資料 | 第　1257号 | | 平成24年9月 |
| Ⅳ | 6 | 竹信正寛、宮田正史、佐藤裕司 | 過去の地震被災事例を踏まえた係留施設に関する耐震設計法の検証 | 国総研レポート2015 | | 71 | 平成27年4月 |
| Ⅳ | 8 | | 津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件（平成23年国土交通省告示第1318号) | 平成23年国土交通省告示第1318号 | | | 平成23年12月 |
| Ⅳ | 8 | | 建築基準整備促進事業「津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討」（平成24～26年度） | | | | |
| Ⅳ | 8 | | 総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」　外装材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発（平成25～26年度) | | | | |
| Ⅳ | 8 | 岩田善裕、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、壁谷澤寿一、都祭弘幸、冨田祐介、西畑剛 | 外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究　その1　実験概要 | 本建築学会大会学術講演梗概集（近畿） | | 75-76 | 2014年9月 |
| Ⅳ | 8 | 冨田祐介、岩田善裕、壁谷澤寿一、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、都祭弘幸、西畑剛 | 外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究　その2　実験結果 | 日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿） | | 77-78 | 2014年9月 |
| Ⅳ | 8 | 都祭弘幸、岩田善裕、壁谷澤寿一、奥田泰雄、喜々津仁密、迫田丈志 | 外壁材の脱落を考慮した耐津波設計 | 日本建築学会大会（関東）構造部門（荷重）パネルディスカッション資料 | | 64-86 | 2015年9月 |
| Ⅳ | 8 | | エレベーター等の脱落防止対策関連告示（平成25年国土交通省告示1046号ほか） | 平成25年国土交通省告示1046号ほか | | | 平成25年10月 |
| Ⅳ | 8 | | 建築基準整備促進事業「住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討」（平成23年度）及び「小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討」（平成24・25年度） | 日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説（新築住宅)2015 | | | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 8 | | 地盤の液状化に関する情報提供 | 住宅品質確保法施行規則第1条第11号(H27年4月施行) | | | 平成26年2月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 9 | 新井信幸、米野史健 | 仙台市内の民間賃貸借り上げ仮設住宅での被災者の入居プロセスと居住実態 | 日本建築学会計画系論文報告集 | 第700号 | 1401-1406 | 平成26年6月 |
| Ⅳ | 9 | 米野史健 | 岩手県の借り上げ仮設住宅における被災世帯の入居経緯と居住実態 | 都市住宅学 | 87号 | 133-138 | 平成26年10月 |
| Ⅳ | 9 | 米野史健、三井所隆史 | 岩手県の借り上げ仮設住宅入居世帯における住宅再建の動向 | 都市住宅学 | 87号 | 139-144 | 平成26年10月 |
| Ⅳ | 9 | 古山周太郎、米野史健 | 岩手県大船渡市の借り上げ仮設住宅居住世帯の入居経緯と再建動向 | 日本建築学会計画系論文報告集 | 第719号 | 163-170 | 平成28年1月 |
| Ⅳ | 9 | 米野史健 | 仙台市内の応急仮設住宅としての民間賃貸住宅の借り上げにおける入居の実態－東日本大震災1年後の借り上げ仮設住宅居住者へのアンケート調査より | 日本建築学会計画系論文集 | 第 78 巻，第689号 | 1589-1596 | 2013年7月 |
| Ⅳ | 9 | 長谷川洋 | 福島原子力災害避難者の長期避難生活拠点の形成に向けた取組みと課題 | 都市住宅学 | 第86号 | 12-17 | 2014年7月 |
| Ⅳ | 9 | 米野史健 | 公営住宅の建設と復興まちづくり | 東日本大震災合同調査報告書編集委員会編『東日本大震災合同調査報告都市計画編』 | | 100-106 | 平成27年1月 |
| Ⅳ | 9 | 角倉英明、渡邊史郎、浦西 幸子、藤田香織、有川智、森 正志 | 地域型復興住宅の生産グループにおける木造住宅の生産体制に関する統計的把握 | 日本建築学会技術報告集 | Vol. 19, No. 43 | 1155-1160 | 平成25年10月 |
| Ⅳ | 9 | 渡邊 史郎、角倉 英明、藤田 香織 | 岩手県における地域型仮設住宅の統計的把握　その1　2011年東日本大震災における地域生産システムの役割に関する研究 | 日本建築学会計画系論文集 | 第684号 | 309-316 | 平成25年2月 |
| Ⅳ | 9 | 角倉 英明 | Study on Utilization of Regional Builders for Post-Disaster HousingA case study of the construction project of temporary houses in Iwate prefecture after the 2011 Tohoku earthquake and tsunami | IASUR・Sustainable Society as Our Challenge | | 567-573 | 平成26年10月 |
| Ⅳ | 9 | Shiro Watanabe、Hideaki Sumikura、Kaori Fujita | STUDY ON WOODEN TEMPORARY HOUSES SUPPLIED BY LOCAL BUILDERS AFTER THE TOHOKU EARTHQUAKE | World Conference on Timber Engineering ・Auckland 2012 ・Architecture and Engineering Case Studies | | | 平成24年7月 |
| Ⅳ | 9 | 角倉 英明 | 震災復興初期における地域の工務店による住宅再建の現状と課題 | 住宅と木材 | 第419号 | | 平成24年11月 |
| Ⅳ | 9 | 角倉 英明 | 東日本大震災が地域工務店の復旧・復興活動に及ぼした作用 | 建築雑誌 | 第 1632 号 | 22-23 | 平成24年5月 |
| Ⅳ | 10 | 岩見達也、竹谷修一 | 津波と火災を考慮した複合災害避難シミュレーションツールの開発 | 日本建築学会 第37回 情報・システム・利用・技術シンポジウム 論文集 | | | 平成26年12月 |
| Ⅳ | 10 | 岩見達也、竹谷修一 | 安全な市街地整備に向けた津波避難安全性評価手法の開発 | 国総研レポート2014 | | | 2014年4月 |
| Ⅳ | 10 | 木内望、竹谷修一、岩見達也、勝又済、前川祐介、星野澄人 | 東日本大震災の津波被害を中心とした被災都市における防災拠点機能の喪失と回復の実態 | 日本建築学会東日本大震災２周年シンポジウム（一般講演）梗概 | | | 平成25年3月 |
| Ⅳ | 10 | Nozomu Kiuchi | Studies on the Urban and Local Level Securement of Disaster Preparedness Functions of Coastal Cities and Towns after the Great Tohoku Earthquake | 日本都市計画学会 Proceedings of International Symposium on City Planning 2013 | | | 平成25年8月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 10 | 木内望 | 津波防災都市づくりにおける防災拠点機能の確保について | 日本都市計画学会誌318号 | | | 平成27年12月 |
| Ⅳ | 10 | | 国総研技術速報No.2、地域で取り組む地盤の液状化対策のための「地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」（試行版）公開 | 国総研HP | | | 平成25年1月 |
| Ⅳ | 10 | | 国総研技術速報 No.4、地域で取り組む住宅地の液状化対策のための「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」（試行版）公開 | 国総研HP | | | 平成25年4月 |
| Ⅳ | 12 | 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏 | 大規模広域型地震被害の即時推測技術に関する研究 | 土木技術資料 | 第54巻、第1号 | 64－65 | 2012年 |
| Ⅳ | 12 | 長屋和宏、山田明彦、小路康広 | 道路巡視点検状況把握システム「みちパト」の開発 | 土木技術資料 | 第51巻、第3号 | 28－31 | 2009年 |
| Ⅳ | 12 | 境有紀、 纐纈一起、 神野達夫 | 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案 | 日本建築学会構造系論文集 | No. 555 | 85-91 | 2002年5月 |
| Ⅳ | 12 | 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏、中村洋光、功刀卓、青井真 | 強震記録に基づく地震動分布即時推定システムの構築 | 土木技術資料 | 第55巻、第4号 | 18-21 | 2013年 |
| Ⅳ | 12 | 柿下毅 | 気象庁の新しい震度情報－推計震度分布－ | 震災予防 | No.186 | | 2002年 |
| Ⅳ | 12 | 藤本一雄、翠川三郎 | 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係 | 日本地震工学会論文集 | Vol. 6 | 11-22 | 2006年 |
| Ⅳ | 12 | 末冨岩雄、石田栄介、磯山龍二 | 空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討 | 第28回地震工学研究発表会報告集 | | 8 | 2005年 |
| Ⅳ | 12 | 若松加寿江、松岡昌志、久保純子、長谷川浩一、杉浦正美 | 日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築 | 土木学会論文集 | No.759, I-67 | 213-232 | 2004年 |
| Ⅳ | 12 | 若松加寿江、松岡昌志 | 全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用 | 日本地震工学会誌 | No.18 | 33-38 | 2013年 |
| Ⅳ | 12 | 山崎文雄、大西淳一、田山聡、高野辰雄 | 高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案 | 第10 回日本地震工学シンポジウム論文集 | | 3491-3496 | 1997年 |
| Ⅳ | 12 | 野田茂、星谷勝 | 条件付き確率場の補間法に関する一提案 | 鳥取大学工学部研究報告 | Vol.28 | 175-197 | 1997年 |
| Ⅳ | 12 | 畑明仁、片岡 正次郎 | 2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁被害のマクロ分析 | 第35回土木学会地震工学研究発表会 | | | 2015年 |
| Ⅳ | 12 | 小林寛、運上茂樹 | 大地震時における道路橋の被災度推定手法 | 土木技術資料 | 第47巻、第12号 | 48-53 | 2005年 |
| Ⅳ | 12 | 長屋和宏、日下部毅明、真田晃宏 | 東北地方整備局における即時震害予測システム(SATURN)の開発 | 土木技術資料 | 第47巻、第9号 | 155-160 | 2005年 |
| Ⅳ | 12 | 運上茂樹、高宮進、片岡正次郎、長屋和宏 | 地震発生直後の概略被害状況の推測 | 国総研レポート2011 | | 47 | 2011年3月 |
| Ⅳ | 12 | 長屋和宏、真田晃宏、日下部毅明、小路泰広 | 国交省地震計ネットワークとCCTVカメラネットワークの連携による被災状況確認迅速化に関する検討 | 震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関するシンポジウム | | | 2007年3月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 12 | 大橋幸子、竹谷修一 | 大規模地震災害における地域建設業の活動実態の特性と傾向 | 土木技術資料 | 第55巻、第8号 | 42-45 | 平成25年8月 |
| Ⅳ | 12 | 大橋幸子、竹谷修一 | 東日本大震災における応急復旧に関する災害協定の効果－地域建設業の活動実態を通じて－ | 土木技術資料 | 第55巻、第7号 | 20-23 | 平成25年7月 |
| Ⅳ | 12 | 大橋幸子、竹谷修一、渡辺健一、横井宏行 | 東日本大震災における地域建設業の初動にみる今後の災害対応の方向性 | 土木技術資料 | 第55巻、第6号 | 34-37 | 平成25年6月 |
| Ⅳ | 12 | 長屋和宏、山影修司、金子正洋 | 東日本大震災における道路管理者の対応の記録 | 土木技術資料 | 第55巻、第4号 | 30-33 | 平成25年4月 |
| Ⅳ | 12 | 長屋 和宏、片岡 正次郎、日下部 毅明、松本幸司 | 震後対応における意思決定を支援する即時震害推測システムの開発 | 土木学会論文集A1（構造・地震工学） | Vol.72, No.4 | I_966-I_974 | 平成28年 |
| Ⅳ | 12 | 日下部毅明、木村祐二、稲澤太志 | 超過外力を考慮した災害シナリオと対策検討の支援手法の開発 | 土木技術資料 | 第56巻、第9号 | 30-33 | 平成26年9月 |
| Ⅳ | 12 | 日下部毅明・松本幸司・稲沢太志・長井義樹・山本晶 | 超過外力を考慮した災害発生シナリオの構築手法の開発 | 国総研レポート2015 | | 74 | 2015年 |
| Ⅳ | 12 | 稲沢太志、神田忠士、松本幸司 | 大規模災害に対する危機管理方策検討手法の開発 | 第31回日本道路会議論文集 | | No.2051 | 平成27年10月 |
| Ⅳ | 12 | 稲沢太志、神田忠士、松本幸司 | 大規模災害の災害対応検討支援ツールキットの作成 | 第31回日本道路会議論文集 | | No.2051 | 平成27年10月 |
| Ⅳ | 13 | 佐治秀剛、田中良寛、鹿野島秀行、牧野浩志 | プローブ情報利活用システムの構築 | 土木技術資料, | 第56巻、第8号 | 16-19 | 平成26年度 |
| Ⅳ | 13 | 岩武宏一、鈴木彰一、鈴木一史、金澤文彦 | ITSスポットサービスの概要とモニタ調査結果 | 土木技術資料, | 第56巻、第8号 | 12-15 | 平成26年度 |
| Ⅳ | 13 | 小川倫哉、上田英滋、有賀清隆、小原弘志、重高浩一 | 地理空間情報プラットフォームの仕組みを利用した組織内における情報共有手法 | 土木技術資料 | 第54巻、第8号 | 34-37 | 平成24年8月 |
| Ⅳ | 13 | 小原弘志、増田祐介、今井龍一 | 道路管理用情報共有プラットフォームの構築 | 地理情報システム学会講演論文集 | No.22 | | 平成25年10月 |
| Ⅳ | 13 | 谷口寿俊、小原弘志、今井龍一 | 多様な道路関連情報を組織間で迅速に共有する技術～道路管理用情報共有プラットフォーム～ | 土木技術資料 | 第56巻、第1号 | 24-27 | 平成26年1月 |
| Ⅳ | 13 | 谷口寿俊 | 組織横断的な道路関連情報の共有技術の構築～道路管理用情報共有プラットフォーム～ | 建設電気技術 | 2014　技術集 | 49-53 | 平成26年9月 |
| Ⅳ | 13 | 有賀清隆、今井龍一 、中條覚、早川玲理、重高浩一 | 道路の区間ID方式を活用した異なる位置表現の道路災害情報の地図表示に関する考察 | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.47 | | 平成25年6月 |
| Ⅳ | 13 | 今井龍一、深田雅之、重高浩一、矢部努、牧村和彦、足立龍太郎 | 多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察 | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.48 | | 平成25年11月 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部努、橋本　浩良、重高浩一 | 交通データの分析及び可視化基盤の基礎研究 | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.50 | | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、田嶋　聡司、矢部　努、塚田　幸広、重高　浩一、橋本　浩良、山王　一郎、石田東生 | 動線データを活用した都市活動のモニタリング手法に関する研究～「環境モデル都市・つくば」におけるモビリティ・交通研究会の取り組み～ | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.50 | | 平成26年11月 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、田嶋　聡司、橋本　浩良、重高浩一 | 道路関連情報の流通のためのジオコーディングシステムの開発 | 第12回ITSシンポジウム | | | 平成26年12月 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部努、橋本　浩良、重高浩一 | 多様な交通データの分析及び可視化のための基図に関する研究 | 第12回ITSシンポジウム | | | 平成26年12月 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、深田　雅之、重高　浩一 | 交通データの分析・可視化基盤に関する取り組み | 交通工学 | Vol.50 No.1 | 18-21 | 平成27年1月 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部努、橋本　浩良、重高浩一 | 交通データの分析及び可視化基盤の試作による道路交通分析への適用可能性の考察 | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.51 | | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 13 | 今井龍一、田嶋聡司、矢部努、塚田幸広、重高浩一、橋本浩良、山王一郎、石田東生 | 動線データを活用した都市活動のモニタリングの持続的な運用に向けた取り組み～「環境モデル都市・つくば」におけるモビリティ・交通研究会の活動報告～ | 土木計画学研究発表会・講演集 | Vol.51 | | 平成27年6月 |
| Ⅳ | 13 | 今井龍一、中條覚、松山満昭、重高浩一、石田稔、浜田隆彦 | 道路関連情報の流通のための位置参照方式に関する研究 | 土木学会論文集F3（土木情報学） | Vol.69 | 34-46 | 2013年 |
| Ⅳ | 13 | 菊地英一、増田祐介 | 社会資本管理の効率化に資する空間情報連携共通プラットフォームの構築 | 土木技術者実践論文集 | Vol.1 | 15-22 | 2010年 |
| Ⅳ | 13 | 田中 成典、今井 龍一、中村 健二、川野浩平 | 点群座標データを用いた河川堤防の3次元モデル自動生成に関する研究 | 第16回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集 | | | 平成24年1月 |
| Ⅳ | 13 | 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平 | 点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究 | 土木情報利用技術論文集 | Vol.19 | 165-174 | 2010年 |
| Ⅳ | 13 | Tanaka.S, Imai.R, Nakamura.K, Kawano.K | Research on Generaton of a 3D Model Using Breakline from Point Cloud Data | Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality | | 347-356 | 2010年 |
| Ⅳ | 13 | 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平 | 点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究 | 知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌） | Vol.23, No.4 | 198-216 | 2011年 |
| Ⅳ | 13 | 今井　龍一 | レーザープロファイラ等を用いた3次元CADデータの生成技術 | 月刊建設 | Vol.56, No.3 | 9-11 | 平成24年3月 |
| Ⅳ | 13 | 田中　成典、今井　龍一、中村　健二、川野浩平 | LPデータを用いた震災前後の被害箇所の可視化に関する研究 | 土木情報学シンポジウム講演集 | Vol.37 | 65-68 | 平成24年9月 |
| Ⅳ | 13 | 田中　成典、今井　龍一、中村　健二、川野浩平 | LPデータを用いた震災前後の被害箇所の自動検出結果の可視化に関する研究 | 2012土木学会F3 | vol.68, No.2 | I_197-I_205 | 平成25年3月 |
| Ⅳ | 13 | 遠藤和重、青山憲明、井星雄貴 | 設計、施工、維持管理にわたる橋梁の3次元データ利活用の検討 | 土木情報利用技術講演集 | Vol.35 | | 2010年10月 |
| Ⅳ | 13 | 井星雄貴、青山憲明 、重高浩一 | 業務プロセスを通じた橋梁の3次元データの流通と利用 | 土木情報利用技術講演集 | Vol.36 | 41-44 | 平成23年9月 |
| Ⅳ | 13 | 井星雄貴、中山健、坪村健二 | ３次元モデル活用による橋梁事業の効率化に関する検討 | 土木情報学シンポジウム講演集 | Vol.37 | | 平成24年9月 |
| Ⅳ | 14 | 阿部貴弘 | 災害時における歴史的市街地の復旧プロセスに関する基礎的研究-過去の自然災害及び東日本大震災における歴史的市街地の復旧事例分析から- | 都市計画論文集 | Vol.48 No.3 | 207-212 | 平成25年10月 |
| Ⅳ | 14 | 駒井悟、足立祐司 | 阪神・淡路大震災後における歴史的建造物の保存・建て替えに関する研究 | 日本建築学会近畿支部研究報告集計画系 | 39 | 965-968 | 1999年5月 |
| Ⅳ | 14 | 山崎寿一、中川和樹 | 能登半島地震被災集落・道下の住宅復興の実態 | 日本建築学会計画系論文集 | No.651 | 1151-1158 | 2010年 |

表-Ⅱ.2　参考文献のうち本研究報告の内容を構成するもの一覧（学協会誌等に発表した成果リスト）

| 部 | 章 | 著者名 | 標題 | 文献名 | 巻・号 | 頁 | 刊行年月日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅳ | 14 | 山口実里・福留邦洋・岡崎篤行 | 中山間地における震災被災住宅の修復過程と専門家の役割 | 日本建築学会技術報告集 | Vol.14, No.28 | 573-576 | 2008年 |
| Ⅳ | 14 | 山下泰士・川上光彦・宮脇達也 | 輪島市鳳至地区における震災復興のためのまちづくり計画支援 | 日本建築学会北陸支部研究報告集 | No.52 | 411-414 | 2009年 |
| Ⅳ | 14 | 小柳健・川上光彦 | 震災を受けた歴史的市街地における住宅再建実態と町並み保存に向けた合意形成過程 | 日本建築学会計画系論文集 | No.659 | 91-99 | 2011年 |
| Ⅳ | 14 | 村上裕道 | 自治体の役割と活動 | 震災後の文化財に対する総合的な対処方法・体制についての調査研究 | | 15-24 | 2007年 |

# Ⅲ.被災調査編

# Ⅲ.1　東日本大震災における地震・津波の外力・影響に関する共通的分析

## Ⅲ.1.1　観測された地震動の特性

東北地方太平洋沖地震は三陸沖から茨城県沖に至る長さ約 450km、幅約 200km の巨大な震源域が破壊し、日本の観測史上最大のモーメントマグニチュード Mw9.0 の地震となった。この地震では 2 千を超える強震記録が得られているが、マグニチュード 9 級の巨大地震の強震記録が豊富に得られたのは、世界でも初めてのことである。

観測された地震動の全般的な特徴は以下のように捉えられている。

①震源域の大きさに対応し、強い震度が広い地域で観測された。

②震源域の破壊が 3 分間程度継続したことに伴い、継続時間の長い地震動が多く観測された。

③橋や中低層建築物などの構造物への影響が大きい周期 1～2 秒程度の地震動強度は、兵庫県南部地震で甚大な被害をもたらした強震動ほど大きなものではなかった。

④周期 0.5 秒程度の短周期帯域が非常に大きく卓越し、最大加速度が重力加速度を超える強震記録も多く観測された。

⑤距離による減衰の程度が小さい長周期地震動は、首都圏の長周期構造物に比較的大きな揺れを生じさせた。

これらの知見を今後の耐震設計に活かすことを目的として、国土技術政策総合研究所では得られた強震記録をもとに種々の分析を進め、ダム、道路橋、超高層建築物に関しては設計地震動に関する技術的基準の改定等が行われた。また、地震動の継続時間は液状化の発生に影響することから、地震動特性を踏まえた液状化判定法の妥当性に関する検討も行われた。これらの成果についてはⅣ編で述べる。

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：2011 年　国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、pp.1~11

2.国土技術政策総合研究所：2013 年　国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録－、pp.44~46

東北地方太平洋沖地震の震源や震度分布について、本震や余震活動の観点から概説している。余震活動が近年の大規模地震と比較しても突出して活発であること、余震域から離れて発生した 2 つの地震でも震度 6 強が観測されたこと等を述べている。

また、国土交通省地震計ネットワークの観測記録をもとに、距離減衰特性・推計地震動分布・加速度時刻歴波形・加速度応答スペクトル・継続時間についてとりまとめている。加速度時刻歴波形に見られる波群が震源域での大きな破壊に対応して現れていること、加速度応答スペクトルには地点によって異なる周期帯にピークが見られること、一定のレベル以上の振幅が 2 分間以上、中には 3 分間近く観測された地点があること等を述べている。

3.国土技術政策総合研究所:2011 年　国土技術政策総合研究所資料（第 726 号）東北地方太平洋沖地震による強震記録

土木構造物およびその周辺地盤、地中等において得られた強震記録について、最大加速度や加速度時刻歴波形、加速度応答スペクトル、速度応答スペクトル図を整理し、とりまとめている。

なお、ダムと建築物で観測された強震記録は各分野の被害調査の中で述べる。ダムはⅢ.4.4 において、建築物はⅢ.8.2.2 において主要な記録を簡単に紹介するとともに、詳細を記述した参考文献を挙げている。

## Ⅲ.1.2　津波の概要

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：2011 年　国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、pp.86~241
2.国土技術政策総合研究所：2013 年　国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、pp.50~80

国総研が参画した東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループで集約している痕跡高および遡上高の調査結果、並びに国総研で測定した痕跡調査結果をもとに、津波遡上域の地形が異なる仙台平野南部、石巻平野、陸前高田、宮古市田老地区を対象に、津波遡上域内の痕跡高の分布から津波氾濫流の特徴を調べた。

以上の調査により以下のことがわかった。

①遡上域が広い平野部では、津波痕跡高が津波遡上方向に減衰すること

②平野部とは対照的に遡上域が狭い場所では、津波痕跡高は津波遡上方向に対し減衰せず、上昇する場合もあること

②については、地表・建物等地物との摩擦等により減衰する前に、丘陵状の地形により津波の遡上が妨げられ、流れの運動エネルギーが位置エネルギーに変化したためと考えられる。

4.港湾空港技術研究所：2011 年　港湾空港技術研究所資料（第 1231 号）東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報

国総研と港空研による現地調査において測定した津波痕跡高のうち主なものを表-Ⅲ.1.2.1 に示す。津波痕跡高は、最大波の発生時刻が必ずしも明確でないことを考慮し、すべて津波到達時の天文潮位を基準面として整理した。

浸水高では、女川港、仙台塩釜港で浸水高 13m を超える非常に大きな津波が来襲していることが分かる。また、宮古港から大船渡港、仙台港から相馬港にかけての海岸に浸水高が 10m 近い津波が来襲したと考えられる。なお、同じ地域内でも、構造物や地形の影響による津波痕跡高の測定結果にはばらつきが見られる。

表-Ⅲ.1.2.1　港湾毎に整理した津波痕跡高

| 県 名 | 港　湾　名 | 浸水高(m) |
|---|---|---|
| 青森県 | 八戸港 | 5.4～8.4 |
| 岩手県 | 久慈港 | 8.2～8.7 |
| | 宮古港 | 8.7～10.4 |
| | 釜石港 | 6.6～9.1 |
| | 大船渡港 | 9.5 |
| 宮城県 | 気仙沼港 | 6.3～9.1 |
| | 石巻港区 | 3.3～5.0 |
| | 女川港 | 14.8～18.4 |
| | 塩釜港区 | 4.2 |
| | 仙台港区 | 5.7～14.5 |
| 福島県 | 相馬港 | 10.1～10.4 |
| | 小名浜港 | 3.7～5.4 |
| 茨城県 | 日立港区 | 4.5～5.6 |
| | 常陸那珂港区 | 4.8～5.1 |
| | 大洗港区 | 3.3～4.9 |
| | 鹿島港 | 3.7～6.8 |

また各地の被害想定を調査・整理し比較した。表-Ⅲ.1.2.2 に各県の明治三陸津波の再来に対する想定結果を主要な地点で算出した結果をまとめる。

東北及び関東地方の沿岸では 2011 年以前においてもたびたび津波に襲われており、青森県、岩手県、宮城県、福島県ではそれぞれ津波による被害想定を実施していた。

青森県では、1968 年等の三陸沖北部の地震（M8.4）、1896 年明治三陸タイプの地震(M8.6)を想定し、八戸港での遡上計算結果として最大浸水深 4.0～6.0ｍと見積もっていた。

岩手県では、明治三陸津波の再来、昭和三陸津波（1933 年）の再来などを想定しており、大船渡湾奥での最大遡上高を 7.0m、釜石市湾奥で 8.0m、宮古市津軽石での最大遡上高を 8.4m とした津波予測を公表していた。

宮城県では平成 23 年 2 月に被害想定調査の中間報告を発表しており、おおむね各地で最大の水位が算出された明治三陸津波を被害想定に用いている。各地の津波の最高水位は、南三陸町志津川で 6.8m、女川町で9.3m、仙台空港のある名取市で4.1m となっている。

福島県では、宮城県沖地震津波（1978 年等）、明治三陸津波、福島県沖地震津波（1938 年等）の 3 ケースを想定し、沿岸各地での津波の最大遡上高を算出している。その結果、相馬港では最大遡上高が 5.3m、

小名浜港では地区によって2.8m～4.0mとなっている。

ここからわかることとしては、東日本大震災時の津波は明治三陸津波より大きく、特に岩手県より南では非常に大きいことである。なお、津波時の海象については、宮城県金華山沖で有義波高0.75mと波浪は小さく、また地震発生時は潮位の干満差が小さくなる小潮であった。

**表-Ⅲ.1.2.2　明治三陸津波の再来に対する想定結果**

| 地域・地区名 | 想　定　結　果 |
|---|---|
| 八戸港白銀地区 | 最大浸水深4.0～6.0m |
| 宮古市津軽石 | 最大遡上高8.4m |
| 釜石市湾奥 | 最大遡上高8.0m |
| 大船渡湾奥 | 最大遡上高7.0m |
| 南三陸町志津川 | 最高水位6.8m |
| 女川町 | 最高水位9.3m |
| 石巻市 | 最高水位3.0m |
| 仙台港奥部 | 最高水位2.3m |
| 名取市 | 最高水位4.1m |
| 相馬港 | 最大遡上高4.9m |
| 小名浜港 | 最大遡上高4.0m |

## Ⅲ.2　地震により発生した土砂災害

1.国土技術政策総合研究所、土木研究所：2011年国土技術政策総合研究所資料（第646号）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、土木研究所資料第4202号、pp.47~85、2011

国総研・土研は土砂災害対策検討の基本データとして、都道府県から土砂災害発生位置や時刻に関する情報の提供を受けるとともに、特徴的な土砂災害発生事例について土砂動態等を把握するための現地調査を実施した。

東北地方太平洋沖地震による土砂災害としては、余震によるものも含めて、土石流等13件、地すべり29件、がけ崩れ97件、雪崩2件が発生した（国土交通省砂防部調べ）。国総研では広域的な土砂災害発生状況を把握するため、(社) 日本地すべり学会の協力を得て衛星画像判読を実施した。その結果、崩壊密度の高いエリアが必ずしも本震の震度の大きい地域というわけでは無く、内陸直下型の余震によって、本震よりも小さな震度でも崩壊現象が発生する事例があった。

また、国総研・土研は、宮城県、福島県、栃木県、茨城県から提供された土砂災害発生情報等を参考に、がけ崩れ災害、地すべり災害、急傾斜地崩壊対策施設災害等について調査を実施した。例えば、地すべり災害については崩壊土砂が流動化した特徴的な事例を選定して調査が実施された。調査箇所では、融雪水等によって崩壊土砂が湿潤になっていた状況等が見られた。

# Ⅲ.3　下水道関係の被害

## Ⅲ.3.1　下水道施設の被害状況と課題

5.下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書、2012.3
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000170-1.html

東日本大震災の発生を受け、総合的・計画的な下水道地震対策を推進するとともに地震対策に係る技術指針を適宜見直しする方針を示すことを目的として、国土交通省及び公益社団法人日本下水道協会が中心となり、震災直後の平成 23 年 4 月、学識経験者、国土交通省、地方公共団体、関係団体が参画し下水道地震・津波対策技術検討委員会を設置した。国総研からは下水道研究部長が参加した。

委員会は平成 23 年 4 月から平成 24 年 3 月までに 7 回開催され、途中 4 回の提言を経て成果をとりまとめ、最終報告書として平成 24 年 3 月に「下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書」を発刊した。報告書の要旨を以下に記す。

### Ⅲ.3.1.1　下水道施設被害の総括

国内観測史上最大のマグニチュード 9 を観測した東日本大震災は、最大震度 7（宮城県栗原市）の大きな揺れと巨大な津波により、東北から関東にかけての広い範囲に大きな被害をもたらした。管路の被害は 1 都 10 県に及び、布設済み総延長 65,001km に対し被害延長は 642km であった。処理場については、震災当初の稼働停止が 48 箇所、一部停止が 63 箇所であった。ポンプ場については、震災当初の稼働停止が 79 箇所、一部停止が 32 箇所であった。

下水道施設は、津波により沿岸部に位置する処理場に甚大な被害が生じたほか、海浜埋立地等で発生した地盤の液状化により管路施設の土砂閉塞やマンホール浮上等が発生し、長期にわたり下水道の使用制限をした。

被災地における埋戻し 3 工法（平成 16 年の新潟県中越地震時に提言された管きょの液状化対策工法。埋戻し土の締固め、砕石等による埋戻し、埋戻し土の固化の 3 工法。）の実施箇所はごく限られていたが、当該箇所では交通障害や流下阻害等の大きな被害はなく、一定の効果を確認した。

一部に埋戻し工事の施工管理上の問題、工法の理解不足等のため、液状化に伴う被害が発生した。

### Ⅲ.3.1.2　緊急措置、応急復旧、本復旧状況とあり方

被災した下水道施設の復旧及び被災地の復興に資するため、東日本大震災の特徴を捉え、適切な応急復旧、再度災害の防止に加え、下水道施設が、その周辺地域と共存し、被災地域の住民が希望を持つことができ、かつ活性化にも役立つような復旧方策について、報告書発刊までの途中段階で順次提言をとりまとめた。

・緊急提言（平成 23 年 4 月）　下水道施設の復旧にあたっての技術的緊急提言　…　被災した下水道施設の再度災害の防止､段階的な機能回復等の観点から、下水道施設の復旧にあたっての技術的な留意事項をとりまとめた｡地震発生直後から本復旧までを緊急措置、応急復旧､本復旧の 3 つの段階に区分し､それぞれの段階における留意事項を記載した｡・第 2 次提言（平成 23 年 6 月）　段階的応急復旧のあり方　…　緊急措置、応急復旧、本復旧のそれぞれの段階に応じた適切な対応とスムーズな移行が必要不可欠とした。

・第 3 次提言（平成 23 年 8 月）　東日本大震災で被災した下水道施設の本復旧のあり方　…　本復旧にあたっての基本方針、津波への対策方針、新たな技術的留意事項を示した。

### Ⅲ.3.1.3　今後の耐震･耐津波対策における新たな視点

委員会では今後の地震・津波対策の検討のため被災要因分析を行った。その結果明らかとなった地震・津波対策の新たな視点を以下に挙げる。

1) 管路施設の耐震対策

a)埋戻し部の液状化対策

・施工管理上の問題と解決策を検討する。

・工法の技術的な理解度を向上させるためのマニュアル等の充実を図る。

b)周辺地盤の液状化対策

・可とう性及び伸縮性の優れた取付管受口・継手の開発が必要である。

・マンホール躯体のズレ防止、または目地部からの土砂流入防止技術の開発が必要である。

2) 管路及び処理場・ポンプ場の耐津波対策

a)管路施設の対策

・逸脱防止蓋（外れないマンホール蓋）や吐出口へのフラップゲート（逆流防止ゲート）の採用を検討する。

・溢水防止のため、水中ポンプや発電機の備蓄等の減災対策を強化する。

・被災後の迅速な対応のため下水道ＢＣＰを策定する。

b)処理場・ポンプ場施設の対策

・確保すべき耐津波性能に準じて、開口部の防水化や高所への設置、電気･機械設備の防水化を実施する。

・被災時の被害規模や確保すべき機能等を勘案し、対策すべき施設の優先順位を設定する。

・あわせて下水道ＢＣＰの策定及び民間業者等との協定による減災対策を強化する。

3) 耐津波対策を考慮した下水道施設設計の考え方

a)今後の津波想定

津波防災地域づくり法（平成 23 年 12 月 14 日制定）の規定により、「最大クラスの津波」を念頭において都道府県知事が設定・公表する「津波浸水想定」に基づいて下水道施設の耐津波対策を実施すべきである。

b)下水道施設に要求される耐津波性能

被災時においても必ず確保すべき機能(基本機能)は、逆流防止機能、ポンプ揚水機能、消毒機能である。中でも、低平地を抱える市街地では津波で運ばれた大量の海水が自然に排水できずに滞留することから揚水機能の確保が何よりも優先である。一時的な機能停止は許容するものの迅速に復旧すべき機能は、沈殿処理機能、汚泥脱水機能である。

c)下水道施設における対策の考え方

耐津波対策として、リスクを回避すべき施設は浸水しない構造とする。被災後迅速に復旧すべき施設は強固な防水構造とする。その他の施設は浸水を許容する構造とする。

4) 災害時における広域支援

東日本大震災のような複数県にわたる広域被害に対する支援体制を構築しておく必要がある。

流域下水道等の県施設自らの被災により、県内市町村の支援活動が困難となる状況が生じており、県に対する支援の充実が必要である。

複数の自治体から構成された支援隊の指揮命令のあり方や現地調査方法の訓練などについて改善が必要である。

5) 東日本大震災の事例を踏まえた下水道ＢＣＰ

津波による被害想定、広域かつ長期的な被害想定、被災時における極端な職員不足への対応を新たに盛り込むことが重要である。

### Ⅲ.3.1.4 復興への新たな取り組み

耐震化等による災害に強いインフラの整備に加え、再生可能エネルギーの活用促進など、東北の地が新しい地域づくりの具体的なモデルとなるような取組を、官民連携等を通じ進めて行くべきである。

委員会は、再生水・熱エネルギー利用等、21 世紀における希望ある復興にふさわしい技術の採用などを含めた本復旧のあり方を提示した。

## Ⅲ.3.2　管路内津波遡上の実態とそれがもたらす損傷

東日本大震災で津波被害を受けた気仙沼市では、津波の襲来時にマンホール蓋が飛散し、マンホールから大きな水柱が上がる現象が発生した（写真-Ⅲ.3.2.1）。ゲリラ豪雨時にマンホール蓋が飛散する事例は過去にあり、その対策として圧力開放型蓋の導入が進められているが、津波による飛散の発生事例は少なく、その発生メカニズムについては不明な部分が多い。



写真-Ⅲ.3.2.1　マンホールからの水柱

津波が管きょ内に浸入しマンホール蓋が飛散すると、車両、歩行者の交通障害及び避難の遅延や、土砂や瓦礫の管内浸入による復旧活動遅延が生じる。津波時の避難や復旧活動等を迅速行うには、豪雨時の蓋飛散メカニズムや過去の津波時の蓋飛散事例を参考にして、現象の解明及び対策の検討が必要である。

このため、今後の津波襲来時におけるマンホール蓋飛散防止対策の一助となるよう、当時の映像やシミュレーション結果等のデータが豊富な気仙沼市の事例を対象に、飛散に至った原因の究明及び飛散防止のための対策について検討した。

検討においては、飛散箇所周辺の下水道管及びマンホール・蓋の構造と配置状況を調査するとともに、蓋飛散時の管きょ内水理現象を明らかにするための数値流体力学（CFD）解析を実施した。さらに、津波発生時の映像及び津波による浸水シミュレーション結果を照合した。

この結果、蓋が飛散に至った原因として下記の現象が寄与していることが推察された。

①津波による家屋の破壊、流失及び海沿いの一部の幹線・枝線管きょの流出、損傷により、損傷部等から海水が下水道管内に流入し管きょ内水位が急激に上昇するとともに管きょ内空気が圧縮された。

②地上の津波が当該マンホールに向かい２方向から合流するように進むとともに、管きょ内を遡上する津波も同じような進路を辿った。この結果、地上が津波による浸水で面的にふさがれた後に管内に溜まった空気が逃げ場を失い、当該マンホールで集中的に一気に噴出した。

③当該マンホールの上下流から空気塊及び水が集中し、管きょ内の狭隘断面を津波が高流速で遡上したため、マンホール蓋に係かかる圧力が蓋の耐内圧力5,600Paを大きく上回った。

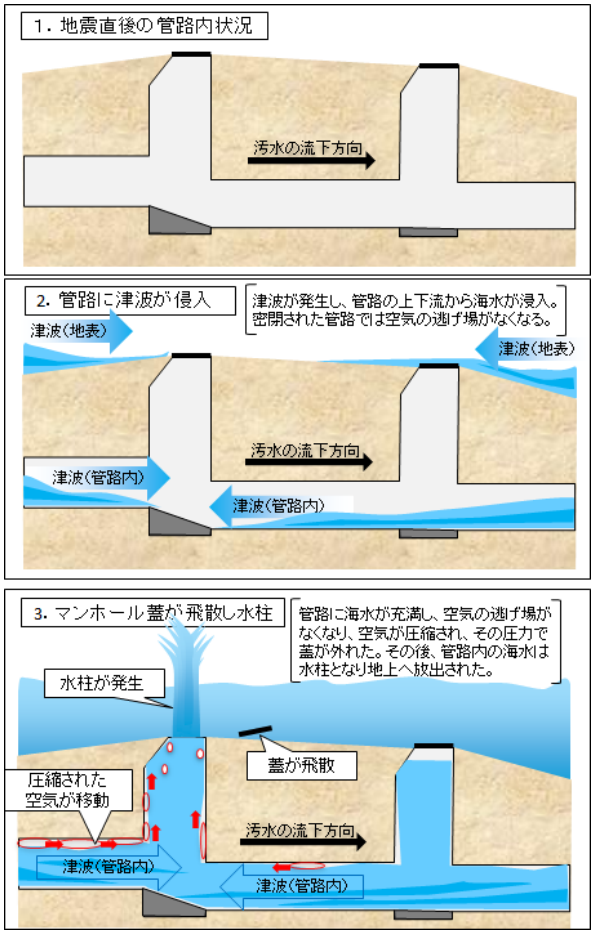



図-Ⅲ.3.2.1　マンホール飛散概念図

上記の結果より、浸入経路となりうる箇所のフラップゲート等による防水化等の実施や、想定される津波浸水深に応じた必要耐内圧力を備えた飛散防止蓋の設置を提案した。

これらの成果は、津波の浸水想定区域における吐口からの津波浸入を防止するためのフラップゲート設置等の管きょ内への津波浸入抑制対策や蓋飛散防止対策の検討時の基礎資料として活用できる。

本成果の詳細は、1)を参照されたい。

## Ⅲ.3.3　液状化による地表への管きょ浮き上がり現象

東日本大震災では、関東の埋め立て地に造成された住宅、道路、ライフライン等に甚大な被害が生じた。茨城県潮来市日の出地区においては、液状化現象により、道路の隆起や家屋・電柱・塀の傾斜及び沈下、雨水排水路の崩壊等の被害が発生した。下水道についても、管きょ破損やたるみ等が生じ、同地区の一角では、埋設されていた下水道管きょが地上に露出する現象が生じた。過去の地震において、液状化現象に伴う過剰間隙水圧の発生により、管きょが地中で浮上し勾配が変化する事例は多く確認されているが、管きょが地上に露出するほど大きく浮上した事例はない。



**写真-Ⅲ.3.3.1　地上に露出した下水道管きょ**

このため､液状化による管きょの地上への露出という、過去に例のない現象に着目し、①過去の土地利用に関する資料収集、②現場に残された状況証拠、③他現場の液状化による損傷事例等より、浮上原因に関する考察を行った。

①過去の土地利用に関しては、潮来町浪逆土地区画整理組合や農業環境技術研究所（歴史的農業環境閲覧システムサイト)、国土地理院（国土変遷アーカイブス）等の資料を元に、干拓事業や造成事業の変遷を整理した。

②については、管きょが浮上した現場において、浮上後の施設周辺の平板・レベル測量及びボーリング調査を実施し､地震前後の施設配置の変化量を把握した｡また、浮上した管きょとマンホールの接続部周辺を掘削し、施設損傷等の状況を把握した。

③については、下水道管きょと並行して敷設されている水路や水道、道路構造物等の近接構造物の被災状況を確認し、管きょ浮上との関連性を把握した。

この結果、当該箇所の特徴として、液状化しやすい土地条件と地震特性（地震継続時間)、揺動による低強度箇所への変位集中、近接構造物（水路）の無被災により、局所的な液状化と揺動による管軸方向への大きな力の作用が加わったと推察された。

なお、この現象は、東日本大震災特有の地震特性（短周期の揺れが長時間継続し、大きな余震が立て続けに発生)、当該地区特有の地盤特性（湖面を埋め立てた地下水位の高い液状化し易い地盤かつ強度の弱い歩道部、近接構造物の影響で局部的液状化)、埋設条件（車道・水路と民地に挟まれた狭隘空間の浅い位置に埋設された塩化ビニル管等）の要因が関与していると推察された。よって本現象は、今回の地震による悪条件の重なりによる希有な事例ではないかと考えている。

本成果の詳細は、2)を参照されたい。


参照文献

1) 深谷渉、松橋学、小野寺知幸、庄野貴英、小西康彦、気仙沼市における津波の管路内遡上によるマンホール蓋飛散事例研究、下水道協会誌、VOL51.№615 、2014.1

2)深谷渉、松橋学、横田敏宏、加藤秀仁、東日本大震災における潮来市下水道管きょの浮上原因に関する２，３の考察、下水道協会論文集、VOL52.№637、 2015.11


**参考文献**


1) 深谷渉、松橋学、横田敏宏、小川文章、東日本大震災による下水道不明水への影響、VOL51.№623、平成 26 年 9 月.

2) 深谷渉、松橋学、小野寺知幸、庄野貴英、小西康彦、気仙沼市における津波の管路内遡上によるマンホール蓋飛散事例研究、下水道協会誌、VOL51.№615、平成 26 年 1 月.

3) 深谷渉、松橋学、横田敏宏、加藤秀仁、東日本大震災における潮来市下水道管きょの浮上原因に関する２，３の考察、下水道協会論文集、VOL52.№637、平成 27 年 11 月.

# Ⅲ.4　河川・海岸被害の関係

## Ⅲ.4.1　地震及び津波による堤防等河川管理施設の被害

### Ⅲ.4.1.1　地震動による河川堤防の被害

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.242~304、pp.338~339、2011.7

東日本大震災の地震動によって東北地方整備局管内、関東地方整備局管内の広範囲にわたり河川堤防の被害が生じた。

東北地方整備局管内では、阿武隈川、鳴瀬川、江合川等の河川堤防において、地震動による甚大な被害が生じた。これらの堤防の主たる被災要因としては、堤体下部の液状化によると考えられるものが多数見られたことが特徴的であった。

関東地方整備局管内では、久慈川、那珂川、利根川、霞ヶ浦、小貝川、江戸川等の河川堤防において、地震動による甚大な被害が生じた。大規模な堤防被害が生じた箇所は、旧河道およびその近傍に位置するものが多く見られたのが特徴的であった。

大規模な堤防被害に着目すると、被災要因としては堤体下部の液状化および基礎地盤の液状化が考えられる。ただし、これらの複合的な要因によるものも考えられ、また、これらのいずれにも属さない被災パターンも見受けられた。

浸透・耐震対策された河川堤防では、被害が抑制ないしは防止され、対策効果が確認された事例が見られた。

### Ⅲ.4.1.2　津波による河川堤防等の被害

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.242~249、pp.305~341、2011.7

津波による河川施設の被害については、新北上川、鳴瀬川、名取川および阿武隈川を対象に津波遡上の水位（川側と堤内側）や流れの向きについて整理するとともに、それと関連づけて堤防等の被災の形態や程度について検討した。また、東日本大震災直後に実施した河川堤防の被害調査時の写真を縦断的に整理した。

河川周辺の堤内陸域への津波遡上に先行して河道内を遡上すること、その遡上状況を河道法線形と盛土・山脚など高地部の配置によって、a)汀線に対してほぼ垂直な向きに概ね直線的に堤防が延伸する場合、b)盛り土・山脚など高地部が a)の河川堤防に隣接する場合、c)川側のり面が河口に面するように堤防が汀線に対して斜め方向に延伸する場合、d)津波遡上に対して外岸側となる堤防湾曲区間の計 4 パターンに分類した。

破堤について被災の程度が大きい被災形態は越水による堤内側のり面の侵食であり、河道内の津波遡上に伴う流れによる川側のり面の侵食では、概して堤防断面を大きく減じるような被災には至っていなかった。

約 1m を越えると推定される越水を受けながら破堤に至らなかった堤防があった。その有力な要因は、のり尻およびのり面の侵食進行を抑制するウォータークッションの効果、または越水をクッション効果なしで受ける状況をごく短時間に留めたと考えられる堤内側のり尻近傍の水位急上昇の効果と考えられる。

洪水流に対する堤防植生の耐侵食力の発揮機構に関する既往知見を適用して、高流速であってもその継続時間が短い津波遡上の場合には、現地調査で確認されたように植生によってものり面侵食が抑制できる場合があると考えられる。また、植生が全面的に剥離した区間においても、比較的軽微な侵食で留まったのは、堤体土自体も粘着性があり、相応の耐侵食力を有する材料であったことも要因の一つであると考えられた。

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み-緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録-国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.115~121、2013.1

国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.242~249，pp.305~341）にて記述したウォータークッション効果を更に把握することを目的とした。被災の形態・程度の分類とその空間的分布、それらと痕跡水位縦断分布との対応、越水による堤体侵食の程度と越水の水深・継続時間の関係などについて、前論文にて用いた検討項目に津波の伝播状況の再現解析結果を加えて整理し、被災の特徴について分析した。

その結果、被災状況は 4 つの被災レベルに分類することができ，同程度の越流条件でありながら被災の程度が異なった理由は堤内地の湛水状況であり、湛水せずに越流を受けていた時間が長い箇所ほど、大きな侵食を受けたと定量的に評価することができた。

## Ⅲ.4.2　津波による河川汽水域への影響 －北上川河口を例として－

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み- 緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録 -、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.240~244、2013.1

東日本大震災は、河川汽水域の自然環境に対しても大きな影響を与え、北上川においては、大規模な地形変化によりヨシ群落の生育環境が大きく変化した。

そこで災害復旧・自然再生を行う際に必要な知見として、津波遡上や地盤沈降といったインパクトが河川汽水域の環境に及ぼす影響を分析・評価するための調査を実施した。調査は北上川河口から北上大堰 17.2kp（キロポスト）の区間で実施し、調査項目は、河道地形、植生、津波堆積物であった。河道地形は被災前後の地形を横断測量結果より評価した。植生と津波堆積物については、2kp から 9kp までの範囲の概略調査と 2.4kp 付近と 6.4kp 付近において詳細調査を実施した。また植生図については津波前の植生図とも比較した。

その結果、著しい河道横断形状の変化は見られていないものの、高水敷を広く覆っていたヨシ原等が下流域を中心に大規模に消失していること、その原因としては、津波による侵食の他、地盤沈降にともなう標高の低下による塩分濃度の上昇、さらに津波堆積物によるヨシ原の埋没の影響が大きいことを明らかにし、河口からの距離や比高ごとにそれらの影響を整理した。

その結果をもとに塩分、比高、堆積物厚に応じたヨシ原等の自然再生における留意点を整理し、現地事務所に情報提供するとともに、知見を生かしてその後のヨシ原保全等のための調査に協力した。

## Ⅲ.4.3　ダムの安定性確認と今後の対応策の検討

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.342~359、2011.7
2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み-緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録-、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.122~132、2013.1

東北地方太平洋沖地震では、東日本の極めて広い範囲の河川法に基づき管理されている多数のダムで、ダム基礎位置に設置された地震計で 25gal 以上または最寄りの気象台で震度 4 以上の揺れが観測されたため、地震直後に各ダムの管理者による臨時点検が実施された（直轄・水機構ダム 46 ダム、補助ダム 104 ダム、利水ダム 213 ダム）。

臨時点検の結果、ダム本体の関係では、重力式コンクリートダム（貯水池からの水圧をダムの重量で支える形式のコンクリートダム）では漏水量の増加など、フィルダム（堤体の大部分を岩石や土砂で構成されるダム）では、漏水量（浸透量）の増加のほか、一部のアースダム（主に粘土や土で構成されるダム）では堤体の沈下や天端及び上下流面におけるクラックの発生、アスファルト表面遮水壁型ロックフィルダム（主に岩石で構成され、上流側表面にアスファルトで施工した遮水壁を配置するダム）では上流面遮水壁のクラックの発生などが報告された。

国土交通省及び土研では、臨時点検の結果報告された変状の確認、漏水量などの計測データに基づくダムの安全性評価、今後の対応策の検討などを目的として、変状や漏水量の増加量、加速度記録が相対的に大きかった東北地方のダム（直轄ダム 5 ダム、補助ダム 6 ダム）についてより詳細な現地調査を実施した。

現地調査の結果、各ダムとも堤体の変状または漏水量（浸透量）の増加などが認められたが、いずれもダムの安全性に直ちに問題を生じる重大なものではなかった。しかし、現地調査を実施したダムでは、計測データ等による監視を強化するとともに、一部のダムでは貯水位の低下や変状箇所の調査・補修等の対策を実施した。

なお、上記の国土技術政策総合研究所資料第646号.では摺上川ダム、石淵ダム、田瀬ダム、御所ダム、月

山ダム、化女沼ダム、神室ダム、高坂ダム、蔵王ダム、藤井川ダム及び小山ダムにおける速報版の調査結果を報告しており、国土技術政策総合研究所研究報告第52号ではそのうち摺上川ダム、石淵ダム、田瀬ダム、御所ダム、化女沼ダム、神室ダム及び高坂ダムについて、その後の計測データ等を追加して考察しており、詳細は各文献を参照されたい。

## Ⅲ.4.4　ダムで観測された地震動記録の収集・分析

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み-緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録-、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.122~132、2013.1

東北地方太平洋沖地震およびその余震において、ダムの基礎または低標高部の監査廊内などに設置された地震計で 100gal 以上の水平加速度を記録した国土交通省所管ダムは 23 ダム（直轄ダム 4 ダム、補助ダム 19 ダム）であった。

今回の地震は、規模としては極めて大きかったものの、震源域からダム地点までの距離がある程度離れており、過去の内陸活断層地震時に震源極近傍のダムで観測されたほど大きな最大加速度の記録は観測されていない。今回の地震の本震における主要な最大加速度の観測記録として、三春ダム(重力式コンクリートダム)では、ダム基礎で194.8gal、天端で932.4galを記録した。また、摺上川ダム(ロックフィルダム)では、ダム基礎で110.3gal、天端で473.9galを記録した。なお、地震観測記録の詳細については、上記の引用文献を参照されたい。

また、今回観測された地震動記録及びこれまでの地震動観測記録を元に、詳細な分析、評価を行い、平成 24 年度にダム基礎岩盤におけるダム距離減衰式（ダム基礎岩盤における地震記録を基に統計解析により得られた、地震の規模、断層までの距離、深さ等をパラメータとする各周波数の加速度応答スペクトル値に関する回帰式）の提案を行った。詳しくは、本報告Ⅳ．４．３を参照されたい。

## Ⅲ.4.5　海岸施設の津波による被害

東北地方太平洋沖地震による津波によって青森県から千葉県までの広い範囲で浸水被害が確認され、海岸保全施設が被災を受けた。

国総研ではそれらの被害を総括的に把握するために、津波の被害の分布調査、津波痕跡調査、海岸堤防等の減災効果の試算、海岸堤防の被災調査を行った。本調査では津波の被害の分布調査では、被災状況の推定を行った（Ⅲ.4.5.1）。津波痕跡調査は、また仙台平野において仙台河川国道事務所とともに津波痕跡現地調査を行った（Ⅲ.4.5.2）。

さらに海岸堤防等の減災効果の試算では、仙台平野において残存した堤防による減災効果を検証し（Ⅲ.4.5.3）、海岸堤防の被災調査では、地域毎の海岸堤防の被災パターンの分類を行った（Ⅲ.4.5.4）。

今次津波による被害把握および海岸保全施設の減災効果を調査することは、復興計画立案や海岸保全施設等の設計基準改定にむけた検討を行う基礎データとなった。

### Ⅲ.4.5.1　津波被害の分布

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.124~239、2011.7

本調査では、青森県から千葉県に至る沿岸市町村の津波被災状況をまとめることを目的とした。

調査内容は、国土地理院の調査、各県の災害対策本部被害状況集計値をもとに浸水面積、死者・行方不明者・家屋倒壊数を市町村毎にまとめた。

その結果、人的被害（死者・行方不明者数）については岩手県宮古市から宮城県東松島市までの 11 市町村、宮城県多賀城市から福島県浪江町までの 10 市町村と福島県いわき市を合わせて 22 市町において 100 人を越えている。このうちの 19 市町では家屋の倒壊数も 1000 棟を越えており、特に被害の大きかった市町であることが確認された。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.4.5.2　痕跡調査による津波遡上特性の把握

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.124-239、2011.7

海岸研究室は、震災直後の 3 月 19 日～20 日まで仙台平野において津波痕跡調査を行い、3 月 30 日～4 月 7 日に実施された仙台河川国道事務所による痕跡調査の技術指導を行った。また、仙台平野と石巻平野において、国土交通省仙台河川国道事務所が行った調査結果から、津波遡上痕跡の特性を調べた。調査の範囲を図-Ⅲ.4.5.2.1 に示す。

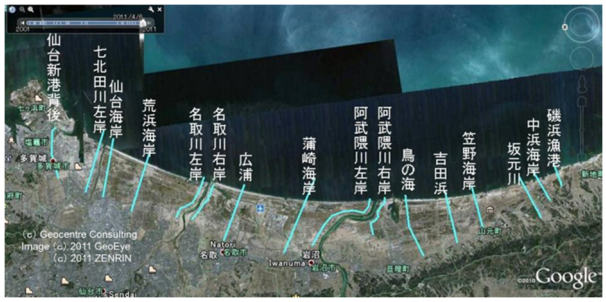



図-Ⅲ.4.5.2.1 痕跡調査を行った測線

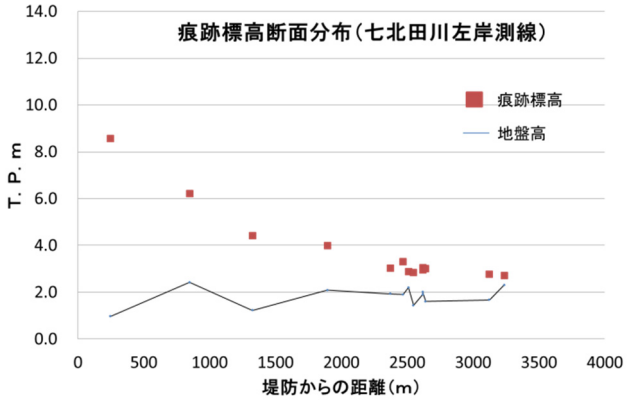



図-Ⅲ.4.5.2.2 津波の減衰が見られた例（中浜海岸測線）

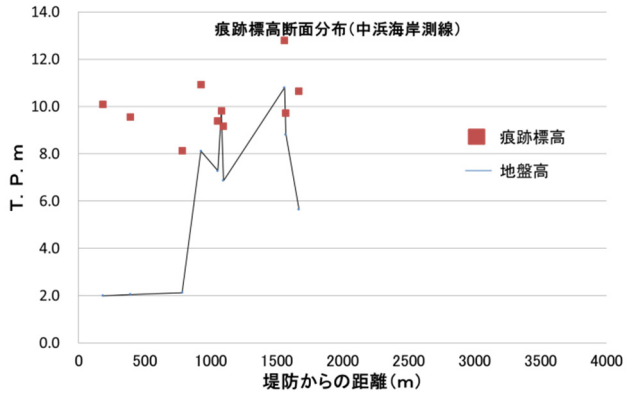



図 - Ⅲ.4.5.2.3 津波の減衰が見られなかった例（中浜海岸測線）

痕跡水深を津波来襲時の潮位または震災後のＬＰ（Laser Profiler）データから標高に補正し、痕跡標高の断面分布図を作成した。仙台新港背後測線から吉田浜測線までは痕跡標高も遡上方向に減衰していることが読み取れる（図-Ⅲ.4.5.2.2）。一方、笠野海岸測線から磯浜漁港測線までは遡上に伴う減衰が見られなかった（図-Ⅲ.4.5.2.3）。これは、平地が狭くなり遡上距離が短くなるためと考えられた。

なお、痕跡調査の結果は、土木学会海岸工学委員会等からなる、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループへ提供した。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.4.5.3　仙台平野における半壊した海岸堤防、線状盛土構造物の減災効果の評価

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.124~239、2011.7

本研究では、海岸堤防等による減災効果を調査することを目的として海岸堤防の被災状況および道路盛土・河川堤防の有無による津波の浸水面積の違いを数値実験によって調査した。

（1）被災した海岸堤防による減災効果

仙台平野において、堤防条件を変えた数値計算を実施し、浸水深ごとの面積を堤防等の施設がなかったと想定して計算した浸水範囲と比較し、被災した施設の減災効果を評価した。具体的な計算条件を図-Ⅲ.4.5.3.1 に堤防の被災条件を図-Ⅲ.4.5.3.2 に示す。

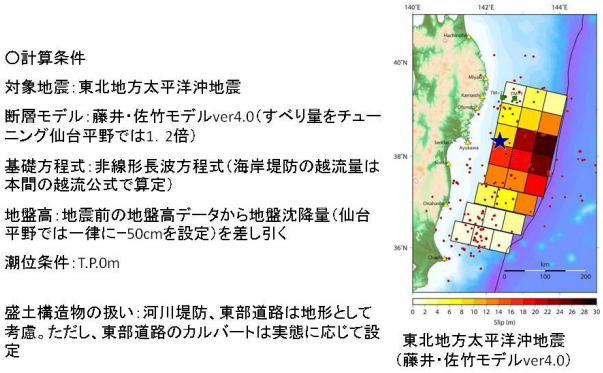



図-Ⅲ.4.5.3.1　計算条件

| ケース | 海岸堤防の状態 |
|---|---|
| ケース1 | 海岸堤防無し |
| ケース2 | 海岸堤防があり、被災せず機能発揮 |
| ケース3 | 津波来襲前に津波後の状態に被災 |
| ケース4 | 津波が天端を越流した時点で、津波後の状態に被災 |

図-Ⅲ.4.5.3.2　堤防の被災条件

海岸堤防が被災しないケースでは他のケースと比べて浸水面積が減少し、海岸堤防が効果を発揮することで浸水面積が減少したと考えられる。また、ケース３とケース４では大きな違いは見られず、堤防を未整備と想定したケース１と比べて、総浸水面積は５％程度、水深２m以上の浸水面積では６％程度、水深５m以上の浸水面積では３０％程度減少させる効果があると試算された。

次に浸水開始時間については、海岸堤防から離れると、１分～数分程度、浸水を遅らせる効果が試算されたが、堤防に近いところや、海岸堤防が全壊した延長が長い仙台平野南部では、堤防によって浸水を遅らせる効果は見られなかった。

（2）河川堤防・道路盛土による減災効果

研究内容は、仙台平野において、数値計算によって河川堤防と道路盛土による減災効果を調べた。計算ケースは図 - Ⅲ.4.5.3.3 に示す３通りである。

図-Ⅲ.4.5.3.3　計算条件

| ケース | 海岸堤防 | 河川堤防・道路盛土 |
|---|---|---|
| ケース1 | なし | なし |
| ケース2 | なし | あり |
| ケース3 | あり | あり |

＊堤防の破壊は未考慮

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.4.5.4　地域別の海岸堤防被災パターン

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.124~239、2011.7

本研究では、海岸堤防の被災パターンを 7 地域（青森県、岩手県、宮城県、福島北部、福島南部、茨城県、千葉県）に分けて整理した。上記文献においては、現地調査を実施した際の被災状況と様子が掲載されている。

被災状況の要点のみまとめる。海岸堤防の全壊・破堤は、北は岩手県野田海岸から南は福島県南海老海岸まで見られたが他県においても堤防の被災は見られた。

被災状況を理解するうえで必要となる語句について概略図を示す（図 - Ⅲ.4.5.4.1）。

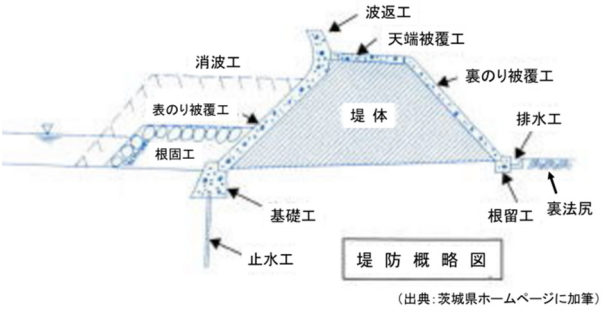



図-Ⅲ.4.5.4.1　海岸堤防に関する語句

青森県では、三沢市六川目地区海岸から八戸市市川地区海岸まで堤防被災が見られた。被災は越流水によると思われる堤防の裏法を中心とした被災が特徴的であった。茨城県では、数は少ないが、波返し工の倒壊が見られた。比較的軽微な被災としては、裏法被覆工の流失、波返し工背後の天端保護工のずれ、波返し工裏で被覆工がない天端の洗掘が見られた。堤防･護岸の被災も北九十九里海岸の北部で多い。被災の内容は、天端道路の天端・表法被災、盛土背後の洗掘、法尻道路のアスファルト洗掘、前面砂浜が消失した護岸の天端陥没・背後排水溝の流失、護岸施工端の洗掘、前面砂浜が消失した護岸の表法被覆工と天端の目地開き・天端陥没等である。南側の九十九里浜中央に近い白旗海岸、片貝海岸では天端裏法の洗掘や排水溝の移動が見られる。南九十九里の東浪見海岸では排水溝の蓋が散乱している状況が見られた。

なお、詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.4.6　東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.20~22、2016.6

東北地方太平洋沖地震による津波によって、仙台平野南部の多くで被害が生じた。津波の越流によって堤防の被災および洗掘が生じた。しかし、堤防の被害と背後の洗掘の関係についての調査は行われていない。

したがって、本研究は堤防の被災要因を解析する一環として、仙台平野の図 - Ⅲ.4.6.1 に示す範囲で堤防の被災状況の把握を試みた。さらに堤防背後の洗掘状況をまとめるために、洗掘幅の調査を行い、図 - Ⅲ.4.6.2 に示す 5 地点において洗掘深の調査を行った。

対象海岸の堤防はさまざまな構造のものがあることから、海岸の所管および構造タイプをふまえて海岸を 24 分割（図-Ⅲ.4.6.1）した上で、航空レーザ測量（2011 年 3 月実施）で得られた 1m メッシュの標高データを用いて、堤防断面の欠損率（被災前後の断面積の欠損量／被災前の断面積）を算定した。また、海岸堤防陸側での洗掘幅も算出した。

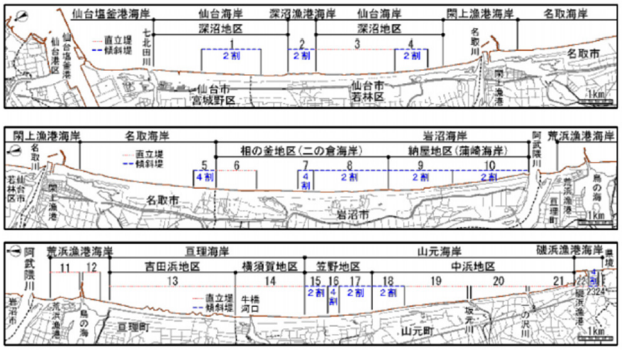



図-Ⅲ. 4. 6. 1 海岸堤防被災状況の調査地点と区画

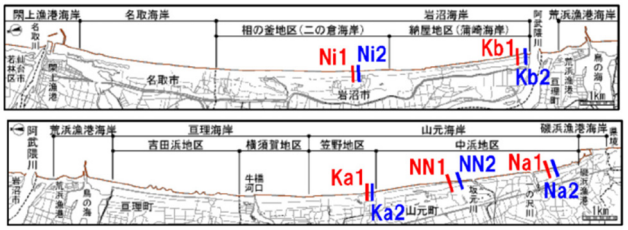



図-Ⅲ. 4. 6. 2 洗掘調査の実施地点

その結果、堤防断面の欠損率は、No.4（仙台海岸深沼地区（南部））、No.14（亘理海岸横須賀地区）、No.19（山元海岸中浜地区）で 80%を超える一方、No.2（深沼漁港海岸）、No.3（仙台海岸深沼地区（南部））、No.23 および 24（磯浜漁港海岸）で 20%以下であった。また、対象の地域における洗掘幅の平均は約 30m であった。堤防断面の欠損率が大きかった仙台平野南部において、洗掘幅が大きくなる傾向がみられた。

洗掘深の調査は、簡易動的コーン貫入試験によって実施した。5 地点において破堤口の近くと残存している堤防の後ろにそれぞれ測線を岸沖方向に設け、各測線の土質横断面を推定した上で、最大洗掘深等を測線間で比較した。津波堆積物と原地盤堆積物は締め固め度の違いから区別した。

最大洗掘深は、破堤部に近い測線の方が大きくいことが確認され、押波の越流による洗掘に加え、破堤口の近くでは引き波に等によよってさらに洗掘が進んだと考えられた。

この結果は、粘り強い堤防の構造上の留意点の検討に用いられた。

なお、詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.4.7　津波前後の地形変化

1.国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号）、pp.124~239、2011.7

東北地方太平洋沖地震による津波によって、多くの海岸堤防が被災した。特に、海岸堤防が全壊した地域では、大きな地形変化が発生した。

そこで本研究は、地形変化の実態を把握することを目的に、特に海岸堤防の被害の大きかった 5 地域（岩手県の高田海岸、越喜来海岸、両石漁港海岸、金浜海岸、大槌川河口）において、大規模な地形変化の実態を把握するために、2011 年 5 月に航空レーザ測量、深浅測量を実施した。Ⅲ.4.6 では主に海岸堤防の陸側の洗掘に着目したが、Ⅲ.4.7 では海岸堤防の海側を中心に検討結果を報告する。

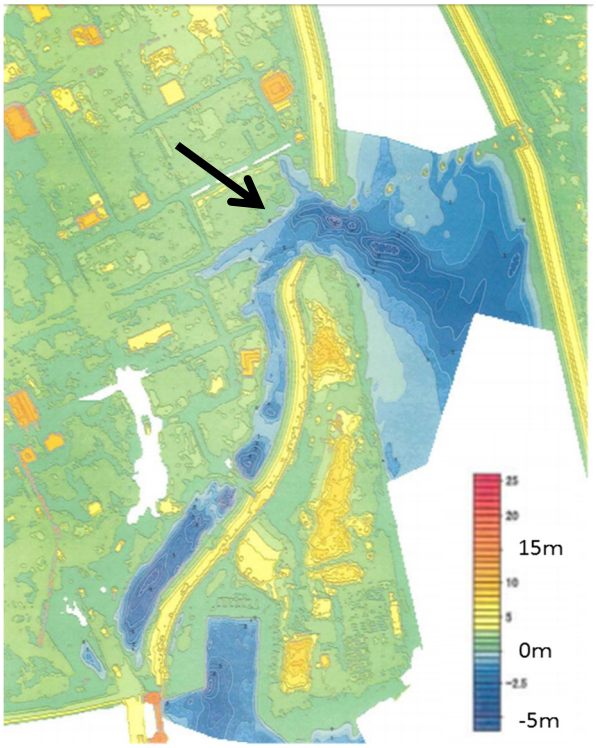



**図-Ⅲ.4.7.1 大槌川河口の測量結果（矢印先が破堤部）**

結果の代表例として、大槌町の大槌川河口の測量結果を図-Ⅲ.4.7.1 に示す。大槌川の河口では破堤した箇所を中心に周辺よりも地盤が低くなっている箇所が見られた。それらの場所のうち堤防の海側は、津波の引き波が破堤部に集中したことで、洗掘が進行したと考えられる。また現地測量を行った他の地域においても破堤部付近で引き波によって洗掘が進んだと考えられた。

なお、詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.4.8　海岸堤防の被災要因分析

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.55~70、2016.6

東北地方太平洋沖地震で多くの海岸保全施設が被災したことを受けて、「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく」とする方針が中央防災会議等[1)]から示された。

これを受け、施設を粘り強い構造とするための具体的な方向性を見出すことを目的として検討を行った。まず、青森県から千葉県にかけての海岸保全施設のうち、三面張り構造の海岸堤防を対象に被災状況、構造諸元を整理し、津波外力の関係の分析をおこなった。なお本研究の成果は、海岸工学論文集に投稿されている[2)]。

まず、東北地方太平洋沖地震の津波で被災した海岸堤防等について現地調査を実施した結果、被災状況は、下記の８つのパターンに分類できることがわかった。

・裏法尻の洗掘からの被災
・裏法肩・天端からの被災
・押し波による波返工の破損
・引き波による波返工の破損
・押し波による重力式堤防の転倒
・引き波による重力式堤防の転倒
・表法先の洗掘からの被災
・主に地震動による破壊

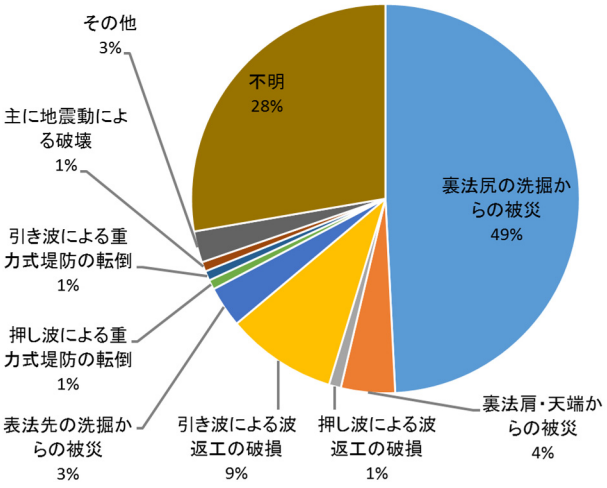



**図-Ⅲ.4.8.1　各被災パターンの被災延長割合（集計区間の延長 99km）**

次に、各被災パターンが被災地でどの程度の割合で発生しているかを把握するため、青森県から千葉県にかけての自治体および国土交通省東北地方整備局によって実施された被災調査の整理をおこなった。その結果、図-Ⅲ.4.8.1 に示すとおり、裏法尻の洗掘からの被災が 49.2%を締め、主たる被災パターンとなっていることが分かった。次いで引き波による波返工の破損が 9.2%と多かった。また、裏法肩・天端からの被災と表法先の洗掘からの被災がそれぞれ 4.5%、3.4%を占めていた。

次に被災した要因分析するために多変量解析を行った。本分析では越流水深（単位：m）、裏法尻部の被覆幅（単位：m）、表法勾配（１：n）、裏法勾配（１：n）、堤防天端から背後地盤までの比高（単位：m）、天端幅（単位：m）、の5要素に着目して、これらの違いによる被災状況の違いを比較した。対象とした堤防

については被覆工が全て流出し、盛土も残っていない状態を全壊、被覆工が一部流出した状態や被覆工が全て流失しても堤体土が残っている状態は半壊と定義した。データの詳細な情報はⅢ.4.9を参照されたい。なお越流水深は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによって調査された近傍における津波浸水高の2011年8月26日時点の速報値から地震に伴う地盤沈下後の施設天端高を差し引いて求めた。

解析にあたっては、堤防には越流外力の大きさに応じた全壊確率が存在し、構造によってこの確率が異なると仮定した。実際の被災データから全壊確率を求めるにあたっては、全壊するか否かは100m単位のユニットごとに独立に決まると仮定し、一連区間に含まれるユニット数のうち、全壊があるユニット数の割合を全壊確率とした。この場合、外力を受けた結果は全壊か非全壊の2値であるので、全壊確率$P_B$は2項分布を前提とした 式 -Ⅲ.4.8.1の多重ロジスティックモデルで表現されるとした。

$$P_B = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n)}} \qquad \text{式-Ⅲ. 4. 8. 1}$$

ここにnは、考慮する要素数であり、$X_1 \ldots X_n$ は説明変数であり各構造要素の値が入る、αは定数、$\beta_1 \ldots \beta_n$ は係数である。本分析では最尤推定によって式 -Ⅲ.4.8.1 の各係数を決定するとともに、全壊確率に対して各構造要素の影響が有意であるか否かを検証した。

5 つの構造要素のデータが全て欠損なく揃っている 170 区間 79.3km の被災データを用いて、多重ロジスティック回帰分析を実施した結果、越流水深と裏法尻被覆幅、表法勾配、裏法勾配が 0.05 以下の p 値を示し、堤防の全壊確率に対して有意な影響を与えていた（表-Ⅲ.4.8.1）。比高については統計的に有意とはならなかった。

表-Ⅲ.4.8.1 のオッズ比は各説明変数の値が 1 増加した場合に全壊確率に及ぼす影響の大きさを示すものであり、例えば越流水深のオッズ比 1.30 とは、越流水深が 1m 増加すると全壊確率が 1.30 倍になることを意味する。越流水深、裏法尻被覆幅、表法勾配、裏法勾配はいずれもオッズ比の 95%信頼区間（95% CI）が、1.0（全壊確率に影響を及ぼさないときのオッズ比）を含まない範囲となることから、この点でも堤防の全壊確率に及ぼす影響が有意と認められた。

標準化回帰係数は、説明変数間の相対的な影響度を比較するための指標として、係数βを各説明変数の標準偏差で補正したものである。標準化回帰係数の絶対値は越流水深、裏法尻被覆幅、表法勾配、裏法勾配の順で大きく、構造要素のなかでは裏法尻被覆幅が最も全壊確率に対して影響があることを示す結果となった。

以上より、海岸堤防の効果が粘り強く発揮されるような構造上の工夫として、裏法尻部への保護工の設置による洗掘防止などが有用であることが確認された。

本検討の結果は、Ⅳ.4.4.1 で記載する海岸堤防の被災メカニズムと粘り強い構造の要件の検討の基礎資料として活用されるとともに、「海岸における津波対策検討委員会」がとりまとめた「平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び津波で被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」にも反映された。粘り強い堤防構造については、平成 26 年 6 月の海岸法改正で法的に位置づけられ、平成 27 年 2 月には海岸保全施設の技術上の基準に「設計津波を超える津波の作用に対して、当該堤防の損傷等を軽減する機能を有するものとする」として反映されている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

**表-Ⅲ. 4. 8. 1 多重ロジスティック回帰分析の結果**

| 説明変数 (mean ± s. d.) | 係数 $\beta$ | $p$ 値 | 標準化回帰係数 | オッズ比 (95% CI) |
|---|---|---|---|---|
| 越流水深 (5.8 ± 3.9 m) | 0.261 | <0.001 | 1.013 | 1.30 (1.23-1.37) |
| 裏法尻被覆幅 (1.6 ± 3.1 m) | -0.264 | <0.001 | -0.810 | 0.77 (0.68-0.85) |
| 表法勾配 1: n (1.7 ± 1.3) | -0.328 | 0.004 | -0.436 | 0.72 (0.57-0.90) |
| 裏法勾配 1: n (1.5 ± 0.4) | -0.982 | <0.001 | -0.403 | 0.37 (0.23-0.61) |
| 比高 (3.5 ± 1.9 m) | 0.096 | 0.075 | 0.183 | 1.10 (0.99-1.22) |
| 天端幅 m (3.6 ± 2.3 m) | 0.019 | 0.830 | 0.044 | 1.02 (0.84-1.18) |

参照文献

1) 中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011

2) 渡邊ら、東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災分析、土木学会論文集 B2（海岸工学）vol. 68, No.2、I_356-I_360、2012,

## Ⅲ.4.9　東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災状況データ

東北地方太平洋沖地震による津波によって青森県から千葉県まで、多くの海岸保全施設が被災を受けた。複数の県にまたがる被災のため、総括的に海岸堤防の被災状況をまとめられていなかった。
そこで本研究は、海岸堤防の被災状況の総括的に把握することを目的とした被災状況のデータセットを作成した。なおⅢ.4.8 においてはこのデータセットを利用して解析を行っている。

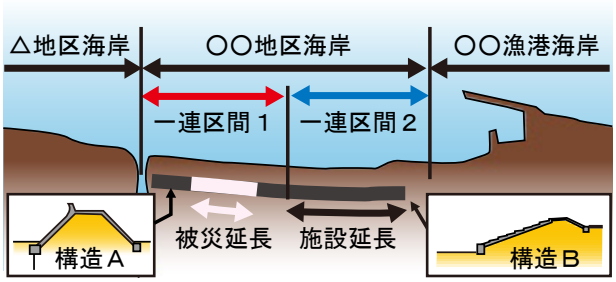


図-Ⅲ. 4. 9. 1 分析単位とする一連区間の模式図

海岸保全施設は行政上の1海岸（図-Ⅲ.4.9.1 中の〇〇地区海岸）の中でも構造が一様でない場合があるので、海岸を施設構造によってさらに細分した一連区間（図-4.9.1 中の一連区間1、2）の単位で被災データを整理した。扱ったデータは施設台帳から得た天端高や表法勾配等の施設構造と延長、全壊延長、全壊箇所数、全壊ユニット数、半壊延長、越流水深であり、ここで全壊ユニット数とは、各一連区間をさらに100m単位のユニットに細分した時に、全壊があったユニットの数である。引き波によって全壊箇所が拡大した海岸では、全壊延長を押し波による被災程度として評価するのは過大となるため、ユニットによる指標を導入した。ユニットを100m単位としたのは、予備調査として計測した156の全壊箇所の延長の中央値が44.6mで100m以下のものが73.7%を占めたことによる。

本分析で対象とした堤防については、図-Ⅲ.4.9.2 のように被覆工が全て流出し、盛土も残っていない状態を全壊、図-Ⅲ.4.9.3 のように被覆工が一部流出した状態や被覆工が全て流失しても堤体土が残っている状態は半壊と定義した。


図-Ⅲ. 4. 9. 2 全壊した海岸堤防


図-Ⅲ. 4. 9. 3 半壊した海岸堤防

越流水深は、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによって調査された近傍における津波浸水高の2011 年 8 月 26 日時点の速報値（http://www.coastal.jp/ttjt/）から地震に伴う地盤沈下後の施設天端高を差し引いて求めた。

具体的な被災状況は、各県の海岸管理者による被災箇所や被災延長等の調査結果について、国土地理院が震災直後に撮影した空中写真並びに Google Earth の2011 年 4 月撮影の衛星画像によって確認･補足計測したうえで扱った。補足計測の内容は、海岸保全施設の背後地が道路等によって被覆されている場合の被覆幅、全壊延長・半壊延長の再計測、全壊箇所の計数、ユニットごとの全壊・非全壊の判読である。特に全壊延長については、海岸管理者によって全壊・半壊の判断基準が異なっていたので、海岸研究室による再計測によって統一化した。

### 参考文献

1) 服部　敦、福島雅紀、津波による堤防等河川管理施設の被害、土木技術資料、第 53 巻. 第 8 号、pp. 22-27、平成 23 年 7 月.
2) 中村 圭吾、岩見　洋一、芳賀　正崇、東日本大震災津波による河川汽水域への影響－北上川河口を例として－、雑誌河川、No.795、pp. 41-46、平成 23 年 10 月.
3) Fuminori Kato、Yoshio Suwa、Kunihiro Watanabe、

Satoshi Hatogai、Damages to Shore Protection Facilities Induced by the Great East Japan Earthquake Tsunami、Journal of Disaster Research、Vol.8. No.4、pp.612-625、平成 25 年 8 月.
4) 加藤 史訓、野口 賢二、 諏訪 義雄、木村 晃、河合 雅史、高木 利光、小俣 雅志、東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68. No.2、I_1396-I_1400、平成24年11月.
5) 加藤 史訓、 野口 賢二、 諏訪 義雄、坂上 敏彦、佐藤 祥昭、津波による地形変化に関する現地調査、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.68. No.2、I_174-I_179、平成 24 年 9 月.
6) 渡辺 国広、諏訪 義雄、加藤 史訓［他］、藤田 光一、東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災分析、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68. No.2、I_356-I_360、I_356-I_360、平成 24 年 11 月.
7) Fuminori Kato、Yoshio Suwa、Kunihiro Watanabe、Satoshi Hatogai、Mechanisms of Coastal Dike Failure Induced by the Great East Japan Earthquake Tsunami、Proceedongs of 33rd Conference on Coastal Engineering, structures, 40、平成 25 年 12 月.
8) 海岸堤防の被災メカニズムと粘り強い構造の要件、東日本大震災合同調査報告　共通編 2、pp. 221-265、平成 26 年 6 月.
9) 中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011
10) 渡邊ら、東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災分析、土木学会論文集 B2（海岸工学）vol. 68, No.2、I_356-I_360、2012

## Ⅲ.5　道路構造物の被害

道路分野においては、東北地方太平洋沖地震により道路橋等に発生した被害を受け、道路橋の技術基準の改定原案を作成する役割を果たした。

本節では、道路構造物の被害状況等について調査した成果、及び津波による道路橋の被害事例を分析した成果を記載する。ここに記載する成果の一部は、「橋、高架の道路等の技術基準の改定について」として国土交通省都市局長、道路局長より通知（国都街第 98 号・国道企第 87 号、平成 24 年 2 月 16 日）された改定道路橋示方書に反映されている。

### Ⅲ.5.1　道路構造物の被害概要

7.国土交通省国土技術政策総合研究所･独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料（第 814 号)、土木研究所資料（第 4295 号)
1.国土技術政策総合研究所･独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設被害調査速報、国土技術政策総合研究所資料（第 646 号)、土木研究所資料（第 4202 号)

東北地方太平洋沖地震では、地震の揺れ及び地震後に発生した津波の影響により、広い範囲で道路橋に被害が発生した。また、平成 23 年 4 月 7 日のマグニチュード 7.2 をはじめとする規模の大きな余震も発生し、道路橋の被害の拡大や、新たな被害が生じた。

そこで、地震発生直後から、道路管理者からの要請により道路橋の被害状況等を調査し、橋の耐震診断や復旧方法等について技術的な助言を行った。あるいは、これまでに実施してきた耐震対策や技術基準等の検証のための情報を収集したりすることを目的として、岩手県、宮城県、福島県、栃木県、茨城県、千葉県、神奈川県の国道、県道及び市道にかかる橋梁等の被害調査を行った。調査は、208 の橋梁等を対象に、調査を行った時点において目視可能な範囲で実施した。

道路橋に生じた被害を、地震動による被害、津波の影響による被害、液状化の影響による被害の 3 つに分類してその特徴を整理し、被害と地震動の特性との関係について以下にまとめた。

なお、以下の詳細は、国総研及び土研が地震直後から実施した現地調査結果を速報としてとりまとめた平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報(国土技術政策総合研究所資料(第 646 号)、土木研究所資料（第 4202 号))、並びに国総研及び土研が実施した道路橋尾世帯道路関係施設のすべてに対して調査結果をとりまとめた平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告（国土技術政策総合研究所資料（第 814 号)、土木研究所資料（第 4295 号)）に収録されている。

#### Ⅲ.5.1.1　地震動の影響による被害

(1) 被災の特徴

東北地方太平洋沖地震では、様々な機関によって多くの地点の地盤上における加速度記録が観測されているが、橋のような構造物への影響が大きくなる 1.0 秒前後の周期帯での加速度応答スペクトルに着目すると、兵庫県南部地震において観測された加速度応答スペクトルと同等もしくはそれよりも低い値であった。一方、今回の地震は複数の断層の破壊が連動して生じたことにより、主要動が連続して生じるような地震動が観測され、地震動の継続時間が過去の強震記録と比較しても長いという特徴が見られた。

このような特性の地震動に対して、道路橋の被害としては、これまでの大規模な地震における被害と概ね同様な形態の被害が多く生じた。すなわち、昭和 55 年よりも古い基準で設計され、過去の地震でも被害が生じている構造形式の橋で、耐震補強がなされていない橋に比較的大きな被害が生じた。このような分類に入る橋の被害例としては、鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷、軸方向鉄筋量の少ない鉄筋コンクリート橋脚の損傷、鋼製支承本体の破損、支承取り付け部周辺の損傷等が挙げられる。いずれの被害形態も、昭和 53 年宮城県沖地震や平成 7 年兵庫県南部地震等でも確認されているものである。

その一方で、古い基準で設計された橋でも耐震補強されていた橋では、地震動の影響によって致命的な被害に至った事例はなく、橋の機能回復が速やかにできたかどうかという耐震性能の観点からも、損傷は限定的なものであった。道路橋では、過去の震災経験を踏まえ、兵庫県南部地震のような地震動に対しても落橋や倒壊等の致命的な被害を防止できるようにすることを目的として、まずは鉄筋コンクリート橋脚躯体における軸方向鉄筋段落し部の補強や桁端部における上部構造の落橋防止対策等の耐震補強対策が優先的に進められてきたところであり、その効果が発揮されたことが、東北地方における道路啓開の「くしの歯作戦」にも大きく貢献できた背景の 1 つになったと考えられる。

ただし、従来からの弱点であった段落し部を耐震補強していた橋脚において、その補強部位とは別の部位に損傷が生じた事例や、耐震補強を目的として橋脚や橋台に設置された制震装置の下部構造側の取付け部位に損傷が生じた事例が確認された。また、平成7年兵庫県南部地震以降の基準に基づいて設計された橋については、その多くの橋で損傷が軽微であったが、レベル2地震動を考慮して耐震設計されたゴム支承に破断や亀裂等の損傷が生じた事例が数橋で確認されたことは、重要な被害の特徴として挙げられる。

なお、橋の構造本体は橋としての機能を保持できる状態であってもそのアプローチ部となる橋台背面土の沈下が主たる要因となって橋の機能に支障が生じた事例が多く見られたことも、橋の耐震性能の観点からは特筆すべき被害の実態である。

(2) 被害の事例（天王橋）

天王橋は、旧北上川を渡河する橋長 367.7m の鋼ランガーアーチ橋＋鋼ゲルバー非合成鈑桁橋であり、1959 年に竣工した(表-Ⅲ.5.1.1、図-Ⅲ.5.1.1、写真-Ⅲ.5.1.1)。

なお、本橋の調査日は平成 23 年 3 月 31 日である。

本橋は、昭和 53 年宮城県沖地震において、A1 橋台及び P1 橋脚の支承部において、沓座コンクリートにクラックが生じた [1]。復旧では、沓座コンクリートを補強するために、支承部周辺に H 形鋼を門形に立て込み、鉄骨鉄筋コンクリート構造とされた [2]。

本橋は、今回の地震により、P1～P2 間の鋼ランガーアーチ部(リベット橋、下路式)において上横構に多数の座屈変形が生じ、うち 2 箇所でガセット部の破断が確認された(写真-Ⅲ.5.1.2～写真-Ⅲ.5.1.5)。

A1 橋台では支承上沓の桁下フランジへの取り付けボルトの破断や腐食が確認された(写真-Ⅲ.5.1.6、写真-Ⅲ.5.1.7)。また、支承横桁フランジにふくれ(写真-Ⅲ.5.1.8)、橋門構には塑性変形とみられる変形及び塗膜のはがれ(写真-Ⅲ.5.1.9)が確認された。

側径間部(P4～P7 間)では、中間の径間両端の伸縮装置部において両側ともに遊間異常が確認された(写真-Ⅲ.5.1.10)。調査時点で主桁の補修工事が行われており、足場目隠しにより伸縮部及びゲルバー部の詳細な近接目視調査は不可能であった。

本橋では、支承部の変位状況及びボルトの破断面から水平方向に振動し、せん断により破断したものと推定される。上横構等の変形からも上部構造に橋軸直角方向の作用力が働いたものと推測される。

**表-Ⅲ.5.1.1　橋梁諸元(天王橋)**

| | |
|---|---|
| 橋　長 | 367.7m（45.0m＋112.0m＋51.5m＋4×33.0m＋26.5m） |
| 上部構造 | 鋼ランガーアーチ橋、鋼ゲルバー非合成鈑桁 |
| 下部構造 | 逆 T 式橋台、RC 壁式橋脚 |
| 基礎形式 | ニューマチックケーソン |
| 架設年次 | 昭和34年(1959年)竣工(1959年供用) |
| 適用基準 | S31 鋼道路橋設計示方書 |
| 管理者 | 東北地方整備局(仙台河川国道事務所) |



**写真-Ⅲ.5.1.1　天王橋**

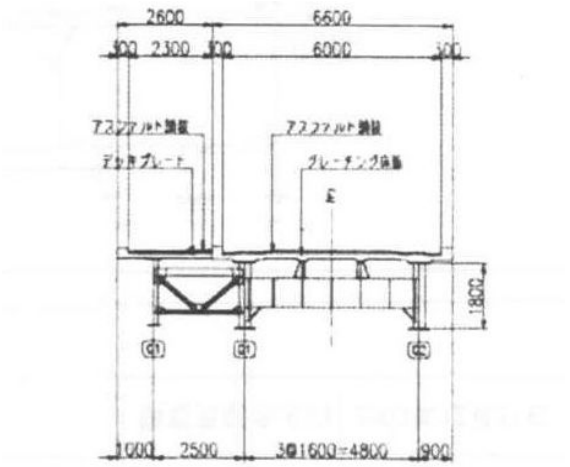



**図-Ⅲ.5.1.1(1)　橋梁一般図(天王橋)**

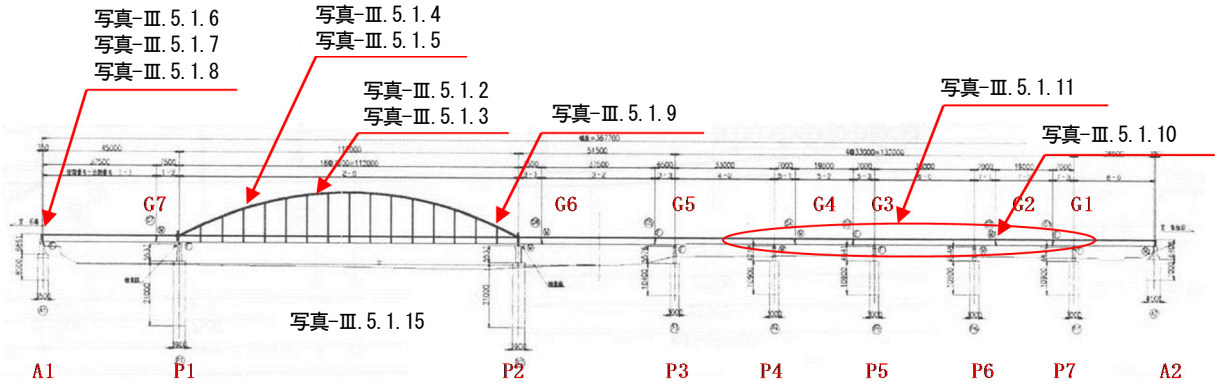



図-Ⅲ.5.1.1(2)　橋梁一般図(天王橋)



写真-Ⅲ.5.1.2　ガセット部破断



写真-Ⅲ.5.1.3　上横構座屈及びガセット部破断



写真-Ⅲ.5.1.4　上横溝座屈(遠景)



写真-Ⅲ.5.1.5　上横構座屈(近景)

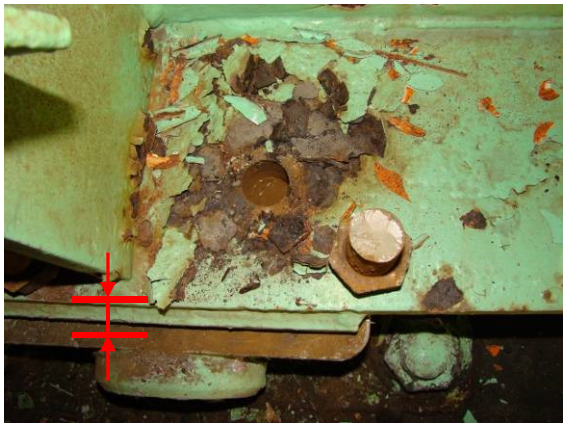


写真-Ⅲ.5.1.6　支承ボルト破断及び支承横方向のずれ



写真-Ⅲ.5.1.7　支承ボルト腐食及び支承横方向のずれ



写真-Ⅲ.5.1.8　支承横桁フランジのふくれ



写真-Ⅲ.5.1.9　橋門構の塗膜割れ



写真-Ⅲ.5.1.10　伸縮装置の遊間異常



写真-Ⅲ.5.1.11　補修工事足場架設状況

参照文献
1) 建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害調査報告書，土木研究所報告第159号，1983.3.
2) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）（平成18年度改訂版），2007.3

### Ⅲ.5.1.2　津波の影響による被害

(1) 被害の特徴

東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方にかけての太平洋沿岸部の広い範囲において大きな津波の影響を受けたが、その沿岸地域に架かっていた道路橋も津波により上部構造が流出する等の被害が生じた。津波の影響を受けた道路橋の被災モードとしては、支承の破壊に伴う上部構造の流出、下部構造の折損とその一部流出、橋台背面土の流出、橋脚周辺や基礎の洗掘等が挙げられる。

東北地方太平洋沖地震による津波において、津波の高さが上部構造の高さを超えたと考えられる橋の被災に着目すると、小泉大橋や歌津大橋のように上部構造が流出した橋がある一方で、矢の浦橋や大浜渡橋のように流出しなかった橋もある。さらに、上部構造が流出した橋の中には、上部構造が裏返しになったものと裏返しにはならなかったものがある。このような被災状況の違いは、津波の影響を受ける橋の挙動とそのメカニズムを解明していく上で重要な着眼点になると考えられる。なお、津波による実被災データを収集し、各種諸元と上部構造流出との関係について明らかにしようと試みた結果をⅢ.5.2 に記載している。

(2) 被害の事例（歌津大橋）

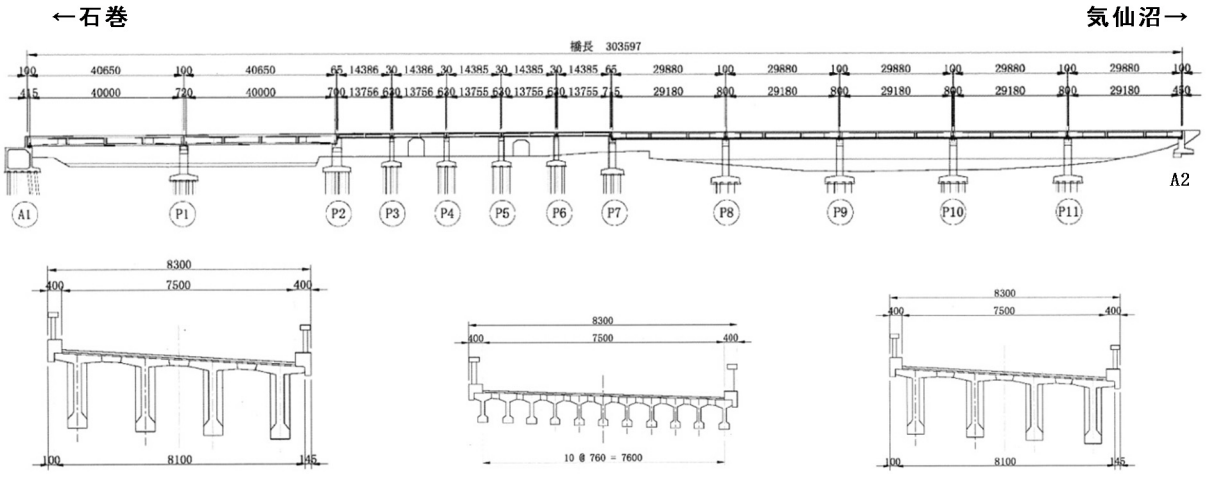
歌津大橋は、南三陸町歌津にある伊里前川及び伊里前湾に架かる橋長 303.6m(支間長 40.0m×2+13.8m×5＋29.2m×5)、全幅員 8.3mのPC単純ポストテンションT桁(渡河部及び湾岸部)及びPC単純プレテンションT桁(陸上部)を合わせた 12 径間からなる橋であり、1972年に竣工した(表-Ⅲ.5.1.2、図-Ⅲ.5.1.2、写真-Ⅲ.5.1.12、写真-Ⅲ.5.1.13)。下部構造のうち橋台は、ラーメン式橋台のA1 はPC杭基礎に、逆T式橋台のA2 橋台は直接基礎にそれぞれ支持されている。また、橋脚は、P1 及びP2 は円形断面RC橋脚、それ以外は矩形断面RC橋脚であり、いずれもPC杭基礎で支持されている。また、耐震補強として落橋防止システムの設置(落橋防止構造の設置と縁端拡幅)と橋脚のRC巻立て補強がされていた。

なお、本橋の調査日は平成 23 年 3 月 15 日、4 月 14 日、5 月 26 日、6 月 2 日である。

本橋では、A1～P2 及びP10～A2 間の上部構造が残っていたものの(写真-Ⅲ.5.1.14、写真-Ⅲ.5.1.15、写真-Ⅲ.5.1.16)、津波の影響によりP2～P10 の計 8 径間の上部構造が流出した(写真-Ⅲ.5.1.12、写真-Ⅲ.5.1.13)。上部構造が流出した径間の橋脚で、鋼製(写真-Ⅲ.5.1.17)や鉄筋コンクリート製(写真-Ⅲ.5.1.18)の変位制限構造の損傷、上流側の張出し部の損傷(写真-Ⅲ.5.1.18)が確認された。P2 橋脚は、RC巻立て部の上端部の上流側にかぶりコンクリートの剥落、軸方向鉄筋および帯鉄筋のはらみ出しなどの損傷が生じていた(写真-Ⅲ.5.1.17)。なお、他の橋脚にはこのような損傷は見られなかった(写真-Ⅲ.5.1.14、写真-Ⅲ.5.1.18)。流出した上部構造については、P2～P4 の 2 径間、P4～P7 の 3 径間はそれぞれ一体で流出し、連結した状態を保って着地していた。P7～P10 の 3 径間は、それぞれの径間がばらばらに全て裏返しの状態で流出していた(写真-Ⅲ.5.1.13、写真-Ⅲ.5.1.19)。また、P7～P10 の 3 径間については、調査時には、P10 近辺に流出している上部構造は水中にあったため詳細を確認できなかったが、写真-Ⅲ.5.1.13 において「写真-Ⅲ.5.1.19 に示す径間」と記述している上部構造は、主桁の底面に斜めひび割れが多数生じていることが確認された(写真-Ⅲ.5.1.20)。流出しなかったA1～P2、P10～A2 の 4 径間を調査したところ、P1～P2 間の上部構造にねじりによる損傷と考えられる桁の斜めひび割れ、桁端の欠けなどが確認された(写真-Ⅲ.5.1.23～写真-Ⅲ.5.1.25)。

表-Ⅲ.5.1.2　橋梁諸元(歌津大橋)

| | |
|---|---|
| 橋　長 | 303.6m |
| 上部構造 | PC 単純ポストテンション T 桁橋(2 連)＋PC 単純プレテンション T 桁橋(5 連)＋PC 単純ポストテンション T 桁橋(5 連) |
| 下部構造 | 円形断面 RC 橋脚、矩形断面 RC 橋脚、ラーメン式橋台、逆 T 式橋台 |
| 基礎形式 | PC 杭、直接基礎 |
| 架設年次 | 昭和 47 年(1972 年)竣工(昭和 47 供用) |
| 適用基準 | S43 プレストレストコンクリート道路橋示方書 |
| 管理者 | 東北地方整備局(仙台河川国道事務所) |




A1～P2 間の断面図　　P2～P7 間の断面図　　P7～A2 間の断面図

図-Ⅲ.5.1.2　橋梁一般図(歌津大橋)




写真-Ⅲ.5.1.12　歌津大橋(上部構造は流出)




写真-Ⅲ.5.1.13　歌津大橋周辺の航空写真
(国土交通省東北地方整備局提供　2011 年 3 月 19 日
(地震発生から 8 日後)撮影)




写真-Ⅲ.5.1.14　P10～A2 間の状況




写真-Ⅲ.5.1.15　A1～P2 間の状況




写真-Ⅲ.5.1.16　P10 から見た A1 側の状況




写真-Ⅲ.5.1.17　P2 橋脚の損傷状況




写真-Ⅲ.5.1.18　P8 橋脚の損傷状況



写真-Ⅲ.5.1.19　流出している桁の状況



写真-Ⅲ.5.1.20　桁のひび割れ状況



写真-Ⅲ.5.1.21　流出している桁の状況




写真-Ⅲ.5.1.22　桁間の落橋防止用ケーブル
(P4～P7 間)






写真-Ⅲ.5.1.23　斜めひび割れの発生状況(P1～P2 間 G1 側)

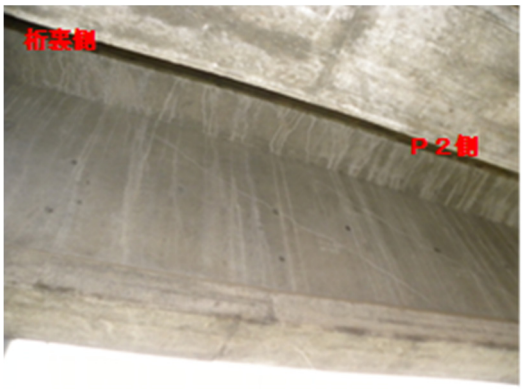



写真-Ⅲ.5.1.24　斜めひび割れの発生状況
(P1～P2 間　G1 側)




写真-Ⅲ.5.1.25　斜めひび割れの発生状況
(P1～P2 間　G4 側)

### Ⅲ.5.1.3　液状化の影響による被害

(1) 被害の特徴

東北地方太平洋沖地震では、東北地方だけでなく千葉市、浦安市のように関東地方においても地盤の液状化が生じ、これに伴い、様々な施設に被害が発生した。道路橋においては、地盤の液状化により、橋台が橋桁側に移動する被害が生じた事例等が確認された。また、地盤の液状化により河川堤防に大きな被害が生じた周辺箇所に位置している道路橋では、橋台における支承の取り付け部付近にひび割れが生じたり、周辺地盤の沈下により橋台との間に 50 cm を超える段差が生じたりした事例もあった。ただし、いずれも、橋の構造本体の安全性に影響を及ぼすような損傷には至っていない。

(2) 被害の事例（美浜大橋）

美浜大橋は、千葉県千葉市花見川区・美浜区周辺を流れる花見川の河口部を渡河する市道の橋長 177.0m、幅員 17.50m×2(上り線および下り線)の 3 径間連続鋼非合成箱桁橋であり、1985 年 9 月に竣工した(表-Ⅲ.5.1.3、写真-Ⅲ.5.1.26、図-Ⅲ.5.1.3)。下部構造は、躯体がラーメン式橋台及び RC 張出し式橋脚、基礎は全て鋼管杭(φ1016)となっている。適用基準は、昭和 55 年道路橋示方書である。橋脚に対しては PC 巻立て工法により耐震補強がなされ、また、支承部に対する補強としての変位制限構造が設置されていた。さらに、下部構造と上部構造をつなぐ形式の落橋防止構造が取り付けられていた。

なお、本橋の調査は平成 23 年 3 月 30 日、4 月 20 日である。

写真-Ⅲ.5.1.27 に、美浜大橋周辺の地盤・護岸の状況を示す。A1 橋台(左岸)側護岸には、大きなひび割れが多数生じていた。また、(c)に示すように、周辺の地盤にもひび割れが確認され、かつ、液状化に伴う噴砂の跡が確認された。

写真-Ⅲ.5.1.28 に右岸側の A2 橋台およびその周辺の状況を示す。A2 橋台は、(a)に示すようにボックスカルバート形式の構造となっていた。A2 橋台とその周辺地盤(直角方向に位置する地盤)の間には段差が見られた。(b)に示すように、橋台取付け盛土が橋台に対して約 20cm 程度沈下していることが確認された。(c)に示すように、カルバートの孔口においても段差が確認され、周辺地盤が沈下したものと考えられる。なお、今回の調査で確認された橋台および周辺の状況からは橋台自体が沈下した形跡は見られなかった。また、橋台躯体と側面盛土の間には隙間は確認されなかった。

(d)に示すように、支承は上沓・下沓をピンで結合した固定支承であり、1 支承線に 2 基の支承が設置されていた。上沓には桁のプレートと結合するためのボルトが前面側と背面側に 2 本ずつ取り付けられていたが、(e)に示すように、それぞれの支承の橋台前面のボルト 2 本とも(2 台の合計 4 本)に破断が、(f)に示すように橋台背面側のボルト 2 本とも(2 台の合計 4 本)に緩みが確認された。(d)、(g)に示すように、上沓と桁のプレートとの間には、背面側に開きが生じていた。

なお、カルバートの内面には若干のひび割れが確認されたが、ひび割れは比較的古いもののようであり、今回の地震によるものではない可能性がある。

写真-Ⅲ.5.1.29 に左岸側橋台の状況を示す。右岸側の A2 橋台と同様に、左岸側の A1 橋台もボックスカルバート形式の構造である。(b)、(c)に示すように、下流側の橋台躯体とそで擁壁との間には、約 7cm の隙間、すなわち水平移動が確認された。躯体と擁壁にはタコの絵が描かれており、躯体と擁壁にまたがっている足の絵から、橋台躯体と擁壁との鉛直変位差は生じてないことが確認される。鉛直変位差が生じなかったことについては、橋台および擁壁が同程度沈下した可能性もあるが、後述するように橋台直上の路面、支承には大きな変状は確認されていないことから、橋台、擁壁ともに沈下しなかったのではないかと推測される。ただし、(b)に示すように、擁壁下方に地盤が沈下した形跡があることから、擁壁は沈下していないものの、地盤沈下は生じていることが確認された。詳細は、擁壁の基礎構造を確認した上で判断する必要があるが、液状化に伴って地盤の沈下が生じた一方、擁壁に対しては液状化に伴う沈下が生じなかったものと推測される。

一方、(d)に示すように、ボックスカルバートと通路部との接続部、側面盛土と橋台との間に約 30cm の鉛直変位差が生じている。上記の推測の通り、橋台自体が沈下していないとすると、通路部および護岸は約 30cm 沈下したことになる。(e)、(f)に示すように、橋台前面の護岸には約 70cm 沈下した形跡が確認された。また、(g)、(h)に示すように、橋台前面・側面と周辺の地盤との間には幅数 cm の隙間が生じていた。隙間は、目視で確認できないほど深くまで達していた。

(i)、(j)に示すように、床版裏面の一部にコンクリートが剥離した形跡が確認された。なお、落下していたコンクリート剥落片を確認したところ、その厚さは約 1cm 程度であった。

(k)に示すように、支承には橋軸方向のずれが生じており、桁とパラペットとの間にはほとんど隙間が無い状態であった。また、(l)に示すように、落橋防止構造のケーブル端部にゆるみが確認された。以上から、設計時に比べて橋台が前面に移動している可能性がある。

(m)に示すように、上流側では橋台と擁壁が一体構造であるため、有意な隙間が生じておらず、橋台と擁壁の間に 7cm の隙間が生じた下流側とは状況が異なる。また、右岸側の A2 橋台と同様に、ボックスカルバート内には、有害なひび割れ等は確認されなかった。

**表-Ⅲ.5.1.3　橋梁諸元(美浜大橋)**

| | |
|---|---|
| 橋　長 | 177.0m |
| 上部構造 | 3 径間連続鋼非合成箱桁 |
| 下部構造 | ラーメン式橋台、RC 張出し式橋脚 |
| 基礎形式 | 鋼管杭基礎 φ1016 |
| 架設年次 | 昭和 60 年(1985 年)竣工(昭和 60 年供用) |
| 適用基準 | S55 道路橋示方書・同解説 |
| 管理者 | 千葉市 |

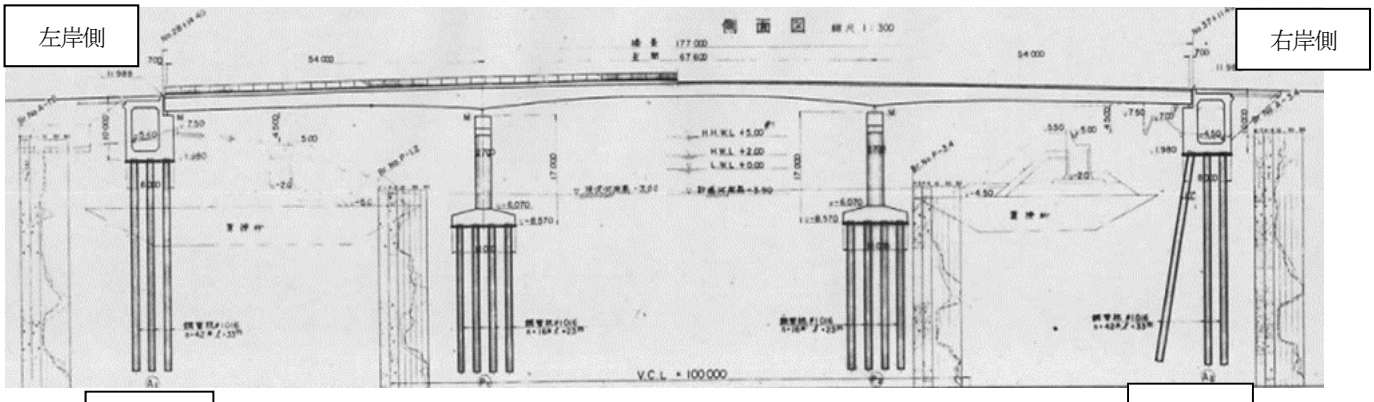



**図-Ⅲ.5.1.3　側面図(美浜大橋)**

写真-Ⅲ.5.1.30 に A2 橋台における構造物と背面盛土の境界部付近と思われる路面の状況を示す。路面には、ボックスカルバートと背面土との境界位置、踏掛版の端部と思われる箇所に、幅数 cm のひび割れが生じていた。

写真-Ⅲ.5.1.31 に、花見川の右岸側の美浜大橋近傍の公園に生じた段差の状況を示す。(a)に示すように、公園内には噴砂が見られ、液状化が生じたことが確認された。液状化に伴い、地盤が沈下したものと推察される。また、(b)に示すように、沈下しなかった箇所に設置されたベンチは大きな変状はみられなかったが、沈下した箇所に設置されたベンチは 40～50cm 程度沈下していた。



(a)　上流・右岸側(A2 橋台側)より



(b)　拡大写真(橋脚)

写真-Ⅲ.5.1.26　美浜大橋




(a)　全体図



(b)　拡大図



(c)　左岸側橋台付近の地盤の状況

写真-Ⅲ.5.1.27　美浜大橋周辺の護岸・地盤の状況



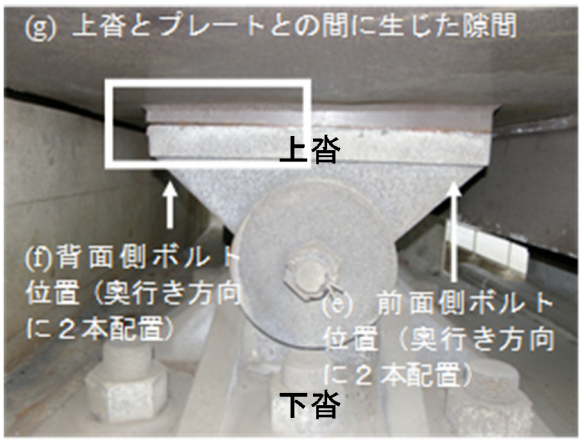
(a)　A2 橋台全景(河口側より撮影)



(b)　A2 橋台周辺地盤((a)の四角部位置)の沈下量(約 20cm)



(c)　橋台周辺地盤の沈下により生じた、橋台側面の段差((a)のコーン設置位置)




(d)　A2 橋台の支承



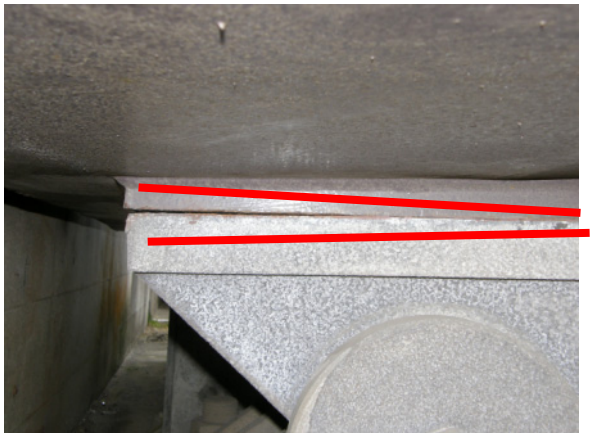
(e)　支承部(前面側)のボルト破断の状況

写真-Ⅲ.5.1.28(1)　A2 橋台(右岸側)の状況

注)各写真は本文39～40ページの記載内容に対応し各写真を左上から左下、右上から右下に配置。



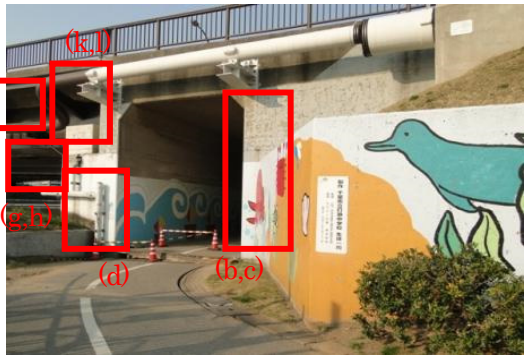
(f)　支承部(背面側)のボルトのゆるみ



(g)　支承と桁のプレートとの間に生じた隙間

写真-Ⅲ.5.1.28(2)　A2 橋台(右岸側)の状況

注)各写真は本文39～40ページの記載内容に対応し各写真を左上から左下、右上から右下に配置。




(a)　A1 橋台全景(河口側より撮影)



(b)　橋台躯体とそで擁壁との間に生じた隙間



(c)　橋台躯体とそで擁壁との間に生じた隙間拡大写真(たこの足の部分の隙間：約 7cm)

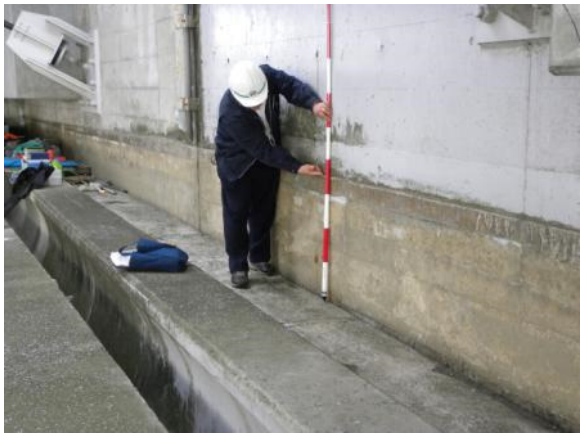


(d)　橋台と橋台前面護岸、橋台と一般部の鉛直変位差(約 30cm)

写真-Ⅲ.5.1.29(1)　A1 橋台(左岸側)の状況



(e)　橋台壁および前面護岸の状況



(f)　護岸の沈下(約 70cm)

注)各写真は本文39～40ページの記載内容に対応し各写真を左上から左下、右上から右下に配置。



(g)　橋台前面・側面と周辺地盤の間に生じた隙間



(h)　(g)の四角囲み部拡大



(i)　床板裏面にみられた剥離

写真-Ⅲ.5.1.29(2)　A1 橋台(左岸側)の状況



(j)　床板裏側の剥離部拡大写真



(k)　可動支承に生じた変状



(l)　落橋防止構造のケーブル端部のゆるみ



(m)　上流側の橋台と擁壁の接合部

写真-Ⅲ.5.1.29(3)　A1 橋台(左岸側)の状況

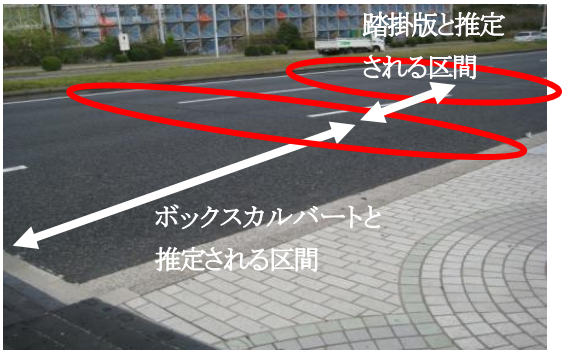



写真-Ⅲ.5.1.30　A1 橋台(左岸側)背面の路面状況



(a)　美浜大橋近傍の公園の地盤に生じた段差



(b)　段差の境界付近に設置されたベンチ(左：沈下しなかった箇所にあるベンチ、右：沈下したベンチ)



(c)　鉛直変位(約 70cm)

写真-Ⅲ.5.1.31　美浜大橋近傍の公園に生じた段差

### Ⅲ.5.1.4　地震動の特性と橋の被害

橋の耐荷力に関する被災度と地震動の特性値との相関について検証を行った。ここで、地震動の特性としては、SI 値、震度、最大水平加速度の指標を用いて検討を行った。その中では、橋の被災度は SI 値および震度との相関があることを確認した。また、SI 値が 30kine（kine は地震動の大きさを速度で表す単位で、1kine=1cm/s である）程度の場合であっても、橋の構造特性や部材の状態等によっては橋の機能に影響が生じるような損傷が生じる可能性もあることを確認した。

以上の東北地方太平洋沖地震による被災事例を含む近年の地震による被災事例の分析等を踏まえて、道路橋示方書の改定原案を作成した。改定道路橋示方書は平成 24 年 2 月 16 日付で都市局長、道路局長より通知されている。東北地方太平洋沖地震による被災事例を踏まえた主な改定点は以下のとおりである。

(1) Ⅳ下部構造編の主な改定点

・橋台背面の著しい段差への対応として、橋台と背面側の盛土等との間に位置し、両構造間の路面の連続性を確保するために設ける構造部分を橋台背面アプローチ部として新たに定義された。そして、橋の安全性や供用性に影響する重要な部分として位置付け、基礎地盤の圧密沈下等の抑制、アプローチ部本体の安全性や排水性の確保など、地震時等の沈下を抑制するための設計・施工の考え方について規定された。

・斜面の変状に伴う下部構造の変位・傾斜への対応として、調査に関する規定を充実させ、安定した地盤を把握して確実に設置・根入れさせることとするとともに、組杭深礎基礎等を適用する場合には補完性・代替性の確保のため 4 本以上の組杭構造として安定性を高めるのがよいとした。

・支承や落橋防止システムからの作用に伴う橋脚はりなどの損傷への対応として、橋脚はりなど塑性化を考慮しない部材については、地震後の復旧等に影響を及ぼす損傷等が生じないよう部材の降伏以内に留めることが明確に規定された。

(2) Ⅴ耐震設計編における主な改定点

・津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で橋の構造を計画することが規定された。

・支承部の損傷等が落橋防止構造の取付部にまで及んだ事例が確認されたことから、支承部が損傷しても、その影響が落橋防止構造には及ばず、落橋防止構造に期待する機能が確実に発揮されるように取り付けることが規定された。

## Ⅲ.5.2　津波による道路橋の被害事例分析

9.国土交通省国土技術政策総合研究所：2011 年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析、国土技術政策総合研究所資料（第 843 号）

東北地方太平洋沖地震では、津波により上部構造の流出、橋脚の倒壊、橋台背面土の流出など多くの被害が見られたが、道路橋の設計において津波の影響を適切に見込む方法については確立されていない。今後も大地震により巨大津波が発生する可能性があると考えられており、道路橋の整備や管理にあたって津波の影響を適切に評価できる技術の確立が課題である。

そこで本研究は、東北地方太平洋沿岸部に位置し、津波の影響を受けた（以下、「被災」という）と考えられる橋梁について、上部構造の有無に関わらず、できるだけ多くの実被災データを収集し、各種諸元と上部構造流出との関係について明らかにしようと試みたものである。津波により被災した橋梁の情報の収集にあたっては、Ⅲ.5.1 に記載した土研との合同での現地橋梁の調査 [1)-2)]、道路管理者からの情報収集、その他機関などによる現地調査の情報収集 [3)-5)]、インターネットによる衛星写真の分析を行った。その結果、岩手県、宮城県、福島県の沿岸部に位置する国道、県道及び市町村道における道路橋 200 橋の津波による被災状況を把握した。なお、本研究の詳細は 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波と道路橋の被害との関係に関する分析（国土技術政策総合研究所資料 No.843）に収録されている。

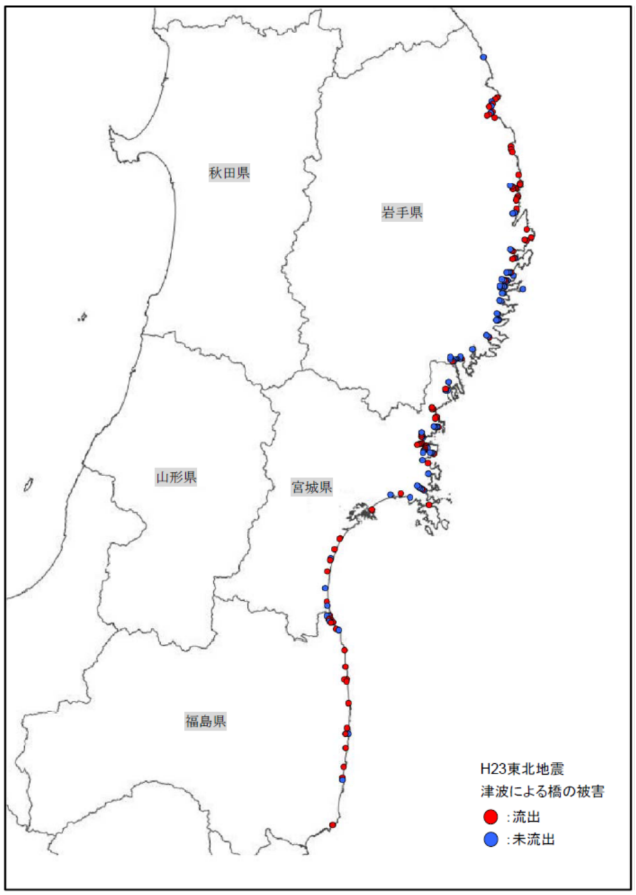



図-Ⅲ.5.2.1　対象橋梁位置図

各種諸元と上部構造流出との関係について整理した結果、以下のことを確認した。

・以下に示す各種条件で比較することにより、上部構造の流出の関係を確認したが、単純に各種条件を比較するだけでは、上部構造の流出を区分できない。

①流速 - 浸水深
②海岸線から架橋位置までの距離 - 浸水深
③海岸線から架橋位置までの距離 - 流速
④全幅員－径間長
⑤(桁高＋地覆高) - 径間長
⑥全幅員/(桁高＋地覆高) - 径間長
⑦(桁高＋地覆高) - 全幅員
⑧全幅員/(桁高＋地覆高) - 全幅員
⑨全幅員/(桁高＋地覆高) - (桁高＋地覆高)
⑩径間長 - 浸水深
⑪全幅員 - 浸水深
⑫(桁高＋地覆高) - 浸水深
⑬全幅員/(桁高＋地覆高) - 浸水深
⑭径間長 - 流速
⑮全幅員 - 流速
⑯(桁高＋地覆高) - 流速
⑰全幅員/(桁高＋地覆高) - 流速
⑱径間長 - 海岸線から架橋位置までの距離
⑲全幅員 - 海岸線から架橋位置までの距離
⑳(桁高＋地覆高) - 海岸線から架橋位置までの距離
㉑全幅員/(桁高＋地覆高) - 海岸線から架橋位置までの距離

例えば図-Ⅲ.5.2.2 は、浸水深と上部構造流出の有無の関係及び頻度分布を、図-Ⅲ.5.2.3 は流速と上部構造流出の関係及び頻度分布を整理したものである。いずれにおいても、値の大きさと上部構造の流出の有無に直接的な関係は見られないことが分かる。なお、浸水深や流速は、平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き [6]にしたがった非線形長波理論式による平面 2 次元解析により算出した。ただし、流況が海側から単純に一方向からの遡上形態となる箇所の橋梁に対しては、上記の非線形長波理論に基づく平面 2 次計算と同等の計算手法を用いた断面 1 次元解析により算出した。

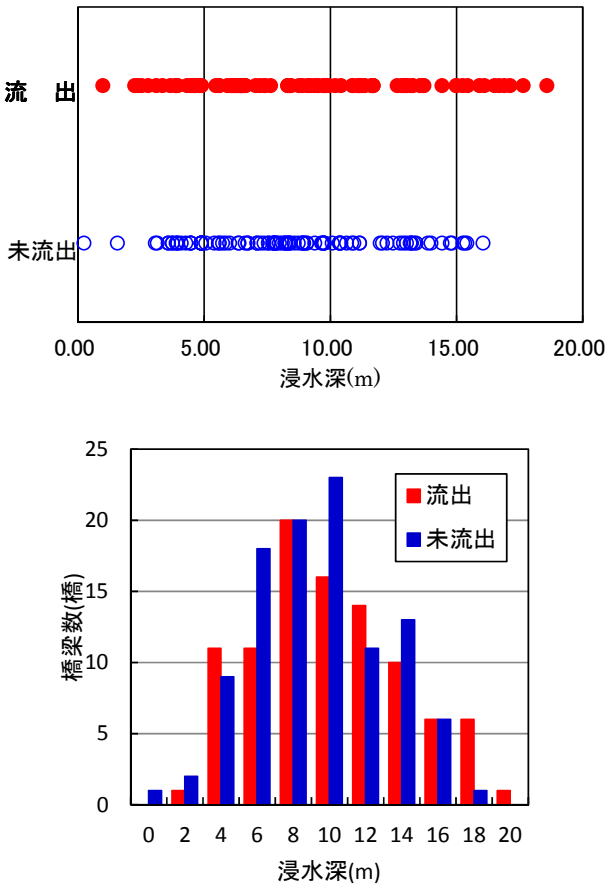
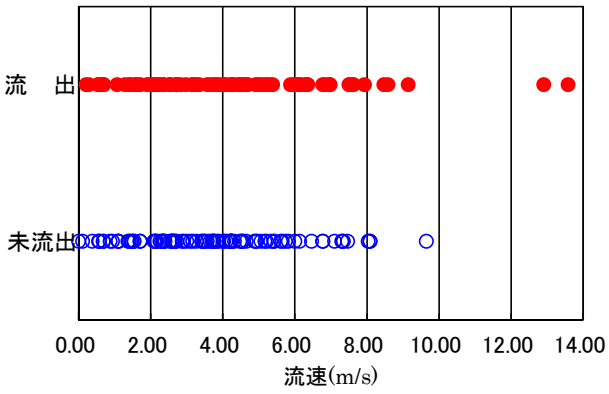



図-Ⅲ.5.2.2　浸水深と津波被災状況



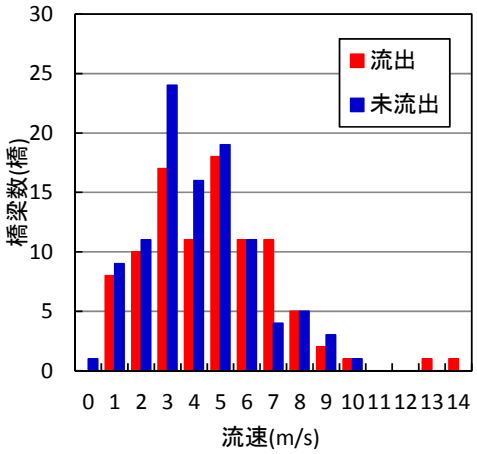
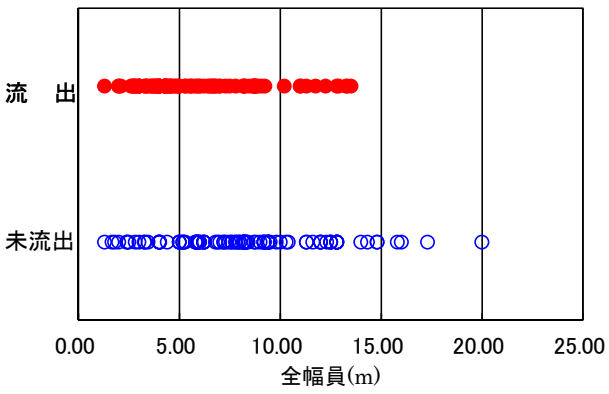




図-Ⅲ.5.2.3　流速と津波被災状況



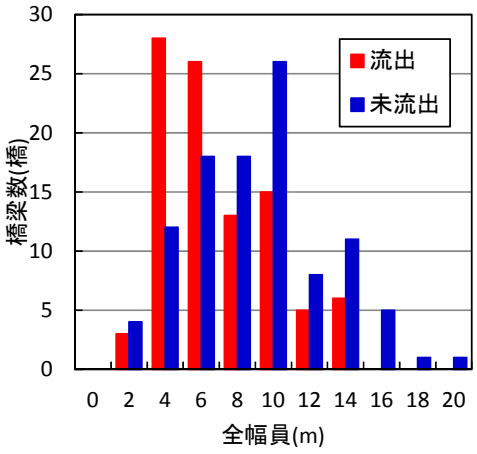
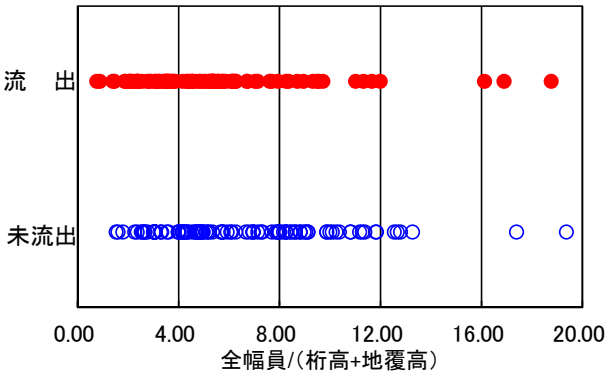




図-Ⅲ.5.2.4　全幅員と津波被災状況

・一方で、全幅員、全幅員/（桁高＋地覆高）が大きいもので流出した橋梁よりも未流出の橋梁が多くなる傾向が示された。

図-Ⅲ.5.2.4 は、全幅員と上部構造流出の有無の関係及び頻度分布を、図-Ⅲ.5.2.5 は全幅員/(桁高＋地覆高)と上部構造流出の有無の関係及び頻度分布を整理したものである。いずれも、ある値を閾値としてその大小により上部構造の流出の有無を判別することは困難であることが分かるものの、ヒストグラムでは、流出したものに比べて未流出のものの方が全幅員、全幅員/（桁高＋地覆高）が大きい傾向にあるようにも見ることができる。



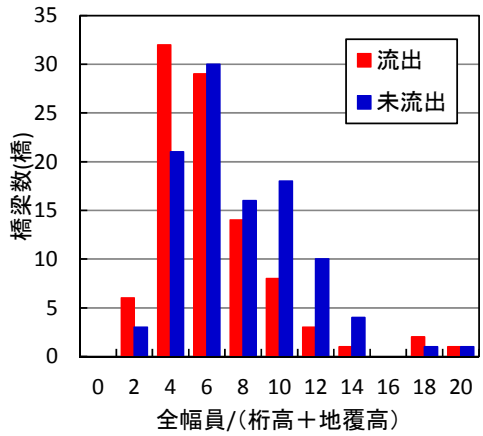




図-Ⅲ.5.2.5 全幅員/(桁高＋地覆高)と津波被災状況

・上部構造の流出への影響が大きいと考えられる津波の規模に関連する浸水深と流速に着目して、以下に示す条件で母集団がなるべく同質となるように分類して、それぞれの母集団の中で流速と浸水深の大小と上部構造の流出の関係を確認した。その結果、条件をそろえて母集団を分類しても、流速と浸水深のみで上部構造の流出を評価することは困難であると考えられた。

①架橋地域による分類
②海岸線から架橋位置までの距離による分類
③上部構造形式による分類
④支承形式による分類
⑤地震震度による分類

以上から、本研究で対象とした津波規模や構造諸元等の単純なパラメータのみの比較では上部構造の流出を評価することは困難であることが確認された。一方で、橋の形状を示す全幅員や桁高等の構造諸元が上部構造の流出に影響を与えている可能性も確認された。したがって、津波による上部構造の流出を評価するには、本研究で対象としていないパラメータまたはその組み合わせ、それらを含めた様々な因子による影響を統計的な分析などにより詳しく分析する必要があると思われる。

参照文献


1) 国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所、国総研資料第 646 号・土研資料第 4202 号 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、2011 年 7 月
2) 国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所、国総研資料第 814 号・土研資料第 4295 号 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告、2014 年 12 月
3) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ、東北地方太平洋沖地震津波情報サイト、http://www.coastal.jp/ttjt/
4) 原口強・若松暉、東日本大震災津波詳細地図上巻、古今書院、2011 年 10 月
5) 原口強・若松暉、東日本大震災津波詳細地図下巻、古今書院、2011 年 10 月
6) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き、2011 年 7 月

## Ⅲ.5.3　道路橋に作用した津波の特性

### Ⅲ.5.3.1　検討概要

平成23年東北地方太平洋沖地震では、地震動や津波の影響により広い範囲で道路橋に被害が発生し[1]、特に津波による上部構造の流出は、交通機能の回復に時間を要したものがあった。

津波の影響を軽減する構造的工夫や配慮の具体的な方法に関しては、今後も調査研究が必要と考えられるが、その際、東北地方太平洋沖地震の津波（以下「東北津波」という。）で実際に道路橋に作用した津波の特性並びに発生した被害・現象の分析が基本になると考えられる。

以上のような背景から、本稿では、東北津波の影響を受けた道路橋を対象に、津波の再現解析を行い、道路橋に作用した津波の推定結果を検証した上で、上部構造の流出に影響の大きい津波の特性を検討した結果を報告する。

### Ⅲ.5.3.2　対象道路橋位置の津波特性の算出

1）　検討対象とする道路橋

東北津波で上部構造が浸水した道路橋のうち、被災後の支承の状況等から流出過程が推定可能なもの、支承部の耐力が算出できるもの、津波の来襲状況が記録された動画があるもの、等の条件を考慮して、国道45号歌津大橋、小泉大橋、沼田跨線橋の3橋を選定した。歌津大橋には流出した区間と流出していない区間があり、上部構造の断面形状も変化するため、区間ごとに検討する。

2）　津波特性の算出手順

波源から対象橋梁周辺までの津波特性を算出するため、非線形長波理論に基づく平面2次元の差分法を用いた津波伝播解析を実施した。津波波源モデルは40枚の小断層からなる藤井・佐竹モデル[3]のVer.4.6を基本とし、GPS波浪計による沖合での津波の観測結果[4]に対する再現精度を向上させるため、各小断層のすべり量を0～2倍の範囲で修正する調整を行った。併せて、各橋梁位置における津波浸水深[5]や浸水範囲[6]、流速（動画中の漂流物の移動速度から推定[7]）を概ね再現できていることを確認した。

次に、道路橋に作用した津波の特性および津波作用力を高精度で推定するために、道路橋とその周辺の地形の3次元モデルを作成し、平面2次元の津波伝播解析で得られた津波特性をその境界から入射する3次元津波解析を実施した。例として小泉大橋を対象とした3次元モデルの領域を図-Ⅲ.5.3.2.1に、モデル化した橋と周辺地形を図-Ⅲ.5.3.2.2に示す。

浸水域とその近傍は国土地理院が被災後に計測した2mメッシュ標高データ「東日本大震災からの復旧・復興及び防災対策のための高精度標高データ」を、それ以外は同じく国土地理院の数値地図50mメッシュ（標高）をもとに地形データを作成しているが、水路など標高データに現れない施設等も津波特性に影響する可能性があるためモデルに追加した（図-Ⅲ.5.3.2.2）。

3次元津波解析には、オープンソースの数値解析コードOpenFOAM[8]を用いた。OpenFOAMは気体と液体の混相流解析が可能であるため、上部構造と水面との間に挟まれる空気層の影響を考慮できるという利点がある。

3）　津波特性の算出結果の例

3次元津波解析には長い計算時間を要するため、津波が対象道路橋に到達する前から対象道路橋位置で波高が最大となるまでの時間帯に限って解析を実施した。小泉大橋の場合は地震発生の39分後からの3分40秒間




図-Ⅲ.5.3.2.1　3次元モデルの設定領域と津波入射境界（小泉大橋）

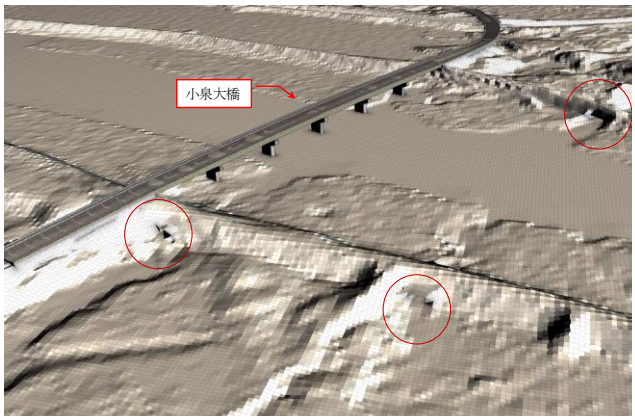



図-Ⅲ.5.3.2.2　3次元モデル図（小泉大橋、赤い丸は水路の位置を表す）

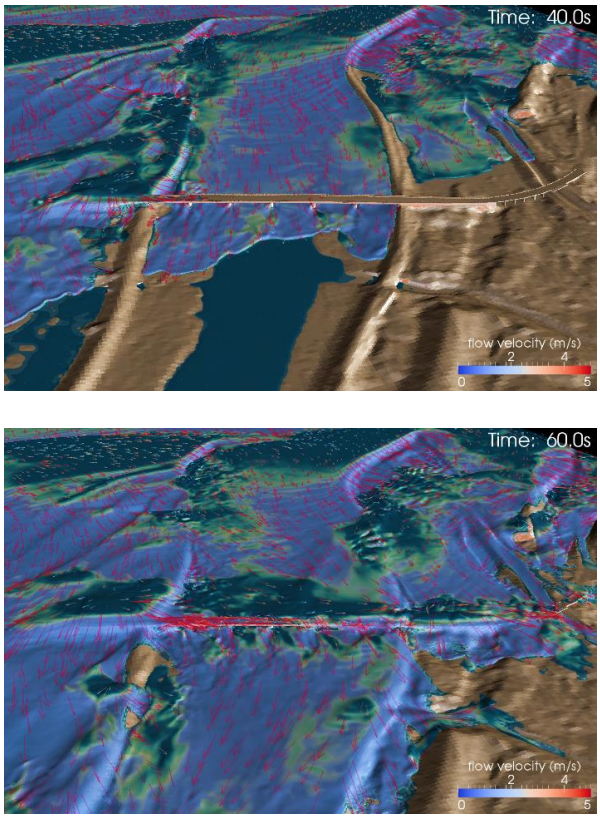



図-Ⅲ.5.3.2.3 小泉大橋への津波来襲状況の解析結果

を対象として解析を実施した。3次元津波解析の開始時から40秒後、60秒後のスナップショットを図-Ⅲ.5.3.2.3に示す。

図-Ⅲ.5.3.2.4は3次元津波解析で小泉大橋の上部構造中央付近の津波を再現した結果を比較したものである。流速は深さ方向の平均値を示している。道路橋や水路等が存在することで津波の流れが複雑に変動するため，周期の短い変動が見られる。特に流速には水位が低い状態での分散波等による不規則な流れおよび構造物の影響により30～60秒に大きなピークがある。

### Ⅲ.5.3.3 被災状況との整合性の確認

1） 支承への作用力と抵抗力の算出

3次元津波解析では、上部構造の各点に作用する時々刻々の圧力も算出されている。その圧力による時々刻々の津波荷重を、図-Ⅲ.5.3.3.1のような上部構造断面モデルの各分割要素表面の点（図中の赤丸囲み）に載荷する時刻歴解析を実施し、各支承に作用する力の時刻歴を算出した。

一方、抵抗力は上部構造を支持する支承の破断耐力を合計して計算した。個々の支承の破断耐力は、支承の各部位（上揚力止め、アンカーボルト等）の水平せん断力・鉛直引張り力に対する破断耐力をそれぞれ計

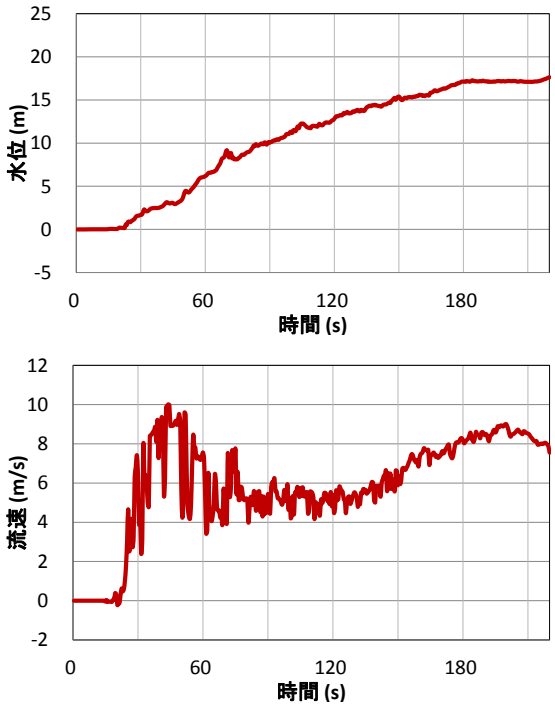



図-Ⅲ.5.3.2.4 3次元津波解析による小泉大橋地点の津波再現結果

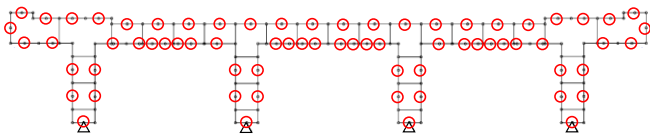


図-Ⅲ.5.3.3.1 支承作用力の算出に用いた上部構造断面モデルの例

算し、最も小さい部位の耐力をその支承の破断耐力とした。

2） 作用力の時刻歴と抵抗力の比較

全6径間が流出した小泉大橋を例として、各支承への作用力の時刻歴と抵抗力を比較したものを図-Ⅲ.5.3.3.2に示す。矢印は作用力が抵抗力を超えた時点である。この解析結果から、支承の損傷過程は、まず海側の支承G3,G4が鉛直上向きの作用力を受けて破断した後、すぐに水平方向の作用力によって陸側の支承G1,G2も破断したと推定される。

小泉大橋の支承の損傷状況（図-Ⅲ.5.3.3.3）も海側と陸側とでは異なっており、解析結果から推定される支承の損傷過程と整合する。

3） 被災状況との比較

他の2橋についても同様の検討を行い、実被災状況と解析結果を比較したものが表-Ⅲ.5.3.3.1である。

歌津大橋の起点側2径間（区間①）と終点側2径間（区間④）は全てポステンT桁で、流出していない。解析でもこれらの径間を支持する支承への作用力は抵抗力を

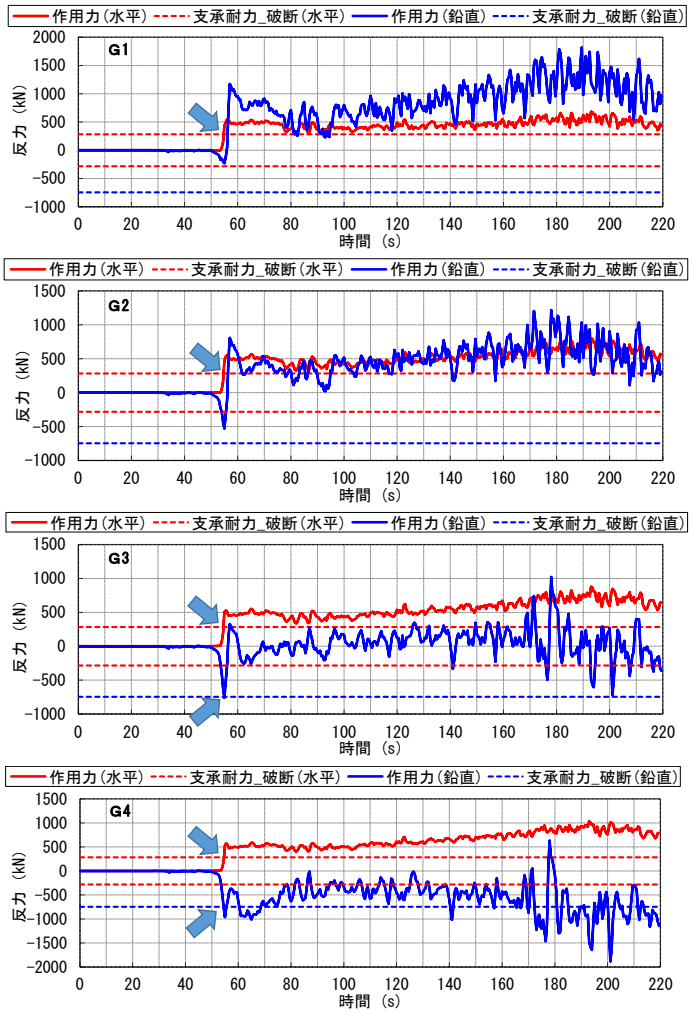



図-Ⅲ.5.3.3.2　小泉大橋の支承G1～G4への作用力の時刻歴と抵　　抗力の比較（水平は橋軸直交方向の陸側、鉛直は下向きが正）

上回らず、支承は破断しない結果となった。一方、比較的桁高の小さいプレテンT桁の5径間（区間②、桁高約0.9m）は水平方向に流出し、桁高の大きいポステンT桁の3径間（区間③、桁高約1.8m）は回転し全て裏返しの状態で流出している[1)]。解析はいずれも海側の支承から順に鉛直上向きの作用力で破断する結果になっているが、幅員8.3mの割に桁高の大きいポステンT桁は回転しやすいため裏返しになったと考えられる。

沼田跨線橋は全3径間が流出しているが、変位制限構造の損傷は限定的で支承のアンカーバーもほぼ変形していないことから、津波の上揚力によって持ち上げられた後に流出したと推定されている[1)]。解析は海側の支承から順に鉛直上向きの作用力で破断する結果であるが、解析で得られた水平方向の作用力は鉛直上向きの2～5割程度と小さい値であった。桁高も約1.2mと幅員13.5mと比較して小さいこともあり、回転せず浮き上がって流出したものと考えられる。

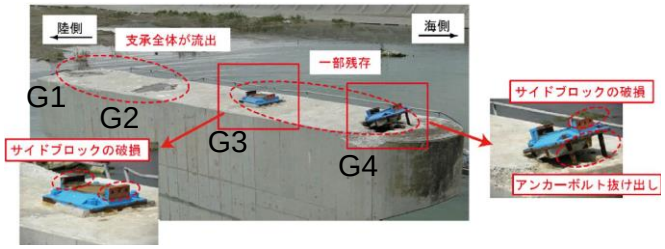



図-Ⅲ.5.3.3.3　小泉大橋の支承の損傷状況[9)]

表-Ⅲ.5.3.3.1　対象道路橋の実被災状況と解析結果の比較

| 橋梁名 | 径間数 | 実被災状況 | 解析結果 |
|---|---|---|---|
| 歌津大橋 | | | |
| 区間① | 2 | 流出せず | 支承は破断しない |
| 区間② | 5 | 流出(水平) | 海側の支承から破断 |
| 区間③ | 3 | 流出(回転) | 海側の支承から破断 |
| 区間④ | 2 | 流出せず | 支承は破断しない |
| 小泉大橋 | 6 | 流出(回転) | 海側の支承から破断 |
| 沼田跨線橋 | 3 | 流出(浮上) | 海側の支承から破断 |

以上より、ここで対象とした3橋については、3次元津波解析で算出した津波特性から推定される支承の損傷過程と実被災状況との間に矛盾はなく、上部構造が流出するか否かを正しく評価できていることから、算出した津波特性は実際の津波を一定の精度で再現できているものと考えられる。

### Ⅲ.5.3.4　まとめ

3次元津波解析で得られた津波の水位と流速の時刻歴を図-Ⅲ.5.3.4.1に示す。歌津大橋は表-Ⅲ5.3.3.1の区間ごとに示してある。

水位の変化をみると、小泉大橋と沼田跨線橋では水位の上昇速度が最大6m/分程度と大きく、歌津大橋では最大3m/分程度と小さいのが特徴である。歌津大橋の区間による違いは小さい。

流速に着目すると、最大値は小泉大橋、沼田跨線橋、歌津大橋の流出した区間②③の順に大きく、流出しなかった区間①④では比較的小さい。

このように、対象道路橋によって水位、流速という基本的な特性が大きく異なる津波が作用している。流速に関しては同じ橋でも区間ごとに違いがあり、その違いが流出するか否かにも影響した可能性がある。

本稿では、東北津波の影響を受けた3つの道路橋を対象に、これらの道路橋に作用した津波の再現を目指した詳細な数値解析を実施した。

今回の検討では、算出した津波の特性等から上部構造が流出するか否かを評価することは可能であり、そ

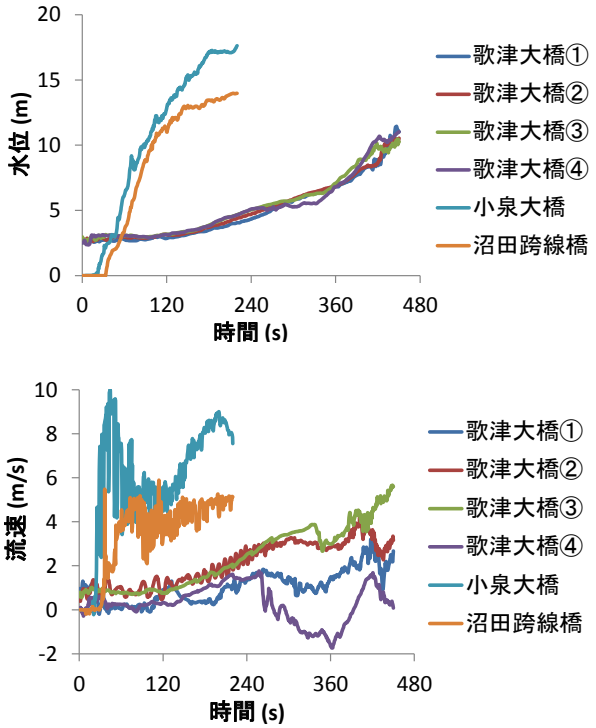



図-Ⅲ.5.3.4.1　対象道路橋に作用した津波の水位と流速（橋軸直交方向、陸側が正）の再現結果

れには流速を精度良く把握する必要があるという結果が得られた。ただし、詳細な数値解析を直ちに実務に適用することは困難な面もあるため、津波の特性を簡易に評価するための手法も必要と考えられる。

参照文献


1）国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告、国総研資料第814号／土研資料第4295号、2014.12
http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0814.htm
2）日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、2012.3
3）藤井雄士郎、佐竹健治：2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波波源、
http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html
4）国土交通省港湾局：全国港湾海洋波浪情報網、
http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.htm
5）Mori, N., Takahashi, T. and the 2011 Tohoku earthquake tsunami joint survey group: Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku earthquake tsunami, *Coastal Engineering Journal*, 54, Issue 1, pp.1-27, 2012
6）国土地理院：平成23年（2011年）東日本大震災2.5万分1浸水範囲概況図、国土地理院技術資料、D1-No. 588～593、2011
7）佐々木達生、幸左賢二、鄭玉龍：桁抵抗力津波作用力比に基づく橋梁の被害分析、構造工学論文集、Vol. 59A、pp.417～427、2013
8）Open CFD Ltd.: OpenFOAM,
http://www.openfoam.com
9）(公社)土木学会地震工学委員会東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会：中間報告書、2014


参考文献


1) 玉越 隆史、星隈 順一、横井 芳輝、地震・津波による橋梁等道路構造物の被害、土木技術資料、第53号.第8号、pp.12-15、平成23年8月.
2) 玉越 隆史、白戸 真大、横井 芳輝、東北地方太平洋沖地震津波による道路橋の被災分析、土木学会年次講演会、Vol.68、I-113、平成25年9月.
3) 片岡　正次郎、松本 幸司、東日本大震災時に道路橋に作用した津波の特性とその影響、土木技術資料、第57巻. 第6号、pp.14-17、平成27年6月.
4) Mori, N., Takahashi, T. and the 2011 Tohoku earthquake tsunami joint survey group 、Nationwide post event survey and analysis of the 2011 Tohoku earthquake tsunami 、Coastal Engineering Journal、54,Issue 1、pp.1-27、平成23年.
5) 国土地理院、平成 23 年（2011 年）東日本大震災 2.5 万分 1 浸水範囲概況図、国土地理院技術資料、D-1№588-593、平成23年.
6) 佐々木達生、幸左賢二、鄭玉龍、桁抵抗力津波作用力比に基づく橋梁の被害分析、構造工学論文集、Vol.59A、pp.417-427、2013.

## Ⅲ.6　沿岸・港湾関係の被害

港湾分野においては、東日本大震災を受けて、津波注意報解除後即座に現地調査を行い、港湾に関する施設被害の態様等を明らかにした。また、震災後の復旧状況についても調査を行っており、港湾関連企業の復旧状況やコンテナ航路等の変化に関する状況を明らかにした。

### Ⅲ.6.1　被害状況緊急調査

4.港湾空港技術研究所：高橋重雄ほか、2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料(第 1231 号)、2011.4

国総研では、東日本大震災の発生直後から、国土交通省の TEC-FORCE (緊急災害派遣隊) の一つとして、港湾などの災害の実態調査隊を港空研と協力し複数派遣しており、また災害原因などの検討を実施した。こうした港湾などの災害調査の結果、主に明らかになったことは以下の通りである。

・自動車の流出、火災の発生、タンクの油の流出など、これまでも認められた津波被害が大規模に発生していることを確認した。

・港湾内で津波によって船舶が陸上へ乗り上げるなどの被害が発生していることを確認した。

・津波による流れによって航路や構造物周りの洗掘や堆積が発生していることを確認した。

・岩手県以北では地震被害が比較的小さかったが宮城県以南で大規模な被害が発生していることを確認した。

また本資料では、現地調査を踏まえ、今後の津波防災の課題、地震防災の課題を示した。詳細は上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.6.2　被害状況詳細調査

ここでは、海岸保全施設、漂流物及び間接被害に関する調査結果を示す。調査の結果として、震災直後の物流・経済活動の復旧動向について示すことが出来たと共に、海岸保全施設の被害状況、コンテナ等津波による漂流物の実態を明らかにすることが出来た。

#### Ⅲ.6.2.1　海岸保全施設

(1)被害状況調査

11.国土技術政策総合研究所 : 熊谷兼太郎ほか、2011 年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査、国土技術政策総合研究所資料(第 658 号)、2011.12

12.国土技術政策総合研究所 : 熊谷兼太郎ほか、2011 年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査 (その 2)、国土技術政策総合研究所資料(第 781 号)、2014.3

国総研ほかは、岩手県及び宮城県の 7 港 20 地区の海岸保全施設等を対象とした被害調査を行い，胸壁及び護岸を中心とした被害状況を把握した．特に胸壁について，「堤体の破壊」，「地盤の洗掘・堤体の変位」，「運用上の機能不全」に分けたうえで軽微な被害から比較的大きな被害までの被害の類型を整理した．詳細は上記文献 11.を参照されたい。

また、11.の調査対象とした以外の地区についても引き続き、海岸保全施設の耐津波設計に資するため 2011 年東北地方太平洋沖地震及び津波による同施設の被害について把握することを目的として、岩手県及び宮城県の 8 港 19 地区の海岸保全施設等を対象に被害調査を行い、胸壁及び護岸を中心とした被害状況を記録した。さらに胸壁について「堤体の破壊」、「地盤の洗掘・堤体の変位」，「運用上の機能不全」に分けたうえで、軽微な被害から比較的大きな被害までの被害類型を整理した．文献 11.で得られた知見に新たに得られた知見を加え、地震及び津波による胸壁の被害類型を 12 種類に整理した。すなわち、胸壁について「堤体の破壊」に関する被害類型としては、以下が生じていた。

1) ひび割れ・化粧板剥離
2) 漂流物の衝突・堤体同士の接触による欠損
3) 堤体上部の破壊

「地盤の洗掘・堤体の変位」に関する被害類型としては，以下が生じていた.

4) 軽微な地盤洗掘・舗装被害
5) 越流した流れによる地盤洗掘
6) 引波による地盤洗掘
7) 引波による堤体の小規模な滑動・傾斜
8-1) 波力による堤体の転倒
8-2) 波力・洗掘の複合要因による堤体の転倒

また,「運用上の機能不全」に関する被害類型としては,以下が生じていた.

9) 船舶，ガレキ，土砂等の堆積
10) フラップゲートの開閉不全

11) 陸閘の破損
12) 地域全体の地盤沈下で嵩上げが必要

これらの結果は、海岸保全施設の耐津波設計に関する基礎資料となっていて，例えば，「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」（国土交通省港湾局，平成 25 年 11 月）に引用されている．詳細は上記文献 12.）を参照されたい。

(2)　防潮壁の被災特性の分析

13.国土技術政策総合研究所：淺井正、東北地方太平洋沖地震津波による防潮壁の被災特性に関する検討、国土技術政策総合研究所資料(第 810 号)、2014.9

国総研では、東北地方整備局および港湾管理者が実施した東日本大震災による岩手県および宮城県内の被災調査結果をもとに、海岸保全施設のうち港湾内で一般的に用いられている防潮壁を対象にして、施設の種類や構造諸元、津波の諸元を用いて被災状況の傾向を分析した。

写真-Ⅲ.6.2.1.1 は防潮壁の被災状況を示している．防潮壁の左側が海側であるが、堤体の基礎部まで大きく洗掘されているのが確認できる。図-Ⅲ.6.2.1.1 では被災パターン毎の被災延長とその割合を示し、被災原因は洗掘によるもの（6.6%）が最も多く、ついで転倒（6.4%）、沈下（5.4%）の順になっており、被災の拡大を防ぐためには防潮壁の陸側･海側の両方において、洗掘対策の必要性を検討することが重要であることを示した。洗掘は防潮壁の陸側で多く見られ、堤体の天端を越えて越流する流れにより発生したと考えられる。また、写真-Ⅲ.6.2.1.1 に示すように防潮壁沖側が洗掘する事例も少なからずあり、津波の戻り流れの影響についても考慮する必要があることが示唆された．さらに、防潮壁の被災パターンについて、堤体の高さ、津波の高さ、越流の状況、海岸線からの距離との関係を明らかにし、さらに被災における越流および海岸線からの距離の影響について考察した。

これらの防潮壁の被災特性に関する研究結果は、平成 25 年 11 月に国土交通省港湾局[1)]により策定された港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドラインの検討に用いられ､その参考資料に反映されている。被災特性の分析結果の詳細については上記文献を参考にされたい。



写真-Ⅲ.6.2.1.1　防潮壁の被災状況(釜石港須賀地区)

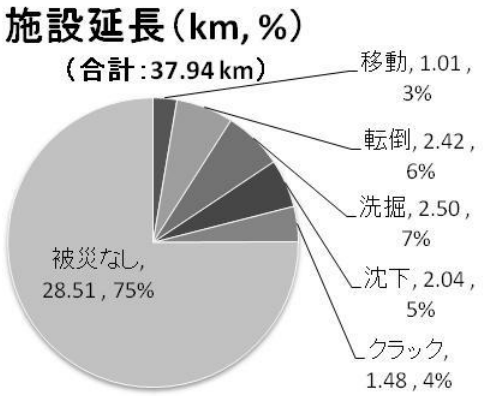



図-Ⅲ.6.2.1.1　被災パターン毎の被災延長の割合

参照文献

1) 国土交通省港湾局、港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン（平成 25 年 11 月)、平成 25 年 11 月.
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000058.html

### Ⅲ.6.2.2　漂流物

国総研は､2011 年東北地方太平洋沖地震津波について貨物コンテナの津波漂流物について基礎的な情報を収集するため現地調査及びヒアリング調査を行った。その結果、津波により 3,018 個のコンテナが 8 港湾から流失していた（表-Ⅲ.6.2.2.1)。なお、コンテナ流失率として流失したコンテナの個数を地震発生時にコンテナターミナルに蔵置されていたコンテナの個数で割ったものを定義する。浸水深が 1.6m 未満の場合、コンテナ流失率はゼロであった。一方、浸水深が 3.5m 以上の場合は、コンテナ流失率は 0.4 以上であった。浸水深が 1.6m 以上かつ 3.5m 未満の場合は，コンテナ流失率はばらつきが大きく、うち一つ港湾ではほとんどコンテナが流失しなかったが別の一つの港湾ではコンテナ流失率は約 0.6 であった。また、津波の浸水

表-Ⅲ.6.2.2.1　貨物コンテナの流失数

| No. | Name of Port | The number of containers handled during 2010 (TEU *1) | The number of containers stored on terminal [ A ] | The number of tsunami-induced debris of freight containers [ B ] | Container loss rate [ B/A ] | Tsunami inundation height above T.P. (m) *2 [ C ] | Ground elevation at terminal above T.P. (m) [ D ] | Tsunami inundation depth (m) [ C-D ] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Kushiro | 31,731 | 788 *3 | 0 | 0.000 | 2.85 | 1.8 | 1.1 |
| 2 | Tomakomai | 322,128 | 7,400 | 0 | 0.000 | 2.79 | 2.41 | 0.38 |
| 3 | Muroran | 5,482 | 136 *3 | 0 | 0.000 | 1.16 | 2.61 | - |
| 4 | Mutsu-Ogawara | 245 | 0 | 0 | 0.000 | 3.30 | 2.63 | 0.67 |
| 5 | Hachinohe | 45,430 | 1,159 | 701 | 0.605 | 5.95 | 2.50 | 3.45 |
| 6 | Miyako | 100 | 7 | 7 | 1.000 | 8.94 | 1.99 | 6.95 |
| 7 | Kamaishi | 119 | 0 | 0 | 0.000 | 8.93 | 0.44 | 8.49 |
| 8 | Ofunato | 2,839 | 73 | 72 | 0.986 | 8.71 | 0.50 | 8.21 |
| 9 | Ishinomaki | 4,024 | 100 *3 | 40 | 0.400 | 6.67 | 1.33 | 5.34 |
| 10 | Sendai-Shiogama | 155,611 | 4,318 | 1,724 | 0.399 | 6.49 | 2.95 | 3.54 |
| 11 | Soma | 622 | 6 | 6 | 1.000 | 9.73 | 2.08 | 7.65 |
| 12 | Onahama | 22,352 | 555 *3 | 0 | 0.000 | 3.56 | 2.04 | 1.52 |
| 13 | Ibaraki Hitachinaka | 21,261 | 639 | 12 | 0.019 | 4.32 | 2.20 | 2.12 |
| 14 | Kashima | 6,189 | 809 | 456 | 0.564 | 4.31 | 2.43 | 1.88 |
| | Total | 618,133 | | 3,018 | | | | |

*1 TEU stands for Twenty-foot equivalent unit, one of the measurement unit for freight container. *2 T.P. stands for Tokyo Peil, the vertical datum of Japan. *3 This value is an estimate value, obtained from calculation based on the method of 'Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan' (PHAJ, 2007).

によりコンテナに作用する浮力が重力よりも小さい場合は、例外の１ケースを除いて、実入りコンテナはもともとの場所に留まっていたことが確認された。これらの結果は、コンテナの津波流失のリスク評価に関する基礎資料となっている。詳細は下記文献 1)を参照されたい。

参照文献

1)Kentaro KUMAGAI、Tsunami-induced Debris of Freight Containers due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake、Journal of Disaster Fact Sheet, JSCE、FS2013-T-0003, 平成 25 年 9 月

### Ⅲ.6.2.3　間接被害

(1)物流への影響

東日本大震災全体の国際海上物流への影響は、日本海事センターが取りまとめた貿易統計等のデータによる入港船舶数、貿易額等についての調査結果があるが、それらは対象が被災地区の港湾及び五大港であり、被災地区及び日本海側港湾を含めた日本全体の状況を分かりやすく示したものは見当たらない。こうした状況を踏まえて、東日本大震災の国際海上輸送の影響把握に資するために、船舶動静及び対米国コンテナ流動について、震災前後の状況を 2011 年 9 月に整理した。具体的には、世界中の船舶の動静データを用いて、船種別に外航船の震災前後の寄港状況を整理したほか、AIS（自動船舶識別装置）データを用いて船種別に我が国主要海域の通航船舶の状況、またアメリカ輸出入データを用いて震災前後の対米国コンテナ流動の状況を整理した。その結果として、フルコンテナ船及び一般貨物船の東北及び関東太平洋側港湾へ寄港回数の減少、東北日本海側及び北陸の港湾での寄港回数増加(表-Ⅲ.6.2.3.1)、自動車専用船の寄港回数の大幅な減少、また全国的なクルーズ船の寄港回数減少といった状況（表-Ⅲ.6.2.3.2）をとらえることができた。また、我が国全体で、他国発着トランシップコンテナ流動の落ち込みといった状況を捉えることができた。本調査は、今後行われるであろう詳細分析に資するために、震災前後の状況をごく単純に整理したものである。詳細は下記文献 1)を参照されたい。

表-Ⅲ.6.2.3.1　　港湾別フルコンテナ船寄港回数及び前年同月比（2011 年 4 月実績）

| 港　湾 | 寄港回数 | 前年同月比 |
|---|---|---|
| 酒田港 | 10 | 2.50 |
| 新潟港 | 60 | 2.22 |
| 伏木富山港 | 47 | 1.12 |
| 金沢港 | 25 | 1.86 |
| 直江津港 | 14 | 1.56 |

表-Ⅲ.6.2.3.2　クルーズ船寄港回数

| 港　湾 | 2010 年 4 月 | 2011 年 4 月 |
|---|---|---|
| 横浜港 | 13 | 8 |
| 神戸港 | 16 | 6 |
| 博多港 | 8 | 0 |
| 那覇港 | 3 | 4 |

参照文献
1) 瀬間基広・安藤和也・赤倉康寛、東日本大震災による船舶動静及び対米国コンテナ流動への影響、国総研資料、第 649 号、平成 23 年 9 月

(2) 港湾都市における産業・物流の被害・復旧状況に関する調査

1) 調査趣旨

東日本大震災および 4 月上旬に発生した複数の大きな余震により、東北・関東地方の企業活動（生産・物流）も大きな被害を受けた。青森県～千葉県の太平洋岸沿いの津波浸水を受けた企業だけでなく、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県等の内陸部においても、地震動や液状化による被害で長期休業を余儀なくされた企業も少なくない。また、震災が起因となった福島第一原子力発電所の事故についても、震災後 1 年を経過した時点で半径 20km の警戒区域（立入禁止区域）内の企業は操業再開の目途が立っていなかっただけでなく、周辺企業の生産・物流活動にも大きな影響を及ぼしていた。

一般に、地震や津波による民間企業等の被害・復旧過程については、私的活動に属するものであるから、港湾や道路等のインフラ被害に比べると、公開される情報は少ないことが多い。必要な場合には、政府・民間調査機関等によってアンケート調査や個別インタビューによって実態が把握されることが多く、その場合、プライバシー保護の観点等から、個別企業の具体的な被害状況や復旧過程については明らかにされないことが前提となる。しかしながら、必ずしも個別企業ごとの情報が必要とはいえないものの、企業立地箇所（による地盤条件や浸水深等の差異）と被害・復旧過程の関係や、業種ごとの被害や復旧過程の特徴を把握することは、今後、企業活動への影響を考慮した防災対策・政策を議論するうえで参考になると思われる。

そこで柴崎 1)は基礎資料として、公開情報である新聞記事（全国紙・地方紙・専門紙）を基に、港湾別・産業別の企業の被害・復旧状況を整理した。併せて、震災後の税関別月次貿易統計から把握される復旧状況との比較も行った。

2) 調査対象および手順

① 対象とする産業および企業活動

本調査の対象産業とその分類を表-Ⅲ.6.2.3.1 に示す。基本的に、第二次産業のうちの製造業、および発電所およびガス製造工場を整理の対象とした。さらに、製造業に含まれる食品加工業や飼料製造業に関連し、第一次産業のうちの水産業および畜産業についても、魚市場の復旧など主たる出来事についてはあわせて整理の対象とした。同様に、石油製品を貯蔵する油槽所や、セメント貯蔵のためのサービスステーション（SS）ども整理の対象とした。また、参考として、各港湾の復旧に関する記事もあわせて整理した。

一方、震災直後の救援物資輸送も整理の対象外とした。

表-Ⅲ.6.2.3.1　本調査における産業分類

| 本稿における分類番号 | 産業名 | （参考）日本標準産業分類上の産業 |
|---|---|---|
| 1 | 製紙・パルプ業／印刷業 | 14.パルプ・紙・紙加工品製造業 |
| | | 15.印刷・同関連業 |
| 2 | 製材業 | 12.木材・木製品製造業（家具を除く） |
| 3 | 製鉄・鉄鋼業 | 22.鉄鋼業 |
| 4 | 非鉄金属製造業 | 23.非鉄金属製造業 |
| 5 | 造船業 | 31.輸送用機械器具製造業のうち 313.船舶製造・修理業，舶用機関製造業 |
| 6 | 金属製品製造／生産・輸送用機器製造業（造船を除く） | 13.家具・装備品製造業 |
| | | 24.金属製品製造業 |
| | | 25.汎用機械器具製造業 |
| | | 26.生産用機械器具製造業 |
| | | 27.業務用機械器具製造業 |
| | | 31.輸送用機械器具製造業（313.を除く） |
| | | 32.その他の製造業 |
| 7 | 窯業・土石製品製造業（セメントSS含む）* | 21.窯業・土石製品製造業 |
| 8 | 石油精製業・油槽所等／ガス* | 17.石油製品・石炭製品製造業 |
| | | 34.ガス業 |
| 9 | 電力（発電所）* | 33.電気業 |
| 10 | 飼料製造業・サイロ／畜産業* | 10.飲料・たばこ・飼料製造業のうち 106.飼料・有機質肥料製造業 |
| 11 | 食品・飲料製造業／水産関連（魚市場・倉庫等）* | 9.食料品製造業 |
| | | 10.飲料・たばこ・飼料製造業（106.を除く） |
| 12 | 電気電子・情報通信機器製造業 | 28.電子部品・デバイス・電子回路製造業 |
| | | 29.電気機械器具製造業 |
| | | 30.情報通信機械器具製造業 |
| 13 | 化学工業 | 16.化学工業 |
| | | 18.プラスチック製品製造業（別掲を除く） |
| | | 19.ゴム製品製造業 |
| 14 | 繊維工業 | 11.繊維工業 |

*製造業以外も含む．なお，日本標準産業分類の「20．なめし革・同製品・毛皮製造業」に該当する企業はなかったため，除外している．

② 対象地域・企業

今回の震災では、特に津波による浸水被害を受けた地域・企業の被害が甚大であったことから、港湾地区を中心とした太平洋沿岸市町村に立地する企業を調査対象とした。ただし、比較参照のため、沿岸市町村に立地していても浸水を免れた企業や、内陸部の市町村に立地して地震被害を受けた代表的な企業、福島第一原子力発電所事故の影響を受けた企業も整理の対象とした。

対象企業については、新聞記事により動向を把握できる企業を原則とし、都市データパック [2]に記載されている各都市の主要企業リストに加え、港湾計画図・都市地図等に記載された情報や、工業統計・貿易統計・港湾統計等から得られる生産消費額・輸出入額／量等の産業別内訳を参照し、主要業種・企業に漏れがないかを確認した。

③ 対象紙と収集時期

記事の収集対象とする新聞については、事前の試行的調査により、全国紙、県紙・ローカル紙、業界紙（産業・物流）を含む、表-Ⅲ.6.2.3.2 に示す 21 紙とした。また収集時期は、2011 年 3 月 12 日から 12 月 31 日までである。

④ 収集の手順

表-Ⅲ.6.2.3.2 に示した各紙のうち、日経テレコンに登録されている新聞はキーワード検索が可能となっているため、「工場」と「復旧」の and 検索などにより記事を抽出した。この結果を整理し、また②に示した方法によって補完することにより、主要被災企業のリストを作成した。さらに、リストアップした各企業名や事業所名をキーワードとして再度検索を行い、情報の補完を行った。その他の新聞については、web サイトや図書館での閲覧、縮刷版の入手等により、対象期間中の全記事の中から関連記事を抽出した。

3) 調査の活用例　～復旧日数と浸水深の関係～

本調査における整理結果の一活用例として、本調査の整理結果等から得られる、臨港地区に立地する各企業・工場（原発事故の影響を受けたものを除く）において震災後フル操業まで戻るのにかかった日数（復旧日数）と、各企業・工場の浸水深の関係を、図-Ⅲ.6.2.3.1 に示す。ここで、縦軸の浸水深は、「T.P.（東京湾平均海面）からの浸水高－標高」で表され、浸水高については東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる観測結果 [3]を利用し、標高については国土地理院によるデジタル標高地図より取得した。

図より、①浸水深が大きくなるほどフル操業に戻るまでに要する日数が増加する傾向にあること、②ただし、浸水深が小さくても、相当の復旧日数を要したり復旧を諦めたりする企業・工場も存在すること、が読み取れる。本調査で明らかとなったことの一つに、各企業・工場の復旧速度は、当該工場で生産される製品の収益性（たとえば、世界や国内市場で大きなシェアを占めているかどうか等）や、当該業界の将来性・需給バランスにも左右されるということがあり、本図もそれを裏付ける結果となっている。一方で、図の左下から右上にかけての包絡線上にプロットされる企業・工場に着目すれば、最短での復旧に必要な日数と浸水深の関係に関して、たとえば、浸水深が 2m を超えると完全復旧までに最低でも 100 日かかる等といった示唆も得られる。

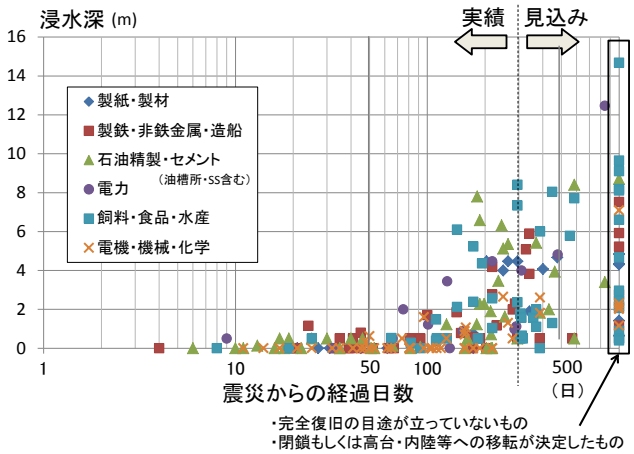



**図-Ⅲ.6.2.3.1 各企業・工場の復旧日数と浸水深の関係**


参照文献

1) 柴崎隆一、東日本大震災による港湾都市における産業・物流の被害・復旧状況、国総研資料 No.677、2012 年 3 月

2) 東洋経済新報社：都市データパック 2011 年版、2011.7.

3) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ HP：東北地方太平洋沖地震痕跡調査結果 http://www.coastal.jp/ttjt/（2012.2.8 アクセス）

## Ⅲ.6.3　復旧情報整理

13.国土技術政策総合研究所,港湾空港技術研究所：宮島正悟ほか、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告、国土技術政策総合研究所資料(第 798 号)、港湾空港技術研究所資料(第 1291 号)、2015.9

地方整備局、北海道開発局、港湾管理者、港空研等の関係諸機関の協力を得て収集した地震および津波による施設の被害と復旧に関する技術情報を整理した。主な整理内容は以下の通りである。

・北海道、東北地方、関東地方における計 17 港について各港における地震動と津波、被災と復旧の概要が示された。

・同一港湾内でもサイト増幅特性の影響（地震基盤上に存在する堆積層が地震動に及ぼす影響）で被害に差が出ることが確認された。

・液状化については地震動継続時間が長いことが液状化の被害を拡大したこと、液状化対策が有効に機能していることなどが確認された。

港湾施設の被害と復旧の状況を原設計断面や復旧断面等と共に詳細に報告したものはこれまでなかったため、これらの結果を基に、地震・津波対策等の各種研究が進められている。詳細は上記文献を参照されたい。

### 参考文献

1) Kentaro KUMAGAI、Tsunami-induced Debris of Freight Containers due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake、Journal of Disaster Fact Sheet, JSCE、平成 25 年 9 月.

表-Ⅲ.6.2.3.2　調査対象となった新聞の概要

| | 紙名 | 本社 | 主たるカバーエリア | 本稿における記事のアクセス方法 | 発行頻度 | 本稿における収集記事件数 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 全国紙 | 日本経済新聞 | 東京都千代田区 | 全国 | 日経テレコン | 毎日 | 348 | 地方版含む |
| | 毎日新聞 | 東京都千代田区 | 全国 | 日経テレコン | 毎日 | 94 | 同上 |
| 県紙 | 岩手日報 | 岩手県盛岡市 | 岩手県全域 | 日経テレコン | 毎日 | 197 | |
| | 河北新報 | 宮城県仙台市 | 宮城県全域 | 日経テレコン | 毎日 | 290 | |
| | 福島民報 | 福島県福島市 | 福島県全域 | 日経テレコン | 毎日 | 118 | |
| | 茨城新聞 | 茨城県水戸市 | 茨城県全域 | 日経テレコン | 毎日 | 90 | |
| ローカル紙 | デーリー東北 | 青森県八戸市 | 青森県東部・岩手県北部 | webサイト | 毎日 | 191 | |
| | 復興釜石新聞 | 岩手県釜石市 | 岩手県釜石市周辺 | 国会図書館 | 週2回 | 24 | 旧岩手東海新聞．釜石市の広報紙という位置づけで6月中旬に復刊 |
| | 宮古民友 | 岩手県宮古市 | 岩手県宮古市周辺 | 岩手県立図書館 | 月2回 | 3 | 震災後の発行は5/15から |
| | 東海新報 | 岩手県大船渡市 | 岩手県気仙地方（大船渡市・陸前高田市等） | 岩手県立図書館 | 毎日（月曜休刊） | 78 | 5/1までの新聞は特別縮刷版に収録 |
| | 三陸新報 | 宮城県気仙沼市 | 宮城県気仙沼市・南三陸町 | 国会図書館 | 毎日（月曜休刊） | 109 | |
| | 石巻日日新聞 | 宮城県石巻市 | 宮城県石巻市・女川町 | 国会図書館 | 毎日（夕刊） | 64 | 3/12-17は手書きの壁新聞を発行 |
| | いわき民報 | 福島県いわき市 | 福島県いわき市 | 国会図書館 | 平日毎日（夕刊） | 50 | 3/16休刊 |
| 業界紙 | 日経産業新聞 | 東京都千代田区 | 全国 | 日経テレコン | 平日毎日 | 413 | |
| | 日刊工業新聞 | 東京都中央区 | 全国 | 日経テレコン | 平日毎日 | 404 | |
| | 日本海事新聞 | 東京都港区 | 全国 | 日経テレコン | 平日毎日 | 141 | |
| | 日本農業新聞 | 東京都台東区 | 全国 | 日経テレコン | 毎日 | 22 | |
| | 日刊CARGO | 東京都千代田区 | 全国 | webサイト | 平日毎日 | 13 | |
| | カーゴニュース | 東京都港区 | 全国 | 本社を直接訪問 | 週2回 | 5 | |
| | LNEWS | 東京都港区 | 全国 | webサイト | 平日毎日 | 32 | |
| | 物流ニッポン | 東京都新宿区 | 全国 | 本社を直接訪問 | 週2回 | 11 | |
| 合計 | | | | | | 2697 | |

## Ⅲ.7 仙台空港の基本施設関係の被害

空港分野においても、東日本大震災を受けて、津波注意報解除後即座に津波で被災した仙台空港の現地調査を行い、空港に関する施設被害の態様等を明らかにしている。この課題の研究成果として、空港舗装について事前に耐震性を評価し対策を講じることの重要性が再確認されたといえる。すなわち、今後の地震・津波対策に関する重要な情報を提供することが出来たと考えられる。

### Ⅲ.7.1 被害状況緊急調査

4.港湾空港技術研究所:高橋重雄ほか、2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料(第 1231 号)、2011.4

国総研では、東日本大震災から仙台空港を早期に復旧・復興させるため、技術的な支援を国土交通省等と協力して鋭意実施しており、特に、災害の発生直後から、国土交通省の TEC-FORCE（緊急災害派遣隊）の一つとして、空港の災害の実態調査隊を港空研と協力し派遣しており、また災害原因などの検討を行っている。この調査では、仙台空港周辺の津波痕跡を確認するとともに、仙台空港のエプロン東部とＢ滑走路を中心に踏査を行い、舗装版下の空洞や滑走路の亀裂などを確認した。この調査の結果、仙台空港においては、5.7m の浸水高が確認されたと同時に、耐震工事実施済みの滑走路部分で液状化対策の効果が確認された。詳細は上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.7.2 舗装被害調査

15.国土技術政策総合研究所 : 坪川将丈、水上純一、畑伊織、前川亮太 : 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による仙台空港の舗装に関する被害報告、国土技術政策総合研究所資料(第 680 号)、pp.1~20、2012

平成 23 年 3 月 21 日から 27 日の間、空港基本施設（滑走路・誘導路・エプロン等）のアスファルト舗装及びコンクリート舗装を対象に調査を実施し、舗装の被害の確認および評価ならびに暫定供用までに補修すべき箇所の抽出を行った。

Ｂ滑走路及び誘導路のアスファルト舗装にひび割れが確認されたが、航空機の走行の支障になると考えられるひび割れは確認されなかった。また、平行誘導路において液状化による沈下が、エプロンのコンクリート舗装においても液状化による沈下と沈下に伴うひび割れが確認された。平行誘導路の沈下部については暫定供用前に補修し、エプロンの沈下部についてはコンクリート版を打ち換えする必要があると考えられたため、当面閉鎖し、暫定供用後に補修を行うこととした。

詳細は上記文献を参照されたい。

# Ⅲ.8　建築・住宅・都市関係の被害および住宅再建動向の調査

未曾有の大災害となった東日本大震災における建築物等被害から教訓を学び取り、今後の地震や津波対策に生かすため、国総研は建研と連携して、地震発生翌日から多数の研究者を広範な被災地に派遣し、建築・住宅・都市分野における貴重なデータ収集・分析を行ってきた。その成果については下記の資料に詳しく掲載されている。

・国土技術政策総合研究所資料第 636 号・建築研究資料第 132 号「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）」、平成 23 年 5 月
～地震発生から 6 週間の間に実施した調査及び研究について、速報としてとりまとめたもの。
・国土技術政策総合研究所資料第 674 号・建築研究資料第 136 号「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告」、平成 24 年 3 月
～速報以降に明らかになったことについて、最終報告書としてとりまとめたもの。

ここでは、被害の概要、強震観測記録に基づく地震動特性と建築物の挙動、地震による建築物等の被害、津波による建築物の被害、火災による建築物の被害、住宅再建・地域復興への動向、の項目ごとに、その内容を概観する。

## Ⅲ.8.1　建築，住宅および都市域全般に係る被害の状況

本節は建築、住宅及び都市域全般に係る被害の状況を官公庁の公表資料等からとりまとめた結果と、津波浸水範囲における被災状況の分析を行った結果について述べたものである。

### Ⅲ.8.1.1　被害一般

18.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 636 号）、建築研究所：建築研究資料（第 132 号）、3-1~3-8、2011.5
19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、3-1、2012.3

本項は 3 月 11 日の本震及び直後の余震（3 月 11 日）のほか、宮城県沖を震源とする地震（4 月 7 日）、福島県浜通を震源とする地震（4 月 11 日及び 4 月 12 日）によって被害を受けた地域を対象としてとりまとめたものである。

気象庁発表の市区町村別震度の分布を俯瞰するとともに、災害救助法、被災者生活再建支援法、建築基準法に基づく建築制限、等の災害関連法の適用状況についてとりまとめた（第 636 号）。

警察庁公表資料をもとに、死者・行方不明・負傷の人的被害、避難状況、住宅等の被害状況及び火災発生件数を県別に整理した。あわせて、市町村別に浸水区域内想定人口に対する死者数の割合を推定した（第 636 号、第 674 号）。

また、応急危険度判定のうち被災建築物応急危険度判定の実施状況については、市町村別の判定件数及び判定作業を行った応急危険度判定士の延べ人員数を整理した。被災宅地危険度判定については、市町村別に判定結果を整理した（第 636 号、第 674 号）。

ライフラインの被害については、電力、ガス、上下水道、通信の被害状況をとりまとめた（第 636 号）。

応急仮設住宅については、必要戸数、着工予定数、着工済み数を県別にとりまとめた（第 636 号）。

エレベーターの閉じ込め発生状況については、3 月 11 日に発生した地震によるもののほか、その後、4 月 7 日、4 月 11 日、4 月 12 日、4 月 16 日に発生した地震による閉じ込め発生台数と発生した都道県を整理した（第 636 号）。

さらに過去の地震災害との比較として、関東大震災、阪神・淡路大震災及び東日本大震災による人的被害の状況を比較するとともに、20 世紀以降の我が国における主要な都市災害による市街地の被害と復興事業規模を比較した（第 674 号）。

詳細は上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.1.2　津波による市街地被害

18.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 636 号）、建築研究所：建築研究資料（第 132 号）、3-9、2011.5
19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、3-2、2012.3

浸水面積、浸水範囲内人口を市町村別に整理するとともに、宮城県・福島県・茨城県を対象として浸

水範囲と都市地域・市街化区域・市街化調整区域が重なる範囲の面積を計測した（第 636 号）。

また、岩手県・宮城県・福島県を対象に 500m メッシュごとに建物の最大被害区分、全壊率の分布、平均津波浸水深の集計及び地理的分布を作成したほか、津波浸水深と全壊率の関係について分析を行った。さらに、岩手県・宮城県・福島県の浸水範囲内に立地する小中学校、病院・診療所、高齢者福祉施設、市町村庁舎を対象として、被災状況の集計、これら施設の被害と立地地点の標高及び浸水深との関係について集計・分析を行った。その結果、岩手県と宮城県では対象市町村内の小中学校のうち約 15～20%程度が被災しているのに対し、福島県では約 3%の被災であったこと、病院については岩手県と宮城県で約 30%の被災であるのに対して福島県では約 7%の被災であったこと、高齢者福祉施設では宮城県での被災が最も大きかったことなどが明らかになった（第 674 号）。

さらに、浸水範囲の被災前の地域特性として、人口、高齢化率、就業構造について集計を行った（第 674 号）。

詳細は上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.8.2　強震観測記録に基づく地震動特性と建築物の挙動

本節では、地震動特性の分析や強震観測に基づく建物挙動の解明について、超高層建物等における地震応答の検証結果や居住者等へのアンケート調査結果をまとめた。

### Ⅲ.8.2.1　地震動特性評価

18.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 636 号）、建築研究所：建築研究資料（第 132 号）、4-1~4-3、2011
19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、4-1、2012

全体的な建築物の地震動特性を分析する上で基本となる本震の震度分布・最大加速度を示すとともに、非線形変位応答スペクトルを計算し、地震動特性の分析を行った。また、本震の長周期地震動特性について、被災地、首都圏、それ以外の大都市圏について分析を行った。

その結果、地震動特性について次のような特徴が確認された。

・本震は、Mw（モーメントマグニチュード）9.0 と日本の観測史上最大であること、
・震度 7 が宮城県栗原市で、震度 6 強が宮城県、福島県、茨城県及び栃木県に及ぶ範囲で観測されるなど、広範囲で強震動が観測されていること、
・被災地を中心に記録された地震動の変位応答スペクトルについては、周期 5 秒以下の範囲では兵庫県南部地震など過去の大規模地震で観測された地震動に劣らない非常に大きなレベルの応答変位を与える地震動であったこと、
・被災地及び首都圏において周期 4 秒以上の長周期成分は特別大きいものではないが、大阪湾岸など震源から遠く離れた地点で長周期成分が卓越した地域がいくつかあったこと、等。

詳しくは、上記の引用文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.2.2　建築研究所の強震観測結果

18.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 636 号）、建築研究所：建築研究資料（第 132 号）、4-4、2011
19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、4-2、2012

前項においては全体的な建物の地震動特性の分析を行ったのに対し、本項では、個別の建物における観測結果を詳細に分析するため、建研の強震観測網で得られた 60 箇所の強震観測結果をとりまとめ、一覧として示した。

また、これらのうち、東北大学人間環境系研究棟、いわき市庁舎、八戸市庁舎別館、建研、つくば市庁舎、八千代市庁舎新館、国立西洋美術館での各強震記録については個別に取り上げ、詳細な分析を行った。

その結果、次のような特徴的な事例の詳細が明らかになった。

・東北大学人間環境系研究棟については、地上 9 階建ての鉄骨鉄筋コンクリート造建物であるが、連層耐震壁が曲げ破壊するなど大破している。この建物での最大加速度は 1 階で 333gal、9 階で 908gal を記録した。観測記録を用いた解析により、建物の固有周期の伸びが確認されており、建物が損傷を受け、地震の継続中に固有周期が変化したと考えられる。

・つくば市庁舎については、地上 7 階建てのプレキャストプレストレストコンクリート造の免震建築物であり、強震計が、建物基礎上（免震層下部）、1 階（免震層上部）及び 6 階に設置されている。基礎上で観測された最大加速度は、免震層の直上に当たる 1 階では 3 割以下に低減されており、建物内の振幅も小さく抑えられている。免震装置の効果が強震記録に明瞭に表れていると指摘される。

その他の建物での分析結果など、詳しくは、上記の引用文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.2.3　強震観測に基づく建物挙動の解明

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、4-3、2012

東日本大震災では、建研の管理研究本館と都市防災研究センター棟をつなぐ渡り廊下のエキスパンションジョイント部で、ジョイント部材の破損や天井材の落下などの被害が発生している。こうした特徴的な被害をもたらした地震時挙動を分析するため、建研内の建物で観測された強震記録を用いて、エキスパンションジョイント部の相対変位の算出や、実大構造物実験棟への入力地震動の推定を行った。

その結果、本震時のエキスパンションジョイントの変位は、EW 方向で最大 12cm と推定されることや、実大構造物実験棟には地盤上での記録の 50%強程度の地震動が実質的に建物に入力したものと推定されることが確認された。

また、今回の地震の特徴的な被害である天井の脱落被害について、実際に天井脱落を生じた茨城県内の体育館における入力地震動の推定を行った。

その結果、本震時に天井の吊り元となる屋根面には 2G 程度以上の応答加速度が生じたことが推察され、こうした激しい揺れが天井脱落につながった可能性があることがわかった。

なお、天井脱落被害等についての分析結果は、その後の天井落下対策についての検討につながっており、平成 25 年国土交通省告示第 771 号などの建築物における天井脱落対策に係る技術基準が制定されている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.2.4　超高層建物等における地震応答の検証

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、4-4、2012

東日本大震災における超高層建物の振動特性の分析のため、建研が観測している 10 棟の超高層建物で得られた地下 1 階（又は 1 階）と上層階の加速度記録を用いて、固有振動数や減衰定数を推定し、検証を行った。

その結果、1 次固有振動数は、東北地方や関東地方に立地する建物においては、地震の最中に 5～15%程度変化していること、近畿地方に立地する建物では 2～3%程度変化していることなど、超高層建物の振動特性についての知見が得られた。なお、固有振動数の変化は、雑壁等におけるひび割れの発生などによると考えられる。

また、強震記録を観測した建物のうち、超高層鉄骨造建物を対象として、建物で観測された加速度記録を入力地震動とした地震応答解析を行い、これらの応答解析から得られる加速度と建物上部で実際に観測された加速度記録を比較して解析モデルの妥当性や減衰の影響の検証等を行った。

地震応答解析の結果、次のようなことが明らかになった。

・これらの建物の最大層間変形角の範囲はおおよそ 0.0005rad～0.008rad で、最大層間変形角が最も大きかった建物では頂部の最大変形が 130 ㎝以上となっている、

・宮城県の建物では、柱梁フレームの復元力特性の第 1 折点をわずかに超える応答であったが、それ以外の建物では、柱、梁、ブレースなどの主要な部材は降伏しないレベルの応答で、柱梁の塑性化の観点からは比較的余裕があった、

・観測記録の解析から得られた減衰の設定を用いた場合に、各層の最大応答加速度と最大応答変位が大きくなる傾向があり、観測記録の応答に近くなる、等。

なお、今回の長周期成分を含む地震動特性の分析や超高層建築物における地震応答についての解析結果については、その後の長周期地震動対策の検討にもつながっている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.2.5　超高層事務所建物の管理者･居住者へのアンケート調査

19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、4-5、2012

宮城県、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府に所在する超高層 9 棟の公共事務所建物を対象に、建物管理者や居住者へのアンケート調査を実施し、避難の判断、構造による被害程度の違い、揺れの大きさと居住者の行動・心理、揺れの大きさと室内被害などについてまとめた。

その結果、次のような結果が取りまとめられた。

･避難の判断について､建物管理者により全館避難、一部避難、避難指示なしなど、判断にばらつきがみられた。その原因としては、地震直後に避難の要否を判断する客観的な情報が少なかったことが挙げられる。今後は、強震観測データを利用して、建物の揺れの大きさや被害の程度などの建物の安全性に関わる情報を担当者に提供するような仕組みが必要である。

・構造による被害程度の違いについては、耐震構造の施設で免震や制振構造を採用した施設よりも全般的に被害が大きい傾向が見られた。

・揺れの大きさと居住者の行動・心理については、床加速度が 300gal、床速度が 70kine を超えると、「何も行動できない」という回答が多い一方、恐怖感や不安感に関しては、揺れの大きさとの関係があまり見られなかった。

･揺れの大きさと室内被害については､床加速度 250～300gal、床速度 60～80kine を超えると、吊り下げ物の落下、食器等の落下、家具の転倒などが発生しているが、キャスター付きの家具の移動については揺れの大きさとの関係はあまり見られなかった。

・地震対策について、家具の転倒防止や水・食料の備蓄などの備えをしていないという回答や、防災訓練に参加していなかったという回答が見られた。職員に対するより高い防災意識が求められる。

・地震後の事業継続に関しては、エレベーターの早期復旧の必要性が多く指摘された。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.8.3　地震による建築物等の被害

本節では、東日本大震災によって建築物等に生じた被害状況を調査した結果を、鉄筋コンクリート造建築物、鉄骨造建築物、木造建築物、免震建築物、宅地地盤・基礎、及び非構造部材に分けて取りまとめた。

### Ⅲ.8.3.1　鉄筋コンクリート造建築物

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 636 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 132 号)、5-4、2011

19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、5-2、2012

鉄筋コンクリート造建築物に生じた被害を分類し、1995 年兵庫県南部地震における被害の分類と比較、分析を行った。

その結果、兵庫県南部地震との比較では、柱や梁など部材レベルの被害としてはほぼ同じ被害が発生したが、建築物の階全体の層レベルでの破壊に関してはわずかに発生しただけで非常に少なく、特に現行耐震基準により設計された建築物ではそのような層レベルでの被害は見られていないことがわかった。その要因の一つに、今回の地震動の特徴として建築物が破壊に至るような周期帯のパワーが大きくはなかったことが挙げられている。

一方、地震動による重大な構造被害は比較的少なかったにもかかわらず、旧耐震基準で建設された RC 造建築物で非構造壁の破壊、内外装材の落下などにより継続使用できなくなるほどの大きな被害を受けた事例が見られた。既存建築物の地震時における機能維持のためには、耐震改修を行って構造安全性を確保するのみならず、非構造部材の損傷軽減も重要であることを改めて示したものと言える。

また、被災し、地震後に防災拠点として機能できなかった鉄筋コンクリート造建築物について、地震応答解析を行った。その結果、短柱のせん断破壊により大きな被害を受けた建築物について、実際の被害状況と整合する結果が得られ、腰壁・垂れ壁に構造スリットを設けた場合についての解析では、実在建築物のモデルに比べて変形の増加がほとんど見られず、靭性が期待できる変形角に収まることが確認された。

この結果を踏まえ、建築物全体の耐震改修工事が工期・予算等の点から困難な場合に、一定以上の強度と靭性能が確認された純ラーメン建築物では、あくまで応急的な処置ではあるが、腰壁及び垂れ壁に対する構造スリットを設ける工事を優先させ、短柱のせん断破壊を防止できれば、地震被害の軽減に効果的であるとの考え方を示した。

そのほか、鉄筋コンクリート造建築物の機能維持の観点から、非耐力壁の損傷に着目した参考となる研究成果を付録として示した。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.3.2　鉄骨造建築物

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第636号)、建築研究所:建築研究資料（第132号)、5-3、2011
19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第674号)、建築研究所:建築研究資料（第136号)、5-3、2012

鉄骨造建築物について、一般的な事務所建築物についての概括的な調査のほか、工場や倉庫建築物の類型と見られる学校体育館を対象に、旧耐震基準、現行耐震基準により設計された学校体育館の構造形式の比較被害の分類について、詳細な検討を行った。

その結果、次のような傾向が確認された。

・一般的な鉄骨造建築物の被害については、駐車場、倉庫、ショッピングセンター等のブレース構造建物において、ブレース材の座屈やその接合部の損傷等の被害が確認された。

・駐車場の露出柱脚の被害が観察されているが、この調査での範囲内では、鉄骨造建築物の柱、梁等の主要な構造部材に座屈や破断等の大きな被害は観察されなかった。

・学校体育館については、旧基準の学校体育館の構造被害を6種に分類し、そのうち鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断など大破に分類される被害は4棟で、大破の被害率としては1割弱であった。新潟県中越地震の同様の調査では 3 割程度であり、大破の被害率は新潟県中越地震の調査結果よりも小さいことがわかった。

・一方、現行基準の体育館の構造被害として、鉄筋コンクリート造の柱と鉄骨造の屋根接続部分でコンクリートの剥落やボルトの抜け出し等が比較的多く観察された。ただし、これらはほとんどが小破の被害区分であり、1 棟のみが中破と判定されており、旧基準と現行基準の被害率を比較すると、現行基準では小破以上の被害率が少なく、大破と判定されたものもなかった。

・体育館の非構造部材の被害に関しては、旧基準の体育館では、天井、照明の脱落、外壁の脱落、内壁の脱落、軒天の脱落、窓ガラスの破損など、比較的大きな被害が観察され、天井が広範囲に脱落したものが4棟あった。また、現行基準の体育館被害としては、天井の被害が比較的多くの体育館で観察され、天井被害に関しては、比較的大きな被害の割合は、現行基準による体育館の方がやや多くなっていた。

・また、こうした被害状況を踏まえ、鉄筋コンクリート造の柱と鉄骨造の屋根接続部分でのコンクリートの剥落やボルトの抜け出しの被害を軽減するための対策を挙げた。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.3.3　木造建築物

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第636号)、建築研究所:建築研究資料（第132号)、5-2、2011
19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第674号)、建築研究所:建築研究資料（第136号)、5-4、2012

木造建築物について、一般的な住宅についての概括的な調査のほか、比較的被害が大きかった地区の十数棟を対象に、構造仕様、耐震要素の配置などとその被害状況について詳細に調査した。また、壁量と被害の関係、被災住宅建築物に入力されたと考えられる地震波を用いた地震応答解析結果と被害の関係について分析を行った。

その結果、木造建築物の被害について次のような点を取りまとめた。

・木造建築物の地震動による被害は、宮城県大崎市、福島県須賀川市、栃木県那須町、茨城県常陸太田市、那珂市などで多く確認された。

・宮城県栗原市では震度7を記録したにもかかわらず木造建築物の被害は過去に震度7を記録した地震と比べて大きくなかった。

・造成宅地の地盤変状による被害が宮城県仙台市、栃木県矢板市などで大きく、被害棟数も多い。

・屋根瓦の被害などは宮城県よりもむしろ福島県、茨城県の方が多いという印象である。

・低湿地や水田を埋め立てたなどの宅地では、地盤変状が発生しなくても、地震動が増幅した可能性がある。
・被災した木造建築物の壁量等と被害状況の比較では、今回の調査対象物件は一部を除いていずれも残留変形が小さく、壁量充足率や偏心率と残留変形の相関関係は明確ではなかった。
・2 階建て木造住宅の地震応答解析の結果と被害状況の比較では、宮城県石巻市、茨城県那珂市、常陸太田市の被害状況は解析結果と概ね一致するが、宮城県古川市の被害状況は解析結果よりも小さいと言える。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.3.4　免震建築物

19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、5-5、2012

規模の異なる事務所等用途及び戸建て住宅用途の免震建築物のそれぞれについて被害の実態をまとめ、加速度計や変位計による免震建築物の応答記録により免震効果を検証した。

その結果、宮城県内の 16 棟及び山形県内の 1 棟の免震建築物の調査については、以下のような点が取りまとめられた。
・建築基準法等に基づく大臣認定を取得したものと告示に基づき建築主事等の確認によるもののいずれも、構造躯体に損傷は生じておらず、震度 6 弱を超える大地震に対しても免震構造として十分な性能を発揮したものと考えられる。
・地震時の免震層の変位を確認できるよう罫書き式の変位計を設置したものが 8 棟あったが、その多くで 20 ㎝程度の変形を確認しており、中には 40 ㎝程度の大きな変形を生じているものもあった。
・エキスパンションジョイントやその周辺のカバーの中には、地震時の免震層の水平変形に追従できずに、破損や脱落を生じたものがあった。
・地盤沈下によって免震建築物と周囲地盤の間に段差を生じたものがあった。
・免震部材のうち、特に鉛ダンパーにおいて大きな断面欠損と見られるひび割れが生じて実際に交換されたものもあった。
・一部の免震部材で、取り付け部等の表面にさびなどが生じているものがあった。また津波被害を受け、免震層が冠水した建築物もあり、これらの建築物において免震性能が低下したという報告はないが、適切な維持管理が必要と考えられる。

また、ダンパーやエキスパンションジョイントの一部に発生した損傷に関して、地震後に日本免震構造協会を中心に行われた検討結果を参照しつつ今後の対策について検討を加えた。

またこのほか、免震建築物の利用者に対するアンケート調査も行い、その結果をまとめた。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.3.5　宅地地盤・基礎

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 636 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 132 号)、5-5、2011
19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、5-6、2012

利根川流域等の液状化被害のほか、宮城県・福島県・栃木県における造成宅地等の被害についての調査結果をとりまとめた。また、地盤の液状化に関して、千葉港及び夢の島における鉛直アレイ強震記録を対象に応力解析を行うとともに、現行の建築基礎構造設計指針の液状化判定についての検証を行った。

被害状況の概要については、以下のような点を取りまとめた。
・利根川流域及び東京湾岸区域においては、液状化に伴う噴砂や地盤変状などの広域的な被害の発生が確認された。傾斜の大きな建築物も見られたが、その場合でも基礎部分に関しては調査した範囲では概観上は基礎のひび割れ、亀裂等は見られなかった。
・高台となる造成宅地を中心に、地盤の滑り出し等の変状を伴う大きな被害が見られた。また、過去に被害を生じた造成地で再び変状が発生した地域も見られた。

また、液状化被害の分析に関しては、次のような点を取りまとめた。
・今回の地震による東京湾岸の地震波形記録は、過去の液状化地盤上のそれに比べて格段に継続時間が長く、液状化発生時刻の前後で、波形の様相（振幅や周期）が大きく異なっている。
・今回の地震における千葉港及び夢の島の液状化に関する地震動の等価繰り返し回数は20－60程度で、1987 年千葉県東方沖地震におけるそれの 2 倍程度

と推察される。ただし、いずれの地点・地震でも等価せん断応力比が小さく、液状化強度曲線を下回ったため、液状化に至らなかった。また、解析で得られた地震のマグニチュードと液状化に関する地震動の等価繰り返し回数の関係は、既往の提案と整合しているように見えるが、今後さらに多面的な検討が必要である。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

#### Ⅲ.8.3.6　非構造部材

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 636 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 132 号)、5-6、2011
19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、5-7、2012

宮城県、福島県、茨城県の 3 県において調査を実施した各種の非構造部材の被害概要の個別事例のほか、学校体育館を対象とした天井の被害について分析を行い、次のような点を取りまとめた。

・外装材・帳壁については、損傷した鉄筋コンクリート造壁の外壁タイルの剥落、ラスモルタル外壁の剥落、挿入筋構法による ALC（軽量気泡コンクリート）パネル外壁の脱落等が多く確認された。

・開口部のガラスについては、硬化性パテどめしたはめ殺し窓のみならず、グレイジングガスケット(ガラスをサッシにはめこむ際にゴム状のパッキンを用いる構法）を用いたガラス、ガラススクリーン工法（枠を使用せずガラス自体で外壁や間仕切りを構成する方法）のガラスの被害も確認された。屋内運動場について耐震基準により被害の傾向を見たところ、旧耐震基準によるものの方が被害程度が大きくなる傾向にあることが確認された。

・体育館で被害を受けた天井については、木下地天井、在来工法による天井、システム天井（ユニット化された天井)、波板の鋼板を天井とするものなど様々で、損傷程度は、端部が破損する程度のものから全面的に脱落するものまで確認された。構造体や天井の吊り元である屋根の水平ブレースあるいは支承部に目立った損傷が確認された場合に、いずれの天井でも被害程度が大きくなる傾向が見られた。

・内装材については、体育館等のアリーナ部の内壁や舞台上部の内壁の破損・脱落が確認された。

・非構造部材の被害では、比較的古い構法によるものが被害を受けているのが確認された。また比較的高所に設置された非構造部材の破損・落下も確認された。

なお、こうした被害の発生状況を踏まえ、その後、天井等の落下対策についての検討が進められ、平成 25 年国土交通省告示第 771 号などの建築物における天井脱落対策に係る技術基準の制定につながっている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.4　津波による建築物の被害

国総研では、東日本大震災の津波によって建築物等に生じた被害状況を調査した。また、被害形態の分類や被害発生メカニズムの分析を行うとともに、鉄筋コンクリート造建築物、鉄骨造建築物、木造建築物の構造種別ごとに被害状況の分析を行った。以下に調査及び分析結果について示す。

#### Ⅲ.8.4.1　被害概要

18.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 636 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 132 号)、6-1~6-6、2011

津波による建築物等の被害調査に当たり、まず事前調査として、津波に関する用語の定義や浸水深等の推定方法を示した。また、津波荷重・耐津波設計に関する海外規準の整理、調査対象建築物の特定などを行った。

津波荷重や耐津波設計に関する基準については、国内では、内閣府から出された「津波避難ビル等に関するガイドライン」において津波荷重の設定方法が示されているが、この方法と、米国連邦危機管理局が定めている「津波からの避難のための構造物の設計ガイドライン」における方法の違いについても示した。

現地調査では、岩手県山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市、宮城県気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町などにおいて計約 80 棟の建築物や工作物等についての調査を行い、調査建築物等の地理情報や被害状況の記録、建築物及び構造躯体等の採寸、浸水深の計測等を行った。また、それらの結果に基づいて被害形態の分類を行い、建築物の移動や転倒など津波被害特有の被害発生メカニズムについても考

察を加えた。

特徴的な被害としては、鉄筋コンクリート造建築物については、1 階の崩壊、転倒、移動・流失、洗掘による傾斜、壁や開口部の破壊、漂流物の衝突等の被害が見られた。鉄骨造建築物では、移動・流出、転倒、崩壊、残留変形、内外装材の破壊・流出、開口部の損傷、漂流物の衝突等の被害が見られた。木造建築物については、浸水深によって被害形態の分類を行った。(構造種別ごとの調査結果の詳細についてはⅢ. 8. 4. 2 からⅢ. 8. 4. 4 に記載。)

また、現地調査結果から数例を選んで、浸水深から推定される津波波力と建築物の構造躯体等の採寸結果から推定される建築物の耐力とを比較検討し、内閣府のガイドラインの設計手法についての考察を行った。

なお、その後、津内避難ビルの建築基準等に関する調査研究が引き続き実施され、平成 23 年 12 月の国土交通省告示「津波に対して安全な構造方法等を定める件」の制定につながっている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.4.2　鉄筋コンクリート造建築物

19.国土技術政策総合研究所 : 国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、6-2、2012

現地調査の結果、東日本大震災では、津波によって鉄筋コンクリート造建築物にも様々な被害が発生したことが判明したが、多くの鉄筋コンクリート造建築物は津波の後も残存しており、特に建設年代が比較的新しいと推測される建築物ではその傾向が強かった。残存した鉄筋コンクリート造建築物には構造躯体の顕著なひび割れ等は見られず、非構造壁なども大きな損傷を受けずに残っているものが多かった。ただし、そのような建築物においても、開口部の窓ガラスやドアのほとんどは津波によって破壊されていた。

一方、浸水深の大きい津波浸水域では、鉄筋コンクリート造建築物の倒壊、1 階の層崩壊、転倒・移動、地盤の洗掘、壁の面外破壊、漂流物の衝突等の被害が見られた。それぞれの被害の特徴として、次のような点がまとめられた。

・倒壊した事例については、2 階建て柱梁フレーム構造の建築物が、梁間方向に津波荷重を受けて完全に崩壊した事例などが確認されたが、3 階建て以上の建築物では倒壊の被害が確認されなかった。

・層崩壊については、建築物の 1 階の柱が、柱頭・柱脚で曲げ破壊し、層崩壊した事例が複数見られた。

・転倒の被害は 4 階建てまでの建築物で見られた。転倒した建築物においては、いずれも最大浸水深が建築物の高さを上回っていた。また、転倒した建築物は直接基礎のもののみならず、杭基礎のもので杭が引き抜かれているものも見られた。転倒した建築物は比較的開口が少ないものが多く、同程度の規模の建築物でも開口が大きい場合には転倒が生じていないことから、外壁の開口の大きさが転倒に大きく影響したものと考えられる。また、各階の開口の上端から天井までの長さが長い建築物ほど大きな浮力が働き、転倒が生じやすくなると考えられる。

・洗掘については、津波が作用した際に、建築物の隅角部に強い水流が作用し、洗掘による大きな穴が開けられた跡が多く見られた。直接基礎による低層建築物では、洗掘による穴に建築物が倒れ込み傾斜したものや、洗掘に加えて浮力と大きな波圧を受け流されたものも確認された。

・壁の面外破壊については、建築物の津波の作用面の開口よりも、反対側の水流が抜ける側の開口が小さい場合、小さい開口に水流が一気に集中し、その周辺の非構造壁に大きな圧力を作用させ、コンクリートにひび割れが生じて壁が外側に大きくはらむ事例が見られた。

・漂流物については、流木、自動車、コンテナ、船舶など、様々な漂流物が建築物に衝突したものと思われ、これらにより、天井、窓ガラス、ベランダの手すりなどの脱落を引き起こした建築物が多数見られた。

そのほか、いくつかの鉄筋コンクリート造建築物について、建築物の耐力を推定し、浸水深と被害状況との関係から建築物に作用した津波荷重を推定した。建築物の保有耐力が津波荷重を十分上回る結果となった事例では、津波来襲後も建物が残存した状況と整合しているが、保有耐力が津波荷重を下回っているにもかかわらず建物が残存している事例も見られた。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.4.3　鉄骨造建築物

19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、6-3、2012

現地調査の結果、津波波圧を受けた鉄骨造建築物は、早期に外装材が流され、津波の大きな波圧を受けなかったために残存したと考えられるものが多く見られる一方で、崩壊、転倒、移動、流出したものも相当数確認された。これらは外装材が流される以前に大きな波圧を受けたものと推測される。

津波による鉄骨造建築物の被害の形態については、柱脚もしくは柱頭の破壊による移動・流出、転倒、1 階の層崩壊、構造骨組の大きな残留変形、内外装材の破壊と流出、開口部まわりの損傷・破壊、漂流物の衝突等が見られた。各被害の特徴として、次のような点がまとめられた。

・柱脚の破壊による移動・流出については、鉄骨造の露出型柱脚部において、アンカーボルト、ベースプレート、若しくは柱とベースプレートとの溶接部の破断により、建築物が移動・流出する被害が見られた。敷地には基礎と柱脚部の一部が残されているが、建築物自体は敷地外へ移動して行方がわからないような状態のものが多い。

・柱頭接合部の破壊による移動・流出については、根巻きや埋め込み柱脚などで柱脚部の耐力が大きい場合にこのタイプの破壊になると考えられる。

・転倒については、基礎が一体のまま生じた建築物全体の転倒と、1 階の部分的な崩壊を伴う転倒が見られた。

・構造躯体が崩壊した被害例としては、1 階の層崩壊、部分的な崩壊があった。

・構造躯体のみが残存する鉄骨造建築物では、若干の傾斜が確認されるものが多い。特に山形ラーメン架構では、大きな残留変形を生じながらも倒壊には至らなかった例が比較的多く見られた。

・内外装材の破壊・流出については、ALC パネルなどの外装材がほぼ全面的に破壊され、流出しているが、構造躯体としての鉄骨造骨組みは残存している例が多く見られた。

・また、建築物の内部に津波が侵入し、作用面側と反対側の開口部や妻面が水流の流出口となったために大きく損傷・破壊したと考えられる被害例や、津波の波圧や漂流物の衝突によると考えられる柱等の構造躯体及び非構造部材の大きな変形も見られた。

このほか、残存する鉄骨造骨組みの耐力を算定し、建築物に作用した津波荷重の推定を行っており、その結果、最大浸水深が 10m を超える地域では、計測最大浸水深相当の静水圧荷重が片側から作用するような状態にはならなかったことなどが推察された。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.4.4　木造建築物

19.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料（第 674 号)、建築研究所 : 建築研究資料（第 136 号)、6-4、2012

現地調査の結果から、木造建築物の津波による被害は浸水深とある一定の範囲で関係があると考えられる。調査した範囲で確認された最大浸水深と被害形態との関係について、以下のように取りまとめた。

・最大浸水深が 1 階窓まぐさ程度（約 1.5～2m）以下の場合は、ほとんどの木造建築物が残存していた。

・最大浸水深が 1 階高さ程度（3～4m）では、多くの木造建築物は流出していたが、残存している事例も少数ながら確認され、それらについては次のような特徴があった。

大規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物は津波波力が軽減され、構造仕様に関係なく残存する事例が見られた。

小規模な建築物が残存した場合、その後方に建つ木造建築物では、構造仕様が優れたものが残存する事例や、低層建築物が列状に残存する事例などが見られた。これも後方に建つ木造建築物に作用する津波波力が軽減されたためと考えられる。

津波波力を軽減する建築物がない場合でも、残存した木造建築物が複数確認されている。その特徴としては、津波の作用方向に対し平面全体を通して開口が多い場合、津波の作用方向に面する建築物の隅角部の柱や外壁面を流出しつつも残存する場合、1 階を鉄筋コンクリート造等とした立面混構造建築物の場合などがあった。

また、3 階建ての木造建築物では浸水深が高いにもかかわらず残存している例が確認され、木質プレハブ構造で構造耐力が極めて高かった可能性がある。

・なお、最大浸水深が 1 階階高を超える（4m 超）場合では、木造平屋、2 階建てともにほとんどの木造建築物が流出する可能性が高い。被害形態としては、基礎と土台のみ残し上部構造が流出した例や基礎のみ残る例が多数確認された。

一方、傾斜地における木造建築物の被害形態も最大浸水深と関係していると考えられるが、傾斜地が有する地形による影響があり、最大浸水深と被害の関係は平野部よりも複雑であると考えられる。

そのほか、木造建築物の耐力を推定し、被害との関係についての検討を行うとともに、これらの調査結果や平成 23 年の国土交通省告示「津波に対して安全な構造方法等を定める件」を踏まえて、木造住宅の耐津波設計法について提案を行った。そのポイントとして次のような点などが挙げられている。

・水深係数については、木造用の数値が現段階では設定されていないので、他構造と同様に遮蔽物や海岸からの距離に基づいて 1.5 又は 2.0 を採用すること。

・浸水する階より下の階では床下に空気溜まりができてこれが浮力となって作用することから、浮力を考慮して基礎を含めた建物重量を確認すること、等。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.8.5　火災による建築物の被害

本節では、東日本大震災による火災被害の全体的な発生状況等について取りまとめるとともに、地震火災（津波浸水範囲以外で発生した火災）、津波火災（津波浸水範囲内で発生した火災）、防火設備等の被害についての分析を行った。

### Ⅲ.8.5.1　被害概要

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、7-1、2012

東日本大震災では、地震及び津波に関連する多数の火災が発生した。特に津波被害地域において大規模延焼火災が多数確認されており、今回の震災における火災被害の大きな特徴となっている。その一方で、津波被害のない地域においても多数の火災が報告されている。ここでは、火災に関する消防庁などの公表資料や現地調査の結果などから、火災被害の全体的な状況をまとめた。

火災被害が多く発生している地域については、津波浸水被害のあった地域、東京都区部及びその周辺、千葉市、横浜市などの都市部の地域、それ以外では概ね震度 5 強以上の地域となっていた。

火災の出火率については、過去に最大震度 7 を記録した新潟県中越地震との比較を行った。その結果、震度が大きい地域ほど出火率が高くなり、特に震度 6 弱以上の地域で出火率が急に大きくなる傾向は、中越地震と同様であった。

しかしながら、津波被害があった市町村を除くと、今回の火災の出火率は中越地震時の 1/4 程度、阪神淡路大震災時の 1/12 程度となっていることがわかった。このように過去の地震と比べて小さな値を示していることについては、今後の詳細な分析が必要とされている。

一方、津波被害のあった市町村では全火災 286 件のうち 172 件（60.1%）が報告されている。これらの火災が全て津波浸水範囲で発生したとみなすと、出火率は極めて高くなる。なお、津波浸水範囲内の火災については、一つの出火点で発生した火災が津波により流されたがれきとともに離れた場所へ運ばれて新たな出火点として延焼した場合など、火災件数の数え方が難しい場合があることに留意する必要がある。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.5.2　地震火災の発生状況の分析

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、7-2、2012

地震火災（非津波）（津波浸水範囲以外で発生した火災）について、岩手県奥州市、宮城県仙台市、登米市、大崎市、東京都足立区などにおける現地調査や現地消防本部など関係機関からの情報収集により、その特徴について分析を行った。

その結果、地震火災の特徴として、次のような点がまとめられた。

・火災発生時刻については、本震直後（3 月 11 日 14:46 から同日 18 時）に多数発生した。

・本震直後を除けば、本震当日及び翌日の 18 時から 24 時の時間帯に火災の発生が集中した。

・消防活動は概ね有効に機能し、全ての火災は火元の 1 棟から数棟程度の延焼で収まった。特に、鉄筋コンクリート造や鉄骨造などの不燃系建築物の場合は、すべて 1 棟で収まっている。

・出火原因として、地震による直接の影響よりも、復電や地震後の住民の行動が原因となった火災が多い。例えば、電気ストーブのコードが復電後に短絡した事例や、停電の最中に灯りをとるために使用し

たロウソクが何らかの要因で転倒した事例などがある。

こうした結果を踏まえ、今後の被害軽減に向けて、次のような点などについて指摘している。

・復電時の出火防止対策など、どのような防火対策が有効に機能したのかを分析し、今後一層普及させること。

・地震後の住民の行動で多くの火災被害が発生していることから、地震後の防火対策の検討や出火危険のある部位・設備等のチェックマニュアル等の整備が望まれること。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.5.3　津波火災による被害状況の分析

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、7-3、2012

津波火災（津波浸水範囲内で発生した火災）について岩手県野田村、宮城県石巻市、亘理町、仙台市などにおける現地調査や現地消防本部など関係機関からの情報収集により、その特徴について分析を行った。

その結果、津波火災の特徴として、次のような点を取りまとめた。

・今回の地震では、津波浸水地域で大規模に延焼する火災が発生し、大火とされる 3.3ha 以上の延焼面積となった火災区域は、岩手県宮古市（田老）、山田町（中心部）、大槌町（中心部）、宮城県気仙沼市（鹿折地区）、気仙沼市（南西岸部）、石巻市（門脇地区）、名取市（閖上地区）の 7 区域に及ぶ。最も大きな火災区域では 17.6ha に達している。

・大規模延焼が発生した火災区域では、津波により流された倒壊家屋や車両等が延焼を媒介している。

・津波火災の出火率は 12.04 件/1 万世帯であり、地震火災の出火率より極めて高い。

・津波で浸水した車両等の出火が多い。

また、津波火災が大規模延焼火災へ進展する過程については、次のようなメカニズムが考えられている。

・津波により倒壊建物や車両ががれきとなって内陸部へ押し込まれる。

・標高が大きく変わる山際部分まで浸水し、先端部分でがれきが堆積する。

・何らかの要因で出火し、堆積したがれきが切れ目なく延焼拡大。

・状況により山林火災へ発展。

また、その他にも典型的な延焼火災として、海岸近くの工場・倉庫群の集団火災も確認されている。

以上のように、津波浸水範囲では高い頻度で火災が発生しており、津波火災の発生機構については更に詳細な検討が必要であるとともに、被害を軽減する対策の検討が必要である。例えば、津波から避難した先の建築物において漂流物の衝突等により火災が発生し、再避難の必要が生じた事例があり、津波浸水範囲に含まれることが予想される津波避難ビル等の避難安全上重要な施設は、周囲で火災が発生する可能があることを考慮する必要がある。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.5.4　地震動による防火対策・設備の被害

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、7-4、2012

建築物の構造体には大きな被害が見られない場合でも、防火区画を構成する壁が破損したり、防火戸が枠から外れた例など、防火区画、防火設備等の被害について、日本火災学会等の報告書や関係機関の調査結果から情報収集を行った。

その主な結果は以下のとおりである。

・防火区画をケーブルが貫通する部分で、壁に開いた穴とケーブルとの隙間を埋める防火性能を有する充填材が外れて、隙間が生じている事例があった。

・防火戸の開閉障害、防火シャッターの落下などの事例があった。

・消防用設備の被害については、スプリンクラー設備の被害が多く、被害の部位はスプリンクラーヘッドと配管に集中していた。スプリンクラーヘッドの破損は、地震によるヘッドの先端部と天井ボードとの接触が原因と推定される。

以上のように、建築物の構造体には大きな被害が見られない場合でも、防火区画・防火設備や消防用設備に大きな被害が発生している場合があり、被害の実態を把握するとともに、地震後にも有効に機能することが期待される場合に適切な耐震対策が必要であることが明らかになった。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.8.6　住宅再建・地域復興への動向

本節では、被災者の避難から仮住居、本格再建に至る過程を住宅再建プロセスとして捉え、各段階における状況と対応策について概括している。

### Ⅲ.8.6.1　応急仮設住宅等

18.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 636 号）、建築研究所：建築研究資料（第 132 号）、3.3.2、3.7、2011
19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、8.1~8.2、2012

大規模災害時において被災者の生活再建には応急的な住まいの場の確保が重要であるため、東日本大震災における応急仮設住宅等及び公営住宅等の空き家の提供について、国・県・関係団体の公表資料や関係者へのヒアリングにより調査した。応急仮設住宅等は、応急建設住宅、応急借上げ住宅（民間賃貸住宅を都道府県が借り上げて供与）に分類される。これに基づき、供給フレームを整理するとともに、被災３県（岩手県、宮城県、福島県）別の特徴を分析した。（第 636 号、第 674 号）特に、甚大かつ広域的な建物被害を踏まえた多様な供給フレーム（被災者自ら探した物件の契約切替え等、他都道府県における民間賃貸住宅の借上げ、地元事業者等による応急仮設住宅の公募・建設）の動向について整理した（第 674 号）。その結果、3 県の既存賃貸住宅の戸数、震災後の地元工務店等の施工能力により、供給の実態に差異があることが明らかとなった。

また、３県別に避難者数と応急仮設住宅等への入居状況の関係についての分析を行った。その結果、被災状況、供給方法の違いにより、供給・入居時期が異なることが把握された。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.6.2　被災後の住宅・居住状況

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、8-3、2012

大規模災害時における適時適切な住宅再建支援には被災後の住宅確保の実態把握が不可欠であるため、国等の公表資料等によって住宅確保の実態について調査した。調査結果の整理にあたり、応急的住まい（応急仮設住宅等）、恒久的住宅（自宅再建、民間賃貸、災害公営住宅）に区分し、被災３県、３県以外別に戸数ベースで整理を行った。また、応急的住まいの確保状況を、避難先（避難所、旅館・ホテル、親戚・知人宅）毎に、被災３県、３県以外別に、人数ベースで推移を整理・分析した。その結果、住まいの確保の動向の傾向を定量的に把握することができた。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

### Ⅲ.8.6.3　住宅再建への取組

19.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 674 号）、建築研究所：建築研究資料（第 136 号）、8-4、2012

広範な被災エリアと多様な地域性に照らして、住宅再建に関して様々な取組みが行われていることから、地域工務店へのアンケート、関係者ヒアリング、会議での意見交換等により、被災地域の住宅生産体制、住宅生産関係者の被災直後から復興段階に至るまでの活動について調査し、とりまとめた。

また、国総研が技術指導として参画した平成 23 年度以降の国土交通省住宅局の直轄調査「災害公営住宅の計画･供給手法に係る検討業務」等において、全体の供給計画、個別地区での基本計画の作成等が、多くの市町村で実施された。その成果を踏まえて、多くの地区で災害公営住宅の供給がなされた。

自力住宅再建に係る数々の試みのうち、官民連携の取組の一つである「地域型復興住宅」についての取組が、被災３県で行われた。「地域型復興住宅連絡会議」（その後、「地域型復興住宅推進協議会」に再編）は被災３県の建築士事務所協会が中心となり、行政・設計・施工・資材・木材の各分野の委員で構成された。国総研は同会議に学識経験者として参画した。同会議での検討成果は、「地域型復興住宅／設計と生産システムガイドライン」（http://www.hukkoujutaku.com/suisin/download/guideline.pdf）としてまとめられた。ガイドラインに基づいて、大工・工務店、設計事務所、林業者・製材業者等からなるグループが形成され、「地域型復興住宅」が供給されている。

詳しくは、上記文献を参照されたい。

## Ⅲ.9　公園緑地および海岸林の被害と減災効果

2.国土交通省国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.215~220、2013）

東日本大震災では、東北から関東地域の沿岸部にある公園緑地及び海岸林において、津波により甚大な被害が生じたが、津波により発生する被害や津波被害に対する減災効果については明らかにされていないことが多い。

そのため、公園緑地や海岸林における津波の減災効果を明らかにするとともに海岸林再生にあたっての樹木育成目標を整理することを目的として、減災効果を確認するための津波被害実態調査と海岸林の被害要因を把握するための被害樹木及び植栽基盤調査を行った。

その結果、公園緑地等における主な津波の減災効果として、以下を確認した。

①樹木・樹林

・樹林による漂流物の阻止の効果について、船舶や車両、流木等の捕捉状況により確認した。

・海岸林による波力の減衰効果について、海岸林の有無に対する建物の損壊状況により確認した。

・樹林地による火災の延焼防止効果について、樹林地での焼け止まり状況により確認した。

②緑地内の高盛土

・避難場所となる効果について、高盛土に設置された展望台が避難場所となった事例を確認した。

また、津波被害を受けた海岸林におけるマツ類の倒伏実態調査により把握した樹木の被害形態別の樹木形状（地上部）、根系形状、地盤高及び地下水位等のデータを踏まえると、津波の浸水高 20m を想定した場合の倒伏被害に強いマツの育成目標としては、樹高 20m 以上、胸高幹周 120cm 以上、形状比 70 以下、樹冠長率 30%以上が設定された。

この結果は、「東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針」（平成 24 年 3 月 27 日・国土交通省都市局公園緑地・景観課）[1]に反映された。

詳細は上記文献を参照されたい。

参照文献

1）国土交通省都市局公園緑地・景観課、東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針、平成 24 年 3 月 27 日、国土交通省 HP、http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000097.html

# Ⅳ.研究成果編

# Ⅳ.1 地震・津波の外力・影響の設定に関する共通的検討

## Ⅳ.1.1 設計地震動の分析・検討の全体像

東北地方太平洋沖地震で得られた多数の強震記録の分析結果をもとに、各種構造物の耐震設計に用いる設計地震動の改定に関する検討が行われた。いずれの分野でも、日本観測史上初のマグニチュード9級の巨大地震の発生を受け、今後も同規模の地震が発生する可能性を考慮して分析・検討が進められた。

ダム分野では、ダム基礎における最新の距離減衰式として、従来の式（H20式）の改良が行われた。気象庁マグニチュードの適用限界を超える巨大規模の地震にも一貫して適用できるよう、マグニチュードの定義を気象庁マグニチュード $M_J$ からモーメントマグニチュード $M_W$ に見直し、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動およびその余震を考慮した H23 式が提案された。改良された H23 式は、Mw9.0 の東北地方太平洋沖地震での観測記録を精度良く再現でき、その他の地震での観測記録をも精度良く再現できるものとして、設計地震動の設定方法の主要な一つの手段として運用されている。詳細はⅣ.4.3 で述べる。

道路分野では、道路橋示方書のレベル２地震動（タイプⅠ:プレート境界型の大規模な地震による地震動）の見直しが行われた。道路橋の設計地震動は、標準加速度応答スペクトルに地域別補正係数を乗じることで設定される。今回の改定では、東海・東南海・南海地震及び日向灘地震が連動する場合など、震源域が連動する影響を考慮した上で、強い地震動が推定される地域では地域別補正係数を 1.2 とした。また、動的解析による耐震性能の照査に用いるため、振幅調整した加速度波形を地盤種別ごとに3波形ずつ示した。これらは平成15年十勝沖地震と平成23年東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震記録をもとに作成しており、従来よりも大幅に継続時間が長い特徴を有している。本件は既報であり、Ⅳ.5.1 において概説する。

建築分野では、長周期地震動の評価手法の改良と、それを踏まえた長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法の検討が行われた。国土交通省住宅局は、平成 22 年 12 月に、「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」を取りまとめ、地震発生当時、パブリックコメントを実施しているところであった。試案で示された長周期地震動の評価方法の妥当性を東北地方太平洋沖地震の強震記録により検証を行い、同手法の見直しを行った。改良された手法を用いて、内閣府が公表した南海トラフ４連動地震などの震源モデルに基づいて、長周期地震動のシミュレーションを行うとともに、それら地震動の建築物への影響を示した。以上の成果は、国土交通省住宅局が平成 27 年 12 月に公表した「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案について」に盛り込まれ、平成 28 年 6 月に地方公共団体等への通知が行われている。本件も既報であり、Ⅳ.8.2 において概説する。

## Ⅳ.1.2 地盤の液状化に関する検討の全体像

Ⅲ編でも述べたとおり、東北地方太平洋沖地震では地盤の液状化でも多くの被害が発生している。特に河川堤防、下水道管きょや宅地、道路平面部の被害が多く、道路橋や港湾・空港施設にも被害が発生している。ただし、沿岸部では津波により液状化の痕跡が失われている場合が多く、液状化の影響の全容は不明である。

液状化による被害が多発した原因として、造成年代、地震動の継続時間や余震の影響が考えられたことから、国土交通省では「液状化対策技術検討会議」を設置し、各分野に共通する技術的事項を検討・整理した。具体的には、現地踏査等により関東地方の液状化発生箇所を抽出するとともに、代表的な液状化判定法である FL 法による液状化判定を実施し、液状化発生箇所で「液状化しない」と判定されるケース（見逃し）が無かったことから、現行 FL 法を直ちに見直す必要性は低いことが確認された [1]。この結果を踏まえて、平成 24 年2月に改訂・改定された河川構造物の耐震性能照査指針や道路橋示方書Ⅴ耐震設計編においては、FL 法による液状化判定の見直しは行われなかった。

下水道分野では、管きょの甚大な被害を受けた検討の結果、下水道地震・津波対策技術検討委員会において、締固め工法については所定の締固め度を得ることが困難な場合があることが指摘された。そこで、試験施工を実施し、締固め工法の適用範囲を明確にするとともに、現場で簡易に締固め度を管理する手法が提案され、下水道施設の耐震対策指針と解説-2014 年版-に反映されている。詳細はⅣ.3.2.1 で述べる。

河川分野では、液状化しやすい砂質土で構成された堤体が、圧密沈下によって軟弱な基礎地盤にめり込み、その部分が液状化して被災する現象が見られた。この

現象を河川堤防の耐震性能照査や耐震点検・対策において考慮するために、河川堤防の耐震性能照査指針、レベル２地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル、河川待望の耐震対策マニュアルがいずれも改定されている。

道路分野では、道路平面部の液状化被害により通行障害が発生したことから、液状化被害の程度と液状化層厚、舗装厚、地震動強度、埋立履歴や埋設物との相関等を調べた。その結果、十分な舗装厚を確保すれば液状化被害を抑制できること等が明らかとなっている。詳細はⅣ.5.3 で述べる。

都市分野では、東京湾沿岸部の埋立地などで広範囲な液状化被害が発生したことから、既に住宅が建て込んだ市街地に対して液状化対策を実施するために、道路などの公共施設と宅地を一体的に行う液状化対策の検討を進めた。市街地に適用可能な工法として、地下水位低下工法や格子状地中壁工法の効果・影響を評価するための簡易計算・評価シートを開発し、実際に被災自治体でもこれらの工法が液状化対策として採用されている。また、被災地を含む全国の自治体における液状化対策の検討を支援することと目的として、宅地の液状化被害可能性判定計算シート、宅地の液状化マップ作成支援ソフトを開発している。詳細はⅣ.10.3 で述べる。

参照文献

1) 国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録－、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.81-83、2013 年１月

## Ⅳ.1.3　津波防災地域づくりに関わる津波外力設定等の検討

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.53~57、pp.118~141、pp.142~167、2016.6

中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」では、「今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要がある」として、「一つは、（中略）発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」（レベル２津波）、「もう一つは、最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」（レベル１津波）が示された。

レベル１を超える津波に対しては、ハード・ソフト施策を総動員する「多重防御」による「減災システム」が必要となる（図-Ⅳ.1.3.1）。多重防御による減災システム構築を行う上で、必要となるのは、「①レベル 1 津波・レベル２津波外力の設定、②陸地における津波ハザード評価・氾濫流制御、および③避難・危機管理支援、土地利用等による安全性向上・減災方策等である。

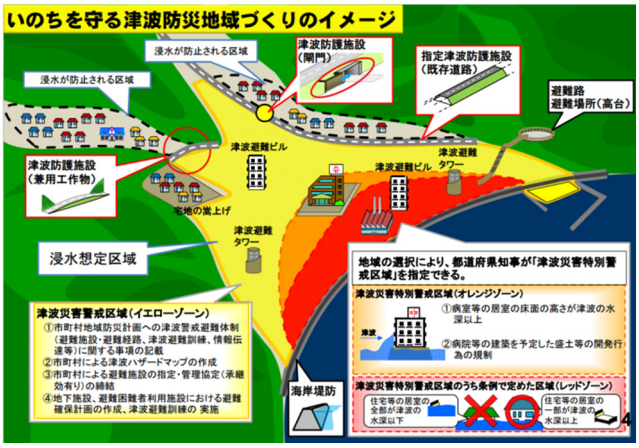



**図-Ⅳ.1.3.1　津波防災地域づくりのイメージ（出典：第２回津波避難対策推進マニュアル検討会資料）**

これらを実現するために、国総研海岸研究室では、国土交通省水管理・国土保全局海岸室と連携し、設計津波水位と最大クラスの津波の設定（Ⅳ.1.3.1）、建築物及びその利用への影響判断に用いる基準水位の設定法（Ⅳ.1.3.2）、特定開発行為にかかわる技術的基準の検討（Ⅳ.1.3.3）を行った．また、津波予報における予想波高に応じた津波浸水域検索システムの開発（Ⅳ.1.3.4）を行った。

Ⅳ.1.3 で行った研究の成果を表-Ⅳ.1.3.1 に示す。

**表-Ⅳ.1.3.1　本研究の成果**

| | |
|---|---|
| H23.7 | 津波に対する堤防高さの設定に必要な設計津波の水位の設定方法について取りまとめ。（海岸関係省庁課長より通知） |
| H23.7 | 平成23年東北地方太平洋沖地震による津波対策のための津波浸水シミュレーションの手引き（国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室） |

| | |
|---|---|
| H24.1<br>H24.7 | 津波防災地域づくりに係る技術上の基準に関する研究成果(基準水位, 特定開発行為の技術基準)が、津波防災地域づくり法第３条の「基本指針」、第７５条の技術的基準、施行規則に反映 |
| H24.2 | 津波浸水想定の設定の手引き（国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室） |

### Ⅳ.1.3.1　設計津波水位と最大クラスの津波の設定

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.54~56、pp.118-120、2016.6

国総研海岸研究室は、国土交通省水管理・国土保全局海岸室とともに、比較的頻度の高い津波、すなわち設計津波の対象津波群の設定と設計津波に対して必要とされる堤防高を設定する方法及び、最大クラスの津波の設定方法とその津波に対するハザードの設定方法を整理した。

設計津波は地域海岸ごとに設定する。「湾の形状や山付け等の自然条件」、「文献や被災履歴等の過去に発生した津波の実績津波高さ及びシミュレーションの津波高さ」から、同一の津波外力を設定しうると判断される一連の海岸線に分割し、地域海岸を区分する。地域海岸ごとに横軸に津波の発生年、縦軸に海岸線における津波高さをとりグラフを作成する（図-Ⅳ.1.3.1.1）。作成したグラフから一定の頻度（数十年から百数十年に一度）で到達すると想定される津波の集合を対象津波群として選定する（レベル１）。堤防等の天端高は、設計津波の水位を前提として、総合的に考慮して海岸管理者が適切に設定する。また、最も津波高が大きい津波を最大クラスの津波として設定する。

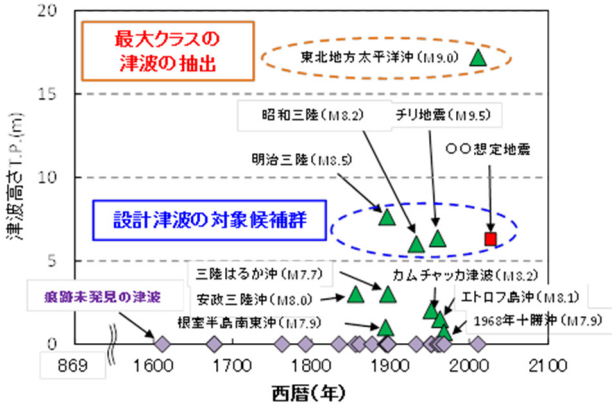



図-Ⅳ.1.3.1.1　最大クラスの津波と設計津波対照群の設定の為のグラフ

る（レベル２）堤防高を設定する際には、シミュレーション技術の発達を反映して、堤防ありの状態における津波シミュレーション計算に基づき設定することとした。従来は痕跡高をもって設計津波の水位とする場合もあったが、堤防の存在によるせりあがりが明確に考慮されるようになった。

その結果を元に、平成 23 年 7 月 8 日付に海岸管理部局に対して「設計津波の水位の設定方法等について」（海岸関係省庁課長より通知）[1] が発出された。さらに、被災地域の 復旧・復興計画の策定等を支援するため、迅速かつ適切な津波浸水シミュレーションを実施するための標準的な方法等を示した「平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波対策のための津波浸水シミュレーションの手引き」[2] が公表された。

また、最大クラス（レベル２）の津波に対する津波浸水想定の設定の方法について本省と協力して整理を行い、最大クラスの津波の設定方法、計算条件等の設定、シミュレーションの出力方法などをまとめ、平成 24 年 2 月に「津波浸水想定の設定の手引き」[3] として公表した。

手引きにおいては、津波浸水シミュレーションは、「なんとしても人命を守る」[4] いう観点から、最大クラスの津波が悪条件下において発生し、浸水が生じることを前提に、各種施設の被災（海岸堤防は越流後すぐに破堤する等）や地盤の隆起・沈降を考慮するものとしている。津波浸水想定では、「浸水の区域」、「水深」、「基準水位」、「地震発生から津波が沿岸に到達するまでの時間」を出力するものとしている。

参照文献


1）　農林水産省農村振興局整備部防災課長・水産庁漁港漁場整備部防災漁村課長・国土交通省水管理国土保全局砂防部保全課海岸室長・国土交通省港湾局海岸防災課長：設計津波の水位の設定方法等について（課長通知）、2011.7

2）　国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き、平成 23 年 7 月

3）　国土交通省水管理・国土保全局海岸室ら、津波浸水想定の設定の手引き、平成 24 年 10 月

4）　国土交通省、津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針、平成 23 年 12 月

### Ⅳ.1.3.2　建築物及びその利用への影響判断に用いる基準水位の設定法

Ⅳ.1.3.1 で述べた津波浸水シミュレーションでは、個々の建築物によるせき上げを考慮しているわけではない。このせき上げ量は建築物を壁や地形データとして考慮することで算出可能である。しかし、地域づくりの検討や建築物等の規制を行う際にすべてのケースで計算していては大変な手間がかかる。そこで、国総研では、平面２次元モデルによる津波浸水想定の結果をもとに算定できる簡便だが水理学的に合理的な方法として、基準水位の算定方法を設定した。

基準水位とは、建物前面において運動エネルギーが水位に変換されるとして、津波の水位に、津波の運動エネルギー分の水位を加え、その和が最大となるときの値としている。(式-Ⅳ.1.3.2.1)。

基準水位による評価方法の妥当性を検討した。妥当性は、１）建築物による流況変化の影響、２）今次津波の痕跡調査の再現性、3）「１）で実施した平面２次元モデル（静水圧分布を仮定）」では考慮されない鉛直方向の流れの影響、の３つの観点から検討した。なお検討の詳細については、Ⅳ.1.4 を参照されたい。

なお、これらの結果は、津波防災地域づくりに係る技術上の基準に関する研究成果（基準水位）が、津波防災地域づくり法第３条の「基本指針」、第７５条の「技術的基準」、「施行規則」に反映された。

$$h_{fmax} = \max\left[h_b + \frac{v^2}{2g}\right] \qquad \text{式-Ⅳ.1.3.2.1}$$

$h_{fmax}$: 基準水位
$h_b$:ある時刻の水位
v:ある時刻の流速
$g$:重力加速度

### Ⅳ.1.3.3　特定開発行為にかかわる技術的基準の検討

（１）津波防災地域づくりにおける位置づけ

『津波防災地域づくりに関する法律では、「津波による災害を防止し、又は軽減する効果が高く、将来にわたって安心して暮らすことのできる安全な地域の整備、利用及び保全（以下「津波防災地域づくり」という。）を総合的に推進することにより、津波による災害から国民の生命、身体及び財産の保護を図る」』[1)] ことを目的として、「国土交通大臣は津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針（基本指針）、津波災害特別警戒区域における一定の開発行為等の制限を定めるもの」』とされている。

基本指針では、津波防災地域づくりを総合的に推進するための基本理念を示しており、法に基づく様々な措置の基本となるものである。平成 23 年 12 月 14 日に津波防災地域づくりに関する法律が成立･施行され、同年１２月 27 日に策定された。都道府県知事等は、基本指針に基づき津波浸水想定を設定し公表することとしている。

さらに『都道府県知事は、基本指針に基づき、かつ、津波浸水想定を踏まえ』[1)]、津波災害警戒区域（以下「警戒区域」という。）および津波災害特別警戒区域（以下「特別警戒区域」という。）を指定することができるとされている

警戒区域とは、津波が発生した場合には住民等の『生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域』[1)] で、住民等が津波から「逃げる」ことができるよう警戒避難体制を特に整備する地区である。基準水位の公示、市町村による防災計画等を定めるものとしている。

また、警戒区域のうち『住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域』[1)] を特別警戒区域と指定できる。特別警戒区域では土地利用等の制約から、社会福祉施設、学校及び医療施設等を建築する予定の開発行為（以下、「特定開発行為」 という。）を行おうとする場合には、都道府県知事等の許可を受けなければならない。また、都道府県知事等は、特定開発行為に関する工事の計画が国土交通省令で定める技術的基準に従ったものでなければ、その許可をしてはならない[1)] とされている。

このため、社会福祉施設等の居室の床面の高さが基準水位以上であることを求めるほかに、特定開発行為に関する盛土・切土により生ずるがけが、浸水、水没した場合に、遡上した津波による侵食等に対して安全なものとなるよう、技術的基準を提示することが必要となる。

そこで、国総研では、既存の研究を収集し、がけ面の侵食、がけの周辺地盤の洗掘、浸透によるすべり破壊、越流によるがけ上端部の侵食に関して留意事項及び対策を取りまとめた。

この成果（津波防災地域づくりに係る技術上の基準に関する研究成果(特定開発行為の技術基準)）は、津波防災地域づくり法第３条の「基本指針」、第７５条の技術的基準、施行規則に反映された。

なお、建築物の設計に関する要件については、Ⅳ.8.1 で記述しており、参照されたい。

（2）想定する盛土・切土及びその周辺における津波の挙動

許可を要するがけの高さの要件については、宅地造成等規制法の許可を要する造成工事と同等とし、以下のとおりとする。

- 切土をした土地の部分に生ずる高さが２ｍを超えるがけ（水平面に対して３０度を超える角度の地表面で、硬岩盤（風化が著しいものを除く）以外のものを「がけ」とする。以下同じ。）
- 盛土した土地の部分に生ずる高さが１ｍを超えるがけ
- 切土と盛土を同時にした土地の部分に生ずる高さが２ｍを超えるがけ

なお、特定用途の建築物が建築される開発行為を対象とし、その利用者の安全を確保するという制度の趣旨に鑑み、特定開発行為の面積の規模によらず一定の基準を適用することとする。

また、許可を要するがけ及びその周辺における津波の挙動としては、遡上した津波が盛土・切土の海側のがけ面に達し、その前面で水位が上昇することや、盛土・切土のがけ面に沿って、その背後に回り込むような流れが発生すること、津波の周期が長くても数十分程度のため、がけの浸水継続時間は同程度以下であることを想定することとする。

以下において、遡上した津波による被災形態を想定し、盛土・切土により生ずるがけの各種検討事項を整理する。

（3）がけ面の侵食（図-Ⅳ.1.3.3.1）

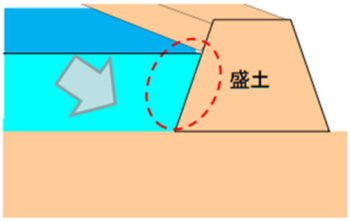



図-Ⅳ.1.3.3.1　がけ面の模式図

盛土・切土により生ずるがけ面については、都市計画法における開発許可の場合と同様に、切土をした土地の部分に生ずるがけの土質や勾配等の一定の要件を満たす場合を除き、擁壁によりがけ面を覆うことを基本とする。がけ面が擁壁で被覆されていない場合には、流水のせん断力により、がけ面が侵食され、これが進行するとすべり破壊の発生が懸念される。このため、津波浸水シミュレーションを用いて、津波の流況からがけ面の侵食深さを算出した結果を踏まえ、モルタル吹付けによらず、芝張りによりがけ面を保護することとする。

（4）がけの周辺地盤の洗掘（図-Ⅳ.1.3.3.2）

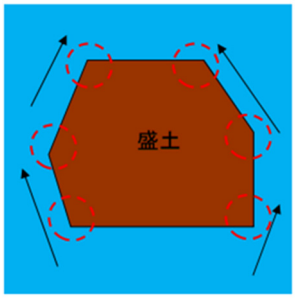



図-Ⅳ.1.3.3.2　がけの周辺地盤の模式図

盛土・切土により生ずるがけの隅角部では流水が集中することから、そこから洗掘が進み、がけ面のすべり破壊や擁壁の倒壊が懸念される。

また、津波の波源域の位置や押し波と引き波とで津波の流れの向きが大きく異なることがある。

これらを踏まえ、全てのがけの法尻において洗掘対策を必要とすることを基本とするが、津波浸水シミュレーション等によって洗掘を考慮しなくても良い箇所を設定することも可とする。

1）がけ面の法尻における洗掘対策について

がけ面の法尻における洗掘対策としては、想定される最大洗掘深を考慮した上で、円弧すべりによる安定解析を行い、安全率が１．０を上回るかどうか評価し、その結果に基づき、保護工の設置（各種根固め等）による洗掘対策、又は洗掘を前提とした盛土・切土上のセットバックを行うこととする。

保護工の必要幅は、ＦＥＭＡガイドライン[2)]を用いて最大浸水深から最大洗掘深を想定し、さらに河川砂防技術基準の根固工の必要敷設幅に係る規定を用いて設定する。なお、保護工として、各種根固め等によるほか、同規模の道路の舗装（舗装の構造に関する技術基準によらないものを除く）によることも可能とする。

また、セットバックにより対応する場合のその幅は、円弧すべりによる安定解析から設定することとする。

2）擁壁で覆われているがけ面の法尻の洗掘対策について

洗掘により擁壁の転倒が懸念される場合には、その対策として、想定される最大洗掘深に応じ、転倒防止

対策工の設置による洗掘対策、又は洗掘を前提とした盛土･切土上のセットバックを行うこととする。なお、各種転倒防止工のうち保護工については、同規模の道路舗装工(簡易舗装は除く)によることも可能とする。

また、セットバックにより対応する場合のその幅は、円弧すべりによる安定解析から設定することとする。

3）越流した津波の落下によるがけ面の法尻の洗掘対策について

越流した津波の落下によりがけ面の法尻で洗掘が生じる可能性については、海と反対側においては津波が盛土を回り込むことによりウォータークッションの形成が想定されることから、そのための保護は必要としないことを基本とする。

なお、谷埋め盛土のような場合において、引き波の際にがけ下にウォータークッションが形成されない恐れがある箇所については、a）又はb）の保護工によって対応することとする。

（5） 浸透によるすべり破壊（図-Ⅳ.1.3.3.3）

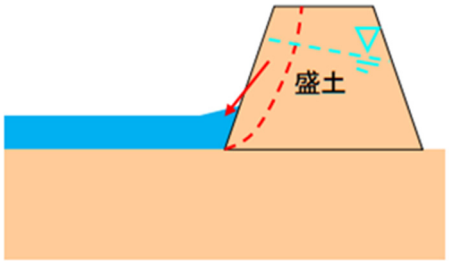



図-Ⅳ.1.3.3.3 浸透によるすべり破壊の模式図

浸透によるすべり破壊に対しては、盛土をする場合に宅地防災マニュアル[3)]に準拠して敷均しや締固めを行うことで、基本的には安全な構造とすることができる。

ただし、粗粒砂や小礫など締め固めてもせん断強度が小さく浸透しやすい盛土材料で盛土を行った場合等においては､津波来襲時に浸潤線が高くなることから、水位低下時の盛土材の流出やがけ面のすべり破壊の発生も否定はできない。

このため、せん断強度が小さく浸透しやすい盛土材料で盛土を行った場合等には、津波による浸透を考慮した条件下で、円弧すべりによる安定解析を行い、安全率が１．０を上回るかどうか評価し、その結果に基づき、必要があれば対策を講ずることとする。

なお、対策としては、

・盛土内への浸透抑制対策
・盛土内に浸透した水を排水する措置をした上での盛土補強対策

のいずれか、又は浸透によるすべり破壊を前提とした盛土上のセットバックを行う。

また、セットバックにより対応する場合のその幅は、円弧すべりによる安定解析から設定することとする。

（6） 越流によるがけ上端部の侵食（図-Ⅳ.1.3.3.4）

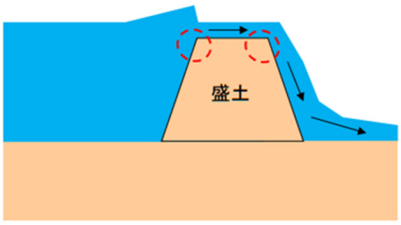



図-Ⅳ.1.3.3.4 がけの上端部の模式図

がけの上端部では津波の越流により侵食が生じることが考えられることから、河川管理施設における低水護岸の天端工の規定[4)]を活用し、対策を行うこととする。

参照文献

１） 津波防災地域づくりに関する法律（平成 23 年 12 月 14 日法律第百二十三号）
２） 米国連邦緊急事態管理局、津波からの（鉛直方向）避難のための構造物の設計ガイドライン、平成 20 年
２） 国土交通省、宅地防災マニュアル、平成 19 年
３） 国土交通省、建設省 河川砂防技術基準(案) 設計編、平成 9 年改訂

## Ⅳ.1.3.4 津波予報における予想波高に応じた津波浸水域検索システムの開発

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.149~155、2016.6

津波が発生した際も「なんとしても人命を守る」[1)]との考え方の下、各都道府県では「津波防災地域づくりに関する法律」に基づく最大クラスの津波浸水想定の設定が進められている。また、関係市町村では、当該津波浸水想定を踏まえた津波ハザードマップの作成や避難訓練の実施等の警戒避難体制の整備が行われている。その一方、実際には様々な規模・震源での津波

の発生が想定されるため、これら最大クラス以外の津波に対しても、住民避難や水門操作等の事前の防災行動を適切に行うことが防災・減災上重要である。

国総研海岸研究室では、地方公共団体の防災担当者等による防災行動を支援するための情報ツールの一つとして、気象庁による津波予報で発表される「予想津波高」に応じた津波浸水域図の作成手法を検討した。

気象庁の津波予報では、地震発生後約３分で地震の位置と規模から津波高や到達時間を予測し、予想津波高が発表される。地震発生後に津波高の計算を開始すると、津波到達までに津波予報が間に合わないことから、気象庁では、あらかじめ津波を発生させる可能性のある断層を設定して津波の数値シミュレーションを行い、その結果を津波予報データベースとして蓄積し、地震発生時に当該データベースから津波高や到達時間を検索することで津波予報を発表するという方法がとられている。

この方法では、数多くの想定断層での計算が必要となるため都道府県の負担が大きいことや、予想津波高ごとの浸水域図自体も複数の想定断層による津波浸水の重ね合わせであり、津波を発生させる断層の位置に応じた警戒避難が十分に行えないという課題がある。

そこで南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012)、東南海・南海地震に関する専門調査会(2003)、東海地震に関する専門調査会(2001)といった国が示した断層モデルを活用し、今後発生の可能性が高い断層に絞り込んだかたちで、徳島県の沿岸をモデルケースに気象庁の予想津波高と連動した浸水域図の作成方法の研究を行った。

なお、国が示した断層モデルは、各都道府県において津波浸水想定や設計津波水位の設定の際に活用されるものであり、これらの設定（又は見直し）の際に一体となって予想津波高別（規模別）の津波浸水域図の作成を行えば、気象庁の手法に比べて都道府県の負担が少ないことを期待するものである。また、断層位置がある程度特定されることから、地震速報で示される断層位置とも連動した津波浸水域図を示すことで、より合理的な警戒避難行動を期待するものである。

一連の研究成果については、平成 27 年 3 月に徳島県に防災訓練用に提供を行うとともに、同県の防災担当者と意見交換を行った。その結果以下３点の意見を得た。

・徳島県におけるレベル２津波の津波浸水想定は異なる津波断層モデルを用いた複数のケースの浸水計算結果を重ね合わせたものである。一方で、津波断層モデルにおける大すべり域の配置によって浸水深が大きくなる地区が変わることから、単一のケースの浸水計算結果の方が、地方公共団体としては具体的な防災行動を事前に検討しやすい。
・毎年の防災訓練はレベル２津波の津波浸水想定という１つのケースでしか訓練を行ってこなかったため、今回のような複数ケースの津波浸水域図があれば、毎年異なる想定での訓練ができ、防災対応力の向上が期待される。
・徳島県では地理情報と連動した防災システムを構築しており、電子データでの津波浸水域図の活用は可能である。

上記の通り、気象庁の発表する予想津波高に応じた津波浸水域検索システムの手法を確立するとともに、モデルケースとして試作した徳島県の津波浸水域図について、防災訓練用に徳島県に提供した。

参照文献

１）　中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震･津波対策に関する専門調査会報告､2011

## Ⅳ.1.4　構造物の設計等に関わる津波波力設定の全体像

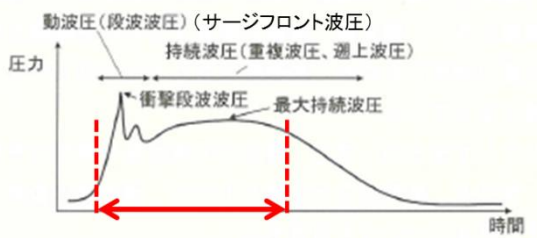
### Ⅳ.1.4.1 津波作用の概略と実用的波力算定法の枠組み

構造物を設計する際に用いる津波波力は構造物表面に作用する波圧分布から計算されるので、波圧分布の設定が波力算出を規定することになる。以下、津波の進行方向に正対する直立壁に作用する波圧の鉛直分布を主対象に説明を行う。

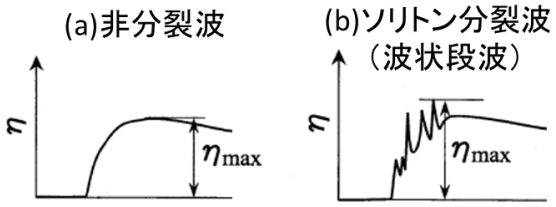
砕波後の津波が構造物にぶつかる際に作用する力は、津波先端到達時の極めて短時間に生じる大きな波圧（海上では衝撃的な段波波圧、陸上ではサージフロント波圧と呼ばれる）を経て、準定常的な持続波圧の形態をとる（図-Ⅳ.1.4.1）。前者は通常力積としては小さいので、防波堤等の設計では考慮しないのが一般的であり、ここでは取り上げない。これを除いた波形の模式図を図-Ⅳ.1.4.2 に示す。この図に示す非分裂波とソリトン分裂波の２種類が波圧算定の対象となる。

設計における波圧分布算定に用いられてきた基本フレームは次のようである。砕波した津波を直立壁に当てる水理実験において計測される各点の波圧の最大値の鉛直分布をプロットすると、たとえば図-Ⅳ.1.4.3 のように、津波最高到達点から静水面（津波襲来前の潮位）の間で概ね直線状、すなわち最高到達点での波圧０から下方に単調増加する波圧分布となることが多い。この特徴を前提とし、さらに、津波最高到達点と静水面（陸上遡上の場合は地面）との比高$\eta^*$と、静水面高さでの最大波圧$p_1$が、ともに、係数を介して入射津波の静水面からの高さ（振幅）と関係づけられるならば、最大波圧の鉛直分布を入射津波振幅から簡単に計算できることになり、設計実務においても有利である。こうして、これらの係数を津波の状態や水理条件に応じて定める方法が種々提案されてきた。

これ以降、既往の波圧分布算定手法を上記のフレームに沿って紹介していく。なお以下では、$\eta^*$を「波圧の最大作用高さ」、$p_1$を「静水面高さの最大波圧強度」と呼ぶ。




図−Ⅳ.1.4.1　津波の波圧の概念図（出典：津波の事典(2007)[1]）に加筆




図−Ⅳ.1.4.2　図−Ⅳ.1.4.1 赤線部における非分裂波とソリトン分裂波の波形の模式図（出典：朝倉ほか(2000)[3]に加筆）

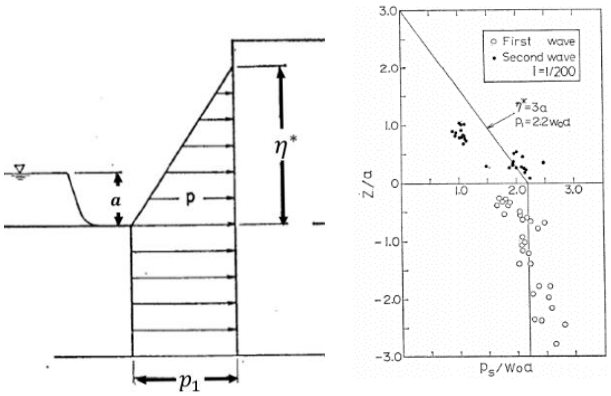
### Ⅳ.1.4.2　海上を進む津波の波圧分布の実用的算定法

構造物が主に海中にある港湾の施設の基準では、谷本ほか（1984）[2]の式が採用されてきた。谷本ほか（1984）[2]は、段波性津波を対象とした水理実験結果から、海中の断面２次元構造物（津波進行と直角の方向には形状が一様）に作用する波圧の分布を図-Ⅳ.1.4.3 のように提案している。そして、波圧の最大作用高さ$\eta^*$および、静水面高さの最大波圧強度$p_1$は、Ⅳ.1.4.1 で説明した通り、入射津波の静水面からの高さ（$a_I$と置く）を用いて式-Ⅳ.1.4.1 および式-Ⅳ.1.4.2 で表すとしている。ここで$w_0$は水の単位体積重量である。

$$\eta^* = 3.0a_I \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.1}$$

$$p_1 = 2.2w_0a_I \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.2}$$

これらの式は谷本式と呼ばれ、式-Ⅳ.1.4.1 の係数は水深係数（ここでは 3.0）、式-Ⅳ.1.4.2 の係数は無次元波圧強度（ここでは 2.2）と呼ばれる。最大波圧の鉛直分布が最大作用高さからの静水圧分布となる場合には、無次元波圧強度も 3.0 となる。それより小さい 2.2 となっているのは、津波が静水面による抵抗を受けるためと解されている。




図−Ⅳ.1.4.3　波圧の作用高さと最大作用波圧（出典：谷本ほか（1984）[2]）

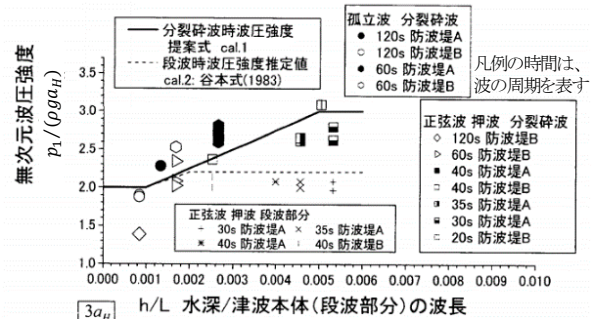



図-Ⅳ.1.4.4 海中構造物に作用する無次元波圧強度と水深波長比(出典:池野ほか(2005)[4])

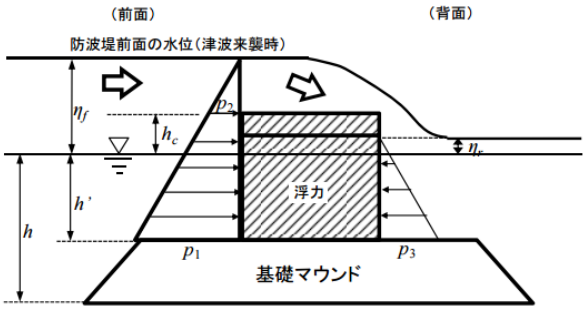



図-Ⅳ.1.4.5 静水圧差による算定式による津波波力の考え方(出典:港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007 年版)[5])

池野ほか(2005)[4]は、静水面上のソリトン分裂した波状段波の波圧分布を求めるために、無次元波圧強度と、水深波長比(水深/津波本体(段波部分)の波長)の関係を整理した(図-Ⅳ.1.4.4 参照)。これによると、水深波長比が小さい場合、津波が段波に十分に発達せず、分裂波も生じにくいため、波圧は、重複波を形成したときに生じる波圧(入射振幅の2倍に相当するせき上げ状態での静水圧に対応)となる。一方、水深波長比が大きくなるにしたがい、無次元波圧強度が2.0倍から3.0倍程度まで変化する。

図-Ⅳ.1.4.4 から無次元波圧強度として3.0を採用し、波圧の最大作用高さ$\eta^*$と静水面高さの最大波圧強度$p_1$を式-Ⅳ.1.4.3、式-Ⅳ.1.4.4 のように表現したものを修正谷本式[5]と呼ぶ。

$$\eta^* = 3.0a_I \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.3}$$

$$p_1 = 3.0w_0a_I \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.4}$$

平成26年改正の「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007年版)[5]」では、①波状段波が生じる場合は修正谷本式、②波状段波が生じない場合で、かつ、越流が生じない場合は谷本式、③波状段波が生じない場合で、かつ、越流する場合は、式-Ⅳ.1.4.5～式-Ⅳ.1.4.7 を用いて(図-Ⅳ.1.4.5 参照)、波力を算定するとしている。

$$p_1 = \alpha_f w_0(\eta_f + h') \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.5}$$

$$p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'}p_1 \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.6}$$

$$p_3 = \alpha_r w_0(\eta_r + h') \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.7}$$

ここに、$\alpha_f$は直立壁前面の静水圧補正係数、$\alpha_r$は直立壁背面の静水圧補正係数、$w_0$は海水の単位体積重量である。

なお、若干越流している状態に式-Ⅳ.1.4.5～式-Ⅳ.1.4.7 を適用する場合は、それより水位の低い越流直前の状態に谷本式を適用した方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較の上、適切に適用する必要があるとしている。

### Ⅳ.1.4.3 陸上を遡上する津波の波圧分布の実用的算定法

前項Ⅳ.1.4.2 で述べた算定法は、静水面上を進む津波による波圧分布を対象にしており、陸上を遡上する津波にそのままは適応できない。また防波堤のように海岸線方向に長い延長を持つ断面2次元構造物を対象としており、建築物のような3次元構造物については別途検討を要する。

朝倉ら(2000)[3]は、陸上を遡上する津波を対象に、断面2次元構造物および3次元構造物へ作用する波圧分布を一括して取り扱い、その算定法を水理実験に基づき次のように提案している。

まず非分裂波の場合について、各点の最大波圧$P_{max}$の鉛直分布を、$P_{max}$については遡上津波の最大振幅$\eta_{max}\times w_0$で無次元化し、地面からの高さ$Z$については$\eta_{max}$により無次元化して、図-Ⅳ.1.4.6 のように整理し、無次元波圧強度(図において、縦軸0の地表面高に対応する横軸の値)が、非分裂波の場合、最大で3程度であることを示した。この値を一律に採用すれば、津波波力を谷本式、修正谷本式と同様に遡上津波の高さ($\eta_{max}$)から簡便に算定することが可能となる。

朝倉ら(2000)[3]は、ソリトン分裂波についても同様の整理を行い、図-Ⅳ.1.4.7 に示すとおり、最大波圧の鉛直分布形が非分裂波の場合と異なることを示している。すなわちソリトン分裂波の場合、波圧の最大作用高さ以下の領域のうち上方2/3では、上記の非分裂波の算定法を適応しうるが、その下では、非分裂波の算定法によ

る値より波圧が大きくなり（地表面では 1.8 倍）、波力全体では約 20%の増加となる（図-Ⅳ.1.4.8 の網掛け部分）。

以上の成果は、陸上遡上の津波についても、海上の津波と同様の波力算定フレームが適用できることを示すものであり、陸上構造物に作用する津波波力算定の実用手法を検討する際の基盤的知見となっている。

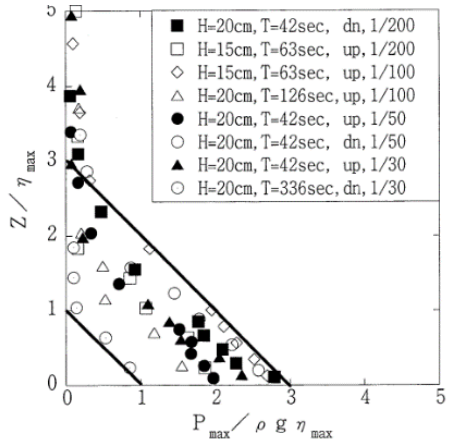



図-Ⅳ.1.4.6 陸上構造物に作用する最大波圧の鉛直分布（非分裂波）（出典：朝倉ら（2000）[3]）

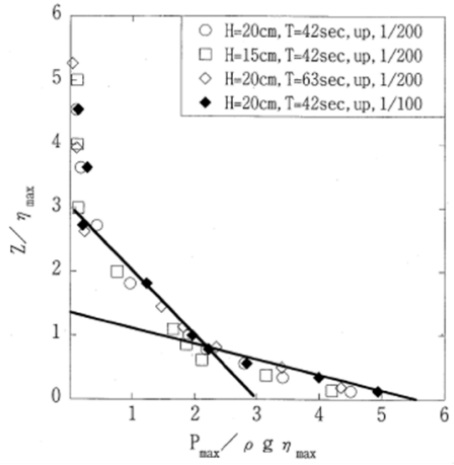



図-Ⅳ.1.4.7 陸上構造物に作用する最大波圧の鉛直分布（ソリトン分裂波）（出典：朝倉ら（2000）[3]）

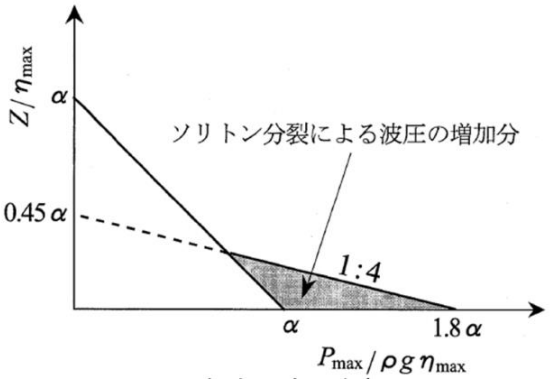



図-Ⅳ.1.4.8 ソリトン分裂による波圧の増分の説明（出典：朝倉ら（2000）[3]）（$\alpha$は、非分裂波の場合の水深係数）

たとえば、津波避難ビル等の構造基準における津波荷重の設定において、上記のうち非分裂波に関する成果に基づき、浸水深の 3 倍の水深がもたらす静水圧分布から（水深係数 3.0 を採用）波力を算定すると規定されていた。この規定は水理実験の最大波圧強度の包絡線を基準としており、外力に対して安全側の基準となっていた。なお、ソリトン分裂を考慮した陸上の波圧は、外力として採用していない。

さらに、東日本大震災後の調査によって立地条件などを勘案し、水深係数を 2 倍又は 1.5 倍の静水圧にまで緩和できることとなった。この荷重設定の合理化の内容はⅣ.8.1 で詳細している。

### Ⅳ.1.4.4 陸上構造物に作用する波圧の実用的算定手法検討の新たな展開－フルード数の導入

近年では、津波の数値計算技術の発展が顕著であり、原理的には、対象とする構造物に想定する津波が襲来したときの波力を数値計算によって忠実に再現することが可能になっている。その一方、各構造物についてこのような計算を行うことは労力を伴うので、入射津波の高さ（振幅）から波力を計算するという今まで述べてきた実用的算定法は依然として有用と位置づけられる。そうした中で、実用的算定法にかかわる水理的考察を深め、その合理化を進める検討も進んでいる。そこにおける主要な着眼がフルード数 Fr の導入である。

(1) 無次元波圧強度とフルード数との全般的関係

Asakura ら(2002)[6] は、非分裂波に関して無次元波圧強度とフルード数の関係に着目し、その関係を整理している。この整理では 2 次元断面および 3 次元構造物を一緒に扱っている。±50%程度のばらつきはあるものの、無次元波圧強度（水深係数と等価になるとして α

で表記）とフルード数の間に相関があることを示し、回帰式-Ⅳ.1.4.8 を提案した。

$$\alpha = (1 + 1.2Fr)\ (0.1 \leq Fr \leq 1.6) \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.8}$$

(2) 基準水位の設定におけるフルード数の導入

開水路流れに置かれた物体の上流側よどみ点でのせき上げ水位が、周囲の水位に接近流速のエネルギー水頭を加えたものを基本に表現できることは、ベルヌイの定理から自ずと導かれる。津波作用時のせき上げについても、準定常的な持続波圧の形態においては同様な考え方が適用できるとの着眼点から、Ⅳ.1.3.2 で述べた建築物およびその利用への影響判断に用いる基準水位の設定法の検討において、式-Ⅳ.1.3.2.1 が提示されている（津波防災地域づくりに係る技術検討報告書（2012）[7]）。以下では、この検討過程の詳細を述べる。

「津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針」では、津波災害警戒区域および津波災害特別警戒区域において基準水位（津波浸水想定に定める水深に係る水位に建築物等に衝突する津波の水位の上昇（以下「せき上げ」という。）を考慮して必要と認められる値を加えて定める水位）を公示することとしている。

津波のせき上げの現象は、その地点で津波が有するエネルギーの大きさに起因すると考えられることから、まず、津波浸水シミュレーションを用いて津波の流況を再現し、それを基に津波のせき上げ高を評価する手法を検討することとした。

まず、表-Ⅳ.1.4.1 に示す地区を対象に、図-Ⅳ.1.4.9 のように４種類の形状の仮想建築物を配置し、非線形長波方程式に基づく平面２次元モデルによる津波浸水シミュレーションを実施した。そして、それら仮想建築物の海側隣接の計算格子における最大浸水深$h_{fmax}$（基準水位に相当）を算出した。

表-Ⅳ. 1. 4. 1　数値シミュレーションの対象地区 [7]

| 平野部 | リアス部 |
|---|---|
| 仙台市<br>宮城県亘理町<br>福島県いわき市 | 岩手県野田村<br>岩手県大船渡市（越喜来地区）<br>岩手県大槌町<br>岩手県陸前高田市 |

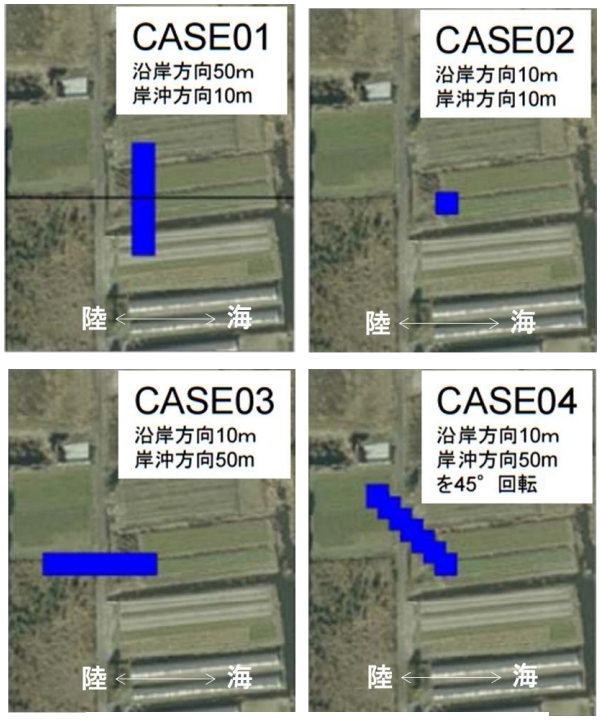
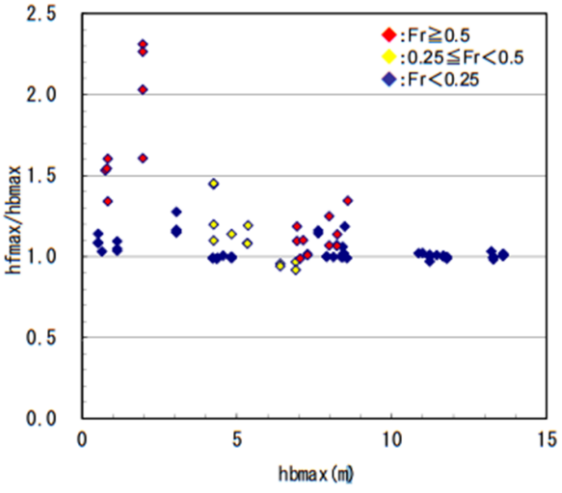



図-Ⅳ. 1. 4. 9　設置した仮想建築物 [7]



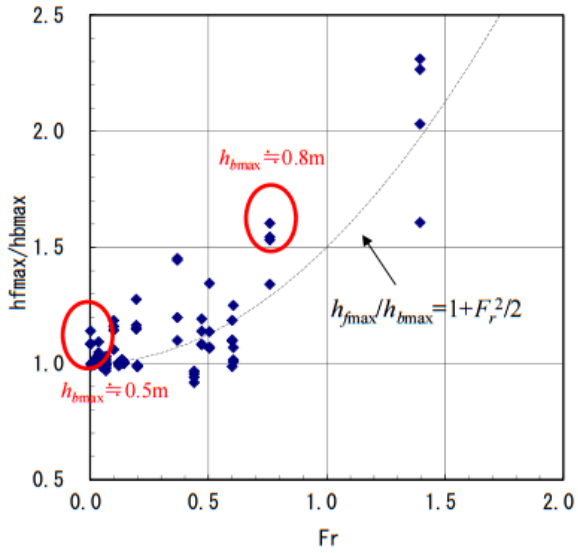




図-Ⅳ.1.4.10　仮想構造物を配置した場合の最大浸水深$h_{fmax}$と配置していない場合の最大浸水深$h_{bmax}$の比と、$h_{bmax}$（上）、およびフルード数$Fr$（下）との関係 [7]

次に、同様の地区を対象に、同様のモデルで仮想建築物を配置しない場合の同地点における浸水深$h_b$を算出するとともに、併せて、フルード数を求めた。参考として、$h_b$のうち最大浸水深となる$h_{bmax}$と$h_{fmax}/h_{bmax}$及び $Fr$と$h_{fmax}/h_{bmax}$との関係を図-Ⅳ.1.4.10 に示す。

これらを基に、具体的な建築物等が定まっていない時点で、$h_b$（または $h_{bmax}$）から $h_{fmax}$を予め算定する手法を検討することとした。$h_{fmax}$ は、ベルヌイの定理からは、仮想建築物を配置しない場合に同地点において最大となる時点の比エネルギー$E_b$ になることに着目すると、$E_b$、$h_b$、$v_b$（$h_b$ と同地点・同時刻の流速）及び $Fr$との関係が式-Ⅳ.1.4.9、式-Ⅳ.1.4.10 で示されることになる。

$$h_{fmax} = \max(E_b) = \max\left[h_b\left(1+\frac{Fr^2}{2}\right)\right] \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.9}$$

$$Fr = \frac{v_b}{\sqrt{gh_b}} \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.10}$$

これらの式を用いることで、任意地点の $h_b$と$v_b$から$Fr$を介して $h_{fmax}$ を算定できることとなる。$E_b$ が最大となる時点の $h_b$ と $Fr$ とを採用し、同式を用いて算定した最大比エネルギー $E_{bmax}$は、仮想建築物を置いたときの津波浸水シミュレーションの最大浸水深$h_{fmax}$を概ね再現できていることも確認された（図-Ⅳ.1.4.11）。

ただし、遡上した津波のエネルギーが集中するような形状や配置の建築物等においては、式-Ⅳ.1.4.9～10による $h_{fmax}$より大きくなる場合があることに留意する必要がある。

なお、式-Ⅳ.1.4.9 については、既往の屋内実験による研究成果（朝倉ら(2000)[3)]）を参照し、水深係数とフルード数との関係図に重ね合わせ、フルード数が１程度以下の領域では、両者の特性が同様の傾向を示すことを確認した（図-Ⅳ.1.4.12）。

次に東北地方太平洋沖地震による津波における建築物等での実績痕跡高を用いて、式-Ⅳ.1.4.9 の検証を行った。実績痕跡高としては、東京大学等により測定された各種痕跡高（建築物の海側以外を含む）を用いた。この実績値と、式-Ⅳ.1.4.9 を用いて津波浸水シミュレーションから算出した $h_{fmax}$とを比較した結果を図-Ⅳ.1.4.13 に示す。この結果より、基準水位を適切に算定できていると評価した。

さて、津波浸水シミュレーションでは、広い範囲にわたる津波の現象を対象とすることから、その全てにおいて３次元モデルを用いることは効率性等の観点から非現実的であり、鉛直方向の圧力分布を静水圧と近似した平面２次元モデルが一般的に用いられている。上記の検討においても平面２次元モデルを用いている。一方、津波のせき上げが発生する建築物等の前面においては、鉛直方向の圧力が静水圧分布から外れてくることから、同地点における浸水深について、平面２次元モデルを用いた場合の再現性・適用性を確認しておく

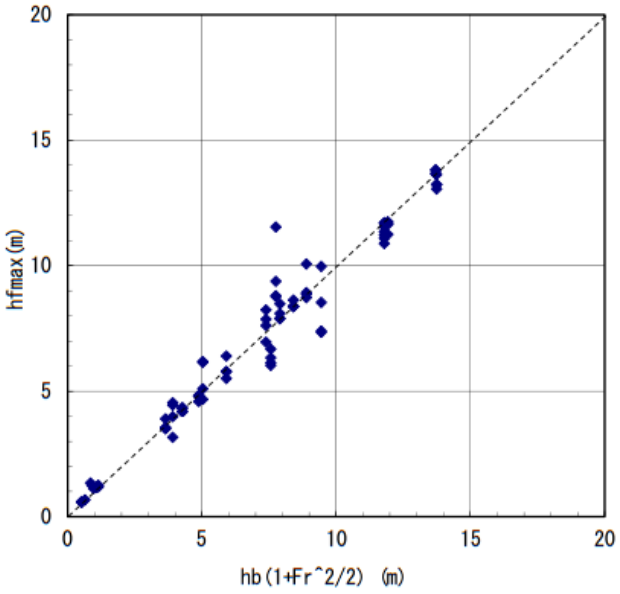



図-Ⅳ.1.4.11　仮想構造物を配置した場合の最大浸水深$h_{fmax}$と配置していない場合の比エネルギー（最大時）との関係[7)]

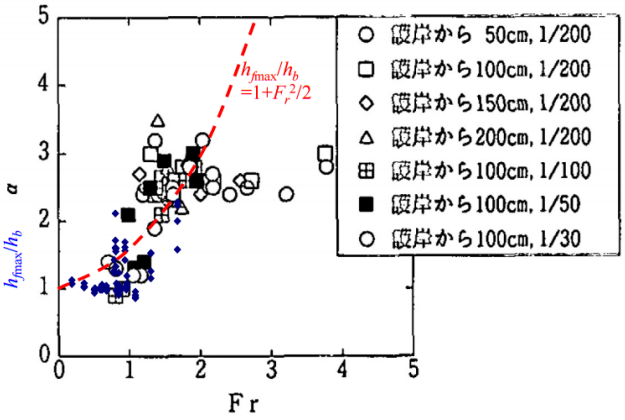



図-Ⅳ.1.4.12　α-Fr 関係についての実験結果（朝倉ほか(2000)[3)]）と式-Ⅳ.1.4.9 との比較[7)]

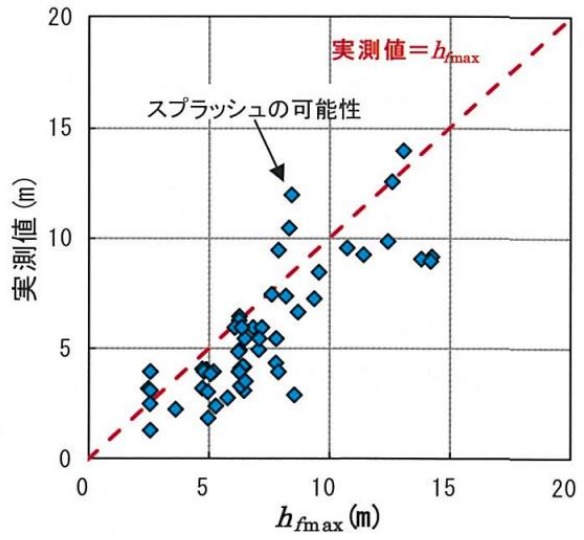



図-Ⅳ.1.4.13 計算値（式-Ⅳ.1.4.9）と実績痕跡高との関係 [7]

こととした。

仮想建築物周辺のみ非静水圧３次元モデルを適用するハイブリッドモデルを用いて津波浸水シミュレーションを実施し、この結果との比較により、非線形長波方程式に基づく平面２次元モデルの再現性・適用性の検証を行った。ハイブリッドモデルは、計算領域の一部で非静水圧３次元モデルを適用するもので、仮想建築物周辺のみ３次元の支配方程式とし、それ以外の領域は平面２次元の非線形長波方程式により計算するものである。

これら２種類の津波浸水シミュレーション結果の比較例を図-Ⅳ.1.4.14 に示す[7]。この結果から、平面２次元モデルはハイブリットモデルよりも浸水深が高く安全側に評価されており、なおかつ実用に耐えうる再現性・適用性を有すると評価した。

なお、今後の津波浸水シミュレーションに関する技術開発の進展により、広い範囲にわたる津波の現象をより精緻に再現・予測できるようになった場合には、その計算に係る効率性等も考慮しつつ、基準水位等の見直しの必要性を随時検証していくこととしている。

(3) 実験および理論的検討を通じたフルード数の水理学的役割の考察

本技術課題については、さらに掘り下げがなされている。榊山（2012）[8]は、水理実験と数値計算を行ってAsakura ら（2002）[6]における非分裂波に関する水深係数αとフルード数 Fr の関係式の再整理を行った（図-Ⅳ.1.4.15）。その結果から、断面２次元構造物と３次元構造物ではFr－$\alpha$関係が異なることを示し、それぞれ

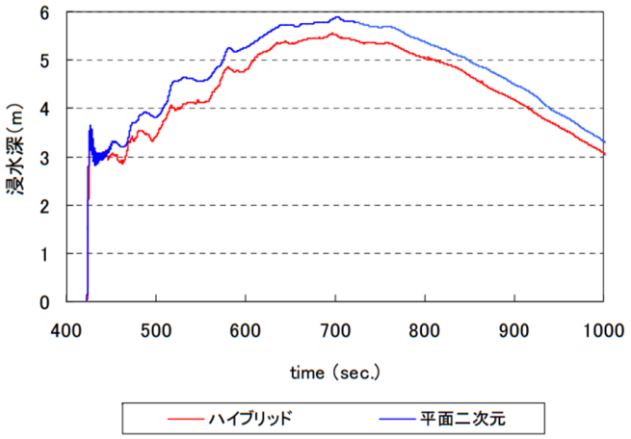



図-Ⅳ.1.4.14 平面２次元モデルと仮想建築物周辺のみ非静水圧３次元モデルを適用するハイブリッドモデルの浸水深の比較例 [7]

の算定式を導いている。

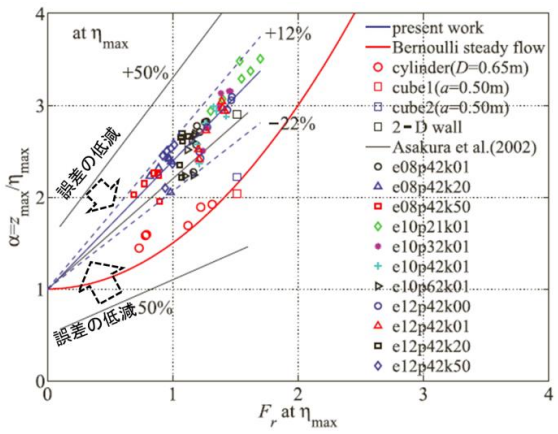
まず３次元構造物に対する水深係数 α は、速度エネルギーが位置エネルギーに変換されるベルヌイの定理にほぼ一致する式-Ⅳ.1.4.11 を用いることで評価できるとした。

$$\alpha = \left(1 + \frac{Fr^2}{2}\right) \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.11}$$

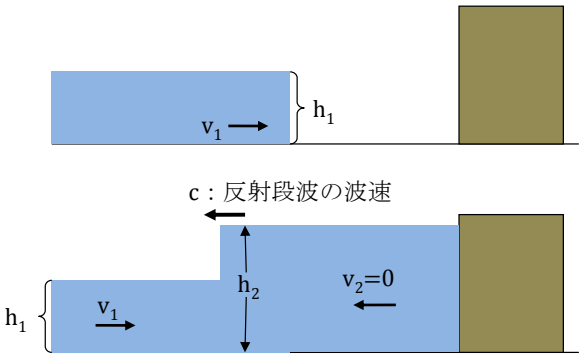
上式は、式-Ⅳ.1.4.9、式-Ⅳ.1.4.10 と同じ意味を持つ。また断面２次元構造物に作用する波圧を計算する際の水深係数に関しては、数値実験結果の回帰式から、式-Ⅳ.1.4.12 を導いた。

$$\alpha = 1.0 + 1.4Fr \ (0.0 \leq Fr \leq 2.0) \qquad \text{式-Ⅳ.1.4.12}$$

この回帰式では誤差の範囲が－22%～+12%であり、断面２次元構造物と３次元構造物を分けることでAsakura ら(2002)[6]では±50%あった誤差が大幅に軽減した。




図−Ⅳ.1.4.15　陸上構造物の波圧算定に用いる水深係数の提案式（出典：榊山（2012）[8]に加筆）




図−Ⅳ.1.4.16　反射段波の計算

水深係数 α が Fr と関係づけられる点は共通であるが、断面２次元構造物と３次元構造物とで関係式が明確に異なることは興味深く、水理学的な理解を得たいところである。そこで、本研究において断面２次元構造物に対して理論的検討を行った結果をここに加え、考察を深める。

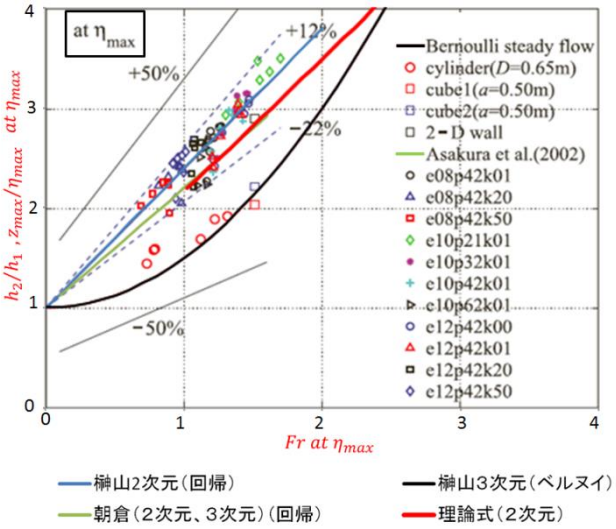
図-Ⅳ.1.4.16 に示すように、奥行き方向に無限大の長さの壁（断面２次元構造物）を想定し、射流状の段波が襲来し、壁に当たり反射段波となって安定的に進行している状況を考え、襲来段波と反射段波の波高比を水深係数 α として、α を理論的に算出する（以下は段波の取り扱いと同じである）。

反射段波とともに一定速度で移動する座標系の下で定式化する。まず連続式から以下が得られる。

$$h_1(v_1 + c) = h_2 c \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.13}$$

$$c = \frac{h_1}{h_2 - h_1} v_1 \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.14}$$

段波を挟む検査領域で運動量の原理を適用すると、次式が得られる。




図−Ⅳ.1.4.17　段波計算に基づく理論式（式−Ⅳ.1.4.18）を図−Ⅳ.1.4.15 に重ねた比較図（出典：榊山（2012）[8]に加筆）

$$\rho (v_1 + c)^2 h_1 - \rho c^2 h_2 = \frac{1}{2}\rho g {h_2}^2 - \frac{1}{2}\rho g {h_1}^2 \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.15}$$

ここに、フルード数 Fr を式-Ⅳ.1.4.16、水深係数 α を式-Ⅳ.1.4.17 で表現できるので、Fr～α 関係は式-Ⅳ.1.4.18 のようになる。

$$\mathrm{Fr} = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}} \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.16}$$

$$\alpha = \frac{h_2}{h_1} \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.17}$$

$$\mathrm{Fr}^2 = \frac{(\alpha + 1)(\alpha - 1)^2}{2\alpha} \qquad \text{式−Ⅳ.1.4.18}$$

図-Ⅳ.1.4.17 は、ここで求められた Fr-α 関係を榊山（2012）[8]によるグラフ（図-Ⅳ.1.4.15）に重ねたものである。式-Ⅳ.1.4.18 の理論式は Fr=1 以上の領域において赤実線で示している。この図から、榊山（2012）[8]が３次元構造物について水深係数 α をよく再現することを示したベルヌイの式に基づく理論値（式-Ⅳ.1.4.9 あるいは式-Ⅳ.1.4.11）と段波計算に基づく上述の理論値（式-Ⅳ.1.4.18）との間に明確な違いがあることがわかる。さらに、その違いは２次元断面構造物と 3 次元構造物の実験値の違いによく対応している。このことは、２次元断面構造物と 3 次元構造物とで、水深係数の水理的決定機構に本質的な違いがあることを改めて示すものと言える。

2 次元構造物の場合、3 次元構造物の場合と違って遡上津波が構造物により全体的に跳ね返されるため、準定常状態を想定したベルヌイの定理は適用できず、その代わりに、非定常性と、津波が全体的に反射するという水理状況を織り込んだ扱いをする必要がある。2 次元構造物の場合の水深係数が 3 次元構造物の場合より相当大きくなることも、以上に確認された水理機構の基本的違いから理解できる。

なお、理論式（式-Ⅳ.1.4.18）は、フルード数の適用範囲は異なるものの、おおむね Asakura ら(2002)[6] による回帰式（式-Ⅳ.1.4.8）とほぼ同じ値をとる。一方、榊山（2012）[8] の回帰式（式-Ⅳ.1.4.12）による値は、前二者よりもやや大きな値をとる。実務上の検討に際しては、安全側の判断をするという観点も含め、2 次元と 3 次元構造物の違いを考慮した上で多くの実験値が反映された榊山（2012）[8] の回帰式の採用が、現時点ではより適切考えられる。

### Ⅳ.1.4.5　津波波力設定手法の技術的系統について

今まで述べてきた種々の波圧算定法の基盤となっている技術検討の流れを、冒頭Ⅳ.1.4.1 に述べた実用的枠組みの中で「技術系統」という形で図-Ⅳ.1.4.18 のように整理した。設計等の実務における作用津波波力の算定においては、技術系統の中で、対象とする構造物や津波襲来に関わる状況と整合する手法を選択するというスタンスを基本にするのがよい。こうすることで、波力設定が持つべき技術体系としての整合性が自ずと担保される。

たとえば、津波防災地域づくりの推進に関する基本的な指針」における基準水位の設定において用いられる式-Ⅳ.1.4.9、式-Ⅳ.1.4.10 は、図-Ⅳ.1.4.18 の上から 6 つめの系列に当たり、その技術的位置づけは明確である（3 次元構造物を対象に Fr 数の影響を考慮）。これらの式と、本図の上から 1～3 番目にある海中に置かれた 2 次元断面構造物を対象にした算定式との使い分けの意味も明瞭である。

また、研究の進捗によって技術系統が改良・拡張されれば、それに応じて用いられる算定手法がさらに合理化されることになる。たとえば、津波避難ビル等の構造基準における津波荷重の設定の合理化の検討（Ⅳ.8.1 で詳述）は、従来の方法（図-Ⅳ.1.4.18 の上から 4 つめの系列）を基本として残しつつ、対象とする構造物の立地状況によっては、3.0 としていた水深係数を緩和できるとしたものである（図-Ⅳ.8.1.1.1 参照）。この緩和には、この技術系統における上から 6 つめの系列を、実務に適用しやすいように簡略化して表現したものとの技術的意味を持たせることができる（当該構造物に到達する際に襲来津波の Fr 数が小さくなっていれば、水深係数も小さくなる）。

以上のように、実務に供せられる実用的な波力算定法を扱う場合でも、その基盤となっている技術の系統との関係を整理しておくことで、様々な外力算定法の全体像、技術検討の進展に応じた算定法整理のあり方（改良、追加など）を容易に吟味できるようになる。実際は、実務から明らかになった波力設定法に関わる課題を受けて技術系統が進化することも多い。図-

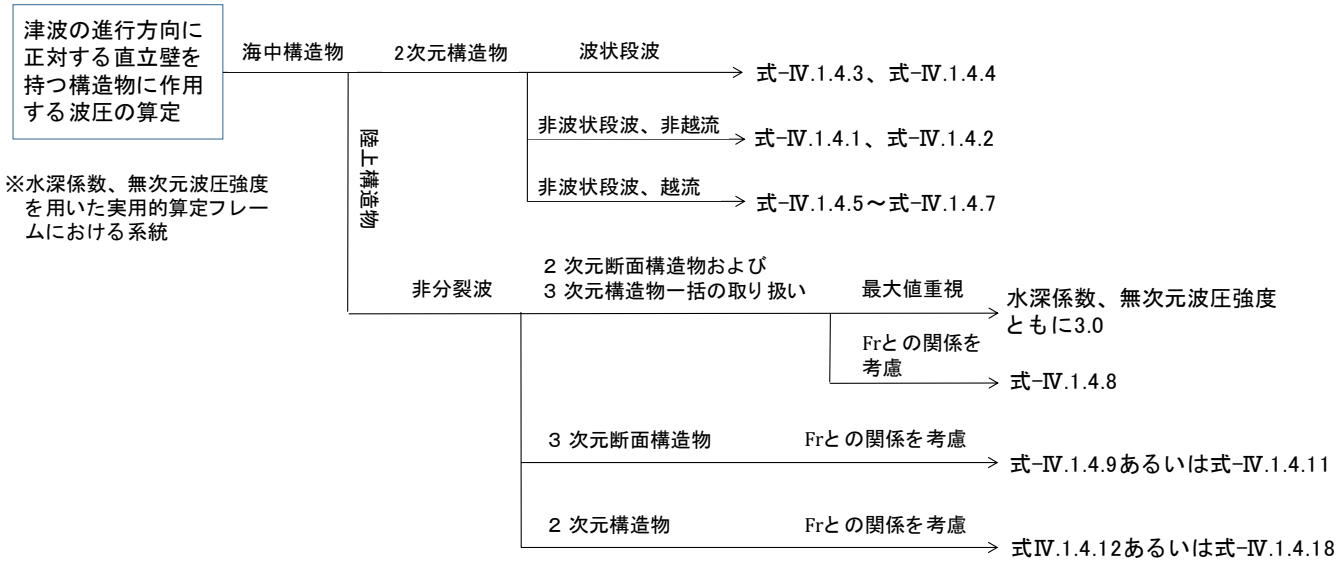



**図-Ⅳ.1.4.18　津波波力設定手法の技術系統図（水深係数、無次元波圧強度を基軸にした実用的算定フレームの中での整理。ただし、技術的位置づけの整理が目的で、設計における手法選択の提示を意図するものではない）**

Ⅳ.1.4.18 のような技術系統と波力設定法の改良・合理化を連動させながら行っていくという考え方が重要である。

参照文献
1) 首藤ら編、津波の事典、朝倉書店、2007
2) 谷本ら、1983 年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討、第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 257-261、1984
3) 朝倉ら、護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、海岸工学論文集、Vol. 47、pp.911-915、2000
4) 池野ら、ソリトン分裂と砕波を伴う津波の防波堤に作用する波力評価に関する実験的研究、海岸工学論文集 Vol. 52、pp. 751-755、2005
5) 社団法人日本港湾協会、港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007 年版）、平成 26 年改訂
6) Asakura et al.、 The tsunami wave force acting on land structures, Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering、ASCE、 1191-1202、 2002
7) 津波防災地域づくりに係る技術検討会、津波防災地域づくりに係る技術検討報告書、2012
8) 榊山勉、陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究、土木学会論文集 B2(海岸工学) 68(2), I_771-I_775, 2012

**参考文献**

1) 加藤 史訓、諏訪 義雄、藤田 光一、岸田 弘之、五十嵐 崇博、岡村 次郎、林 雄一郎、建築物等による津波のせき上げの評価方法、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68. No.2、I_356-I_360、平成 24 年 9 月.
2) 加藤 史訓、諏訪 義雄、鳩貝 聡、本間 基寛、内田 良始、津波の高さ予想に応じた津波浸水域の推定方法、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68.No.2、I_326-I_330、平成 24 年 11 月.
3) 谷本ら、1983 年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討、第 31 回海岸工学講演会論文集、pp.257-261、1984 年.
4) 朝倉ら、護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究、海岸工学論文集、vol.47、pp.911-915、2000 年.
5) 池野ら、ソリトン分裂と砕波を伴う津波の防波堤に作用する波力評価に関する実験的研究、海岸工学講演集、Vol.52、pp.751-755、2005 年.
6) 池野ら、The tsunami wave force acting on land structures 、Proceedings of the 28th International Conference on Coastal Engineering, ASCE 、pp.1191-1202、2002 年.
7) 榊山勉、陸上遡上津波の伝播と構造物に作用する津波波圧に関する研究、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68, No.2、I_771-I_775、2012 年.

## Ⅳ.2　地震に伴う土砂災害への対応の向上

2004 年新潟県中越地震や 2008 年岩手・宮城内陸地震など、近年の内陸直下型地震に伴う甚大な土砂災害の発生により、様々な土砂災害対策技術の開発が進められてきた。今後、南海トラフ等の大地震に伴う広域的な土砂災害の発生が懸念されていることもあり、海溝型の大地震に伴う土砂災害対策として、東日本大震災における土砂災害の実態を把握し、海溝型の大地震と内陸直下型地震による土砂災害の差違、斜面崩壊の危険度評価や地震後の降雨による斜面崩壊の危険度評価技術、地震直後の迅速な被害状況調査技術について、これら技術の検証を行った。

（1）地震時の斜面崩壊危険度評価

砂防研究室では、地震時斜面崩壊危険度評価手法について兵庫県南部地震を対象に開発を進め[1)]、同手法を近年の内陸直下型の地震に適用し、適用性・汎用性を確認してきた。

しかし、近年、海溝型の大地震が少なく、海溝型の地震に対する砂防研究室開発の地震時斜面崩壊危険度評価手法の有効性を検証できるデータセットがなかった。東日本大震災の発生により、海溝型の大地震による斜面崩壊の実態が把握され、海溝型の大地震に対する地震時斜面崩壊危険度評価手法の有効性の検証が可能となり、検証を行った。

その結果、海溝型の大地震に対しても、内陸直下型地震同様、斜面ごとの相対的な崩壊発生危険度を評価できること、すなわち斜面崩壊の危険度が相対的に高い斜面を抽出できることが確認された。しかしながら、同じ評価結果の斜面であっても、海溝型の大地震では、内陸直下型地震に比べて、明らかに斜面崩壊の発生確率が低いことがわかった。

以上の結果から、地震の形態の違い（内陸直下か海溝型か）により、同じ評価結果であっても斜面崩壊の確率に差はあるものの、砂防研究室で開発した地震時斜面崩壊危険度手法は、様々な形態の地震に対して斜面ごとの相対的な斜面崩壊危険度危険度評価に適用できることを示した。

（2）地震発生後の土砂災害警戒避難雨量基準の設定

平成 19 年に国土交通省と気象庁により地震等発生後の土砂災害警戒情報における暫定基準についての設定方法が示され、震度 5 強以上の地震発生後は雨量基準を通常より引き下げた暫定基準が適用されていた。

また、地震後の斜面崩壊発生が通常基準で捕捉できており、通常基準による土砂災害の見逃しが無いことが複数降雨で確認できた場合には、暫定基準は解除されていた。

しかし、この暫定基準とその解除方法は、経験的な知見から設定されたもので定量的な根拠に乏しかった。

東日本大震災では、暫定基準の対象となる地震が梅雨前に広範囲で発生したため、暫定基準を検証することが可能となるデータセットが多く得られた。検証を行った結果、暫定基準設定の考え方、暫定基準解除の考え方それぞれの妥当性を検証できた。

さらに暫定基準について必要最小限の引き下げ率を検討して震度 5 強で 8 割、震度 6 弱以上で通常基準の 7 割とすることを提案し、平成 25 年から運用が改まった。

（3）地震による土砂災害発生状況の早期・広域把握手法

地震発生時に土砂災害の発生状況について、広域を面的かつ効率的に把握する手法として、人工衛星に搭載されたセンサから観測された、可視・近赤外による光学画像、あるいはマイクロ波を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar：SAR）画像の判読が有効である。

東日本大震災では、これらの手法により崩壊地等の判読抽出を実施し、判読条件の検証を行った。

参照文献

1）内田太郎・片岡正次郎・岩男忠明・松尾修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智、地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料第 204 号、2004

## Ⅳ.2.1　地震時の斜面崩壊危険度評価法の改良検討

### Ⅳ.2.1.1　既往の評価法と課題

地震時の斜面崩壊による被害の軽減にあたっては、事前に斜面崩壊のおそれの高い場所を抽出し、ハード対策を実施する、地震による斜面崩壊により孤立するおそれのある場所を事前に抽出・対策する、地震後に緊急的に調査を行い、2 次的な災害を防ぐなどが考えられる。これらいずれの対策においても、地震による斜面崩壊の発生危険度を評価しておくことが重要である。

これまで国総研砂防研究室では、地震による斜面崩壊の危険度を評価する手法として、兵庫県南部地震で発生した斜面崩壊を対象に検討を行い、「地震による斜面崩壊危険度評価判別式」（以下、判別式）を提案した[1)]。

$$F = 0.075I - 8.9C + 0.0056A - 3.2 \quad \cdots（1）$$

$F$：判別得点
$I$ ：斜面勾配（°）
$C$：斜面の平均曲率
$A$：地震動の最大加速度（cm/s²）

ここで、判別得点 $F$が大きいほど崩壊危険度が高いことを表す。本手法については、これまでに新潟県中越地震、岩手・宮城内陸地震等の地震に対して、「判別得点が大きい斜面ほど実績の崩壊発生率が高い」という、「相対的かつ定性的」な評価が一般的に成り立つことが確認されている[2) 3)]。

一方、地震が斜面安定に及ぼす影響は直下型地震と海溝型地震で異なると考えられてきている[4)]。しかし、これまで本手法の実用性が検証されてきた地震は内陸型地震の事例が多く、海溝型地震での検討が十分ではなかった。これは近年、規模の大きい海溝型の地震がなく、海溝型地震による崩壊地分布の把握がなされなかったためである。

また、本手法の実効性をより高めるためには、判別得点と斜面崩壊発生率の関係に関する事例を増やし、一元的に整理することにより、様々なタイプの地震に統一的に同じ指標で評価できるように「絶対的かつ定量的」な評価が行えるようにすることが必要である。

そこで本検討では、既往の内陸型地震による斜面崩壊にあわせ、海溝型地震である東北地方太平洋沖地震による斜面崩壊を対象に判別式の実効性を検証した。

### Ⅳ.2.1.2　実績データの整理

本検討では表-Ⅳ.2.1.1 に示す既往 6 地震に東北地方太平洋沖地震を加えた 7 地震を対象とした。そこで、まず、10m メッシュごとに、崩壊地判読データを基に、各メッシュが崩壊地に該当する崩壊メッシュか該当しない非崩壊メッシュかを判別した。その上で、10m メッシュごとの判別得点を式（1）で算出した、判別得点ごとの崩壊メッシュ数と非崩壊メッシュ数を整理し、各得点区分に該当するメッシュの全数（崩壊メッシュ数と非崩壊メッシュ数の合計）に対する崩壊メッシュ数の割合（＝崩壊発生率）を算出した。なお、本分析では、地震直後の空中写真判読により作成された崩壊地ポリゴン内に、あるメッシュの重心が含まれている場合、当該メッシュを崩壊メッシュと判定した。

### Ⅳ.2.1.3　評価法の改良検討

図-Ⅳ.2.1.1.図-Ⅳ.2.1.2 に示したように、検討した全ての地震において、判別得点が増加すると崩壊発生率が増加する傾向が見られた。また、図-Ⅳ.2.1.1.2 に示したように、東北地方太平洋沖地震においても判別得点が増加すると崩壊発生率が増加する関係がみられることから、海溝型地震についても判別式が相対的な斜面崩壊危険斜面の抽出に一定の実効性を持っていると考えられる。また、海溝型地震による斜面崩壊危険度は、判別得点が同じ場合、内陸直下型地震のそれに比べて、概ね 100 倍程度崩壊発生確率が低いことが分かった。

図-Ⅳ.2.1.1 で示した判別得点と崩壊発生率の関係は地震によって同じ得点でも崩壊発生率が数倍以上異なっており、判別得点は絶対的かつ定量的に斜面崩壊の危険度を評価しているとは言いがたい。そこで、本研究では、定量的な評価を目指し、地震の影響範囲内の相対的な斜面崩壊危険度の大小を定量的に算出する手法について検討を行うこととし、次のような整理を行った。

① 各地震における検討対象エリア内の平均崩壊発生率（＝各地震の対象メッシュ全数に対する崩壊メッシュ数の割合）を算出
② 各地震、各得点区分の崩壊発生率を平均崩壊発生率で割った値（＝平均崩壊発生率に対する崩壊発生率の倍率、崩壊発生倍率と呼ぶ）を算出

図-Ⅳ.2.1.3 に判別得点と崩壊発生倍率の関係を示した。図-Ⅳ.2.1.1 と比較すると東北地方太平洋沖地震をのぞき地震ごとのばらつきが小さくなり、判別得点が上がるにつれて崩壊発生倍率が指数関数的に増加

表-Ⅳ.2.1.1　検討対象７地震

| | 兵庫県南部地震 | 神津島地震 | 新潟県中越地震 | 能登半島沖地震 | 新潟県中越沖地震 | 岩手・宮城内陸地震 | 東北地方太平洋沖地震 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 発生年 | 1995 | 2000 | 2004 | 2007 | 2007 | 2008 | 2011 |
| 最大震度 | 7 | 6弱 | 7 | 6強 | 6強 | 6強 | 7 |
| 対象地域 | 六甲山系流域 | 神津島全島 | 芋川流域 | 能登半島北部 | 出雲崎付近 | 栗駒山周辺 | 栗駒山周辺 |
| 対象面積 | 174km$^2$ | 38km$^2$ | 20km$^2$ | 16km$^2$ | 22km$^2$ | 590km$^2$ | 590km$^2$ |
| 対象地域内の崩壊数 | 2,350箇所 | 1,500箇所 | 830箇所（他 地すべり50箇所） | 60箇所 | 330箇所 | 2,960箇所（他 地すべり60箇所） | 350箇所 |
| 主な地質 | 深成岩類（花崗岩）、一部堆積岩類 | 第四紀火山岩類 | 新第三紀堆積岩類 | 新第三紀火山岩類 | 新第三紀堆積岩類 | 第三紀・第四紀火山岩類、堆積岩類 | 第三紀・第四紀火山岩類、堆積岩類 |

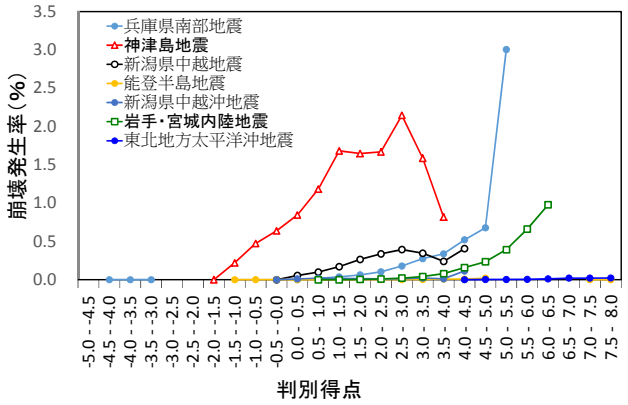



図-Ⅳ.2.1.1　各地震における崩壊発生率の比較

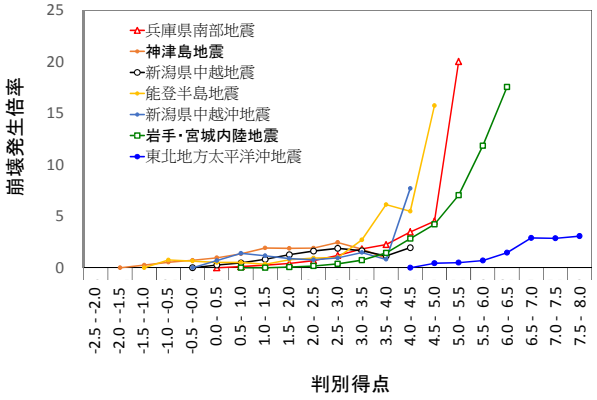



図-Ⅳ.2.1.3　各地震における崩壊発生倍率

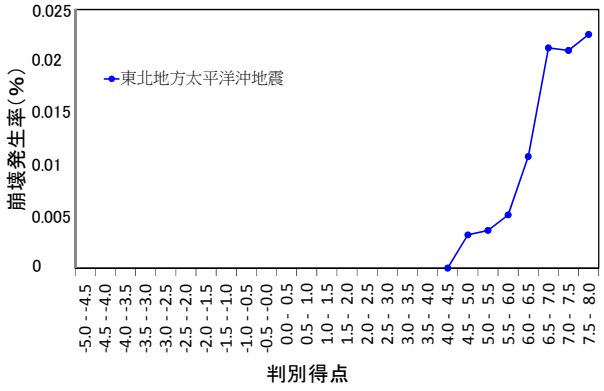



図-Ⅳ.2.1.2　東北地方太平洋沖地震での判別得点と崩壊発生率

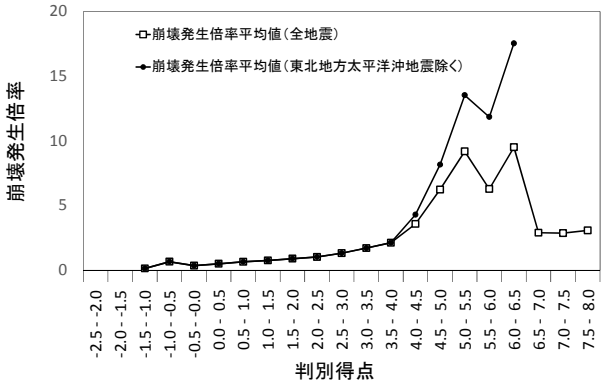



図-Ⅳ.2.1.4　全地震における崩壊発生率/平均崩壊発生率の関係

する傾向が見られた。一方、東北地方太平洋沖地震では、他の地震同様、判別得点が 4～5 程度を境に、崩壊発生倍率が急激に増加する傾向は他の地震と共通していたが、判別得点が同じでも崩壊発生倍率が 10 倍程度小さい結果となった。

次に、対象地震すべてのデータを用いて、判別得点と崩壊発生倍率を示した（図-Ⅳ.2.1.4）。ただし、東北地方太平洋沖地震は傾向が異なることが図-Ⅳ.2.1.3 で示唆されたため、対象 7 地震すべてを分析したものと、東北地方太平洋沖地震を除いて分析したものを示した。ここで、東北地方太平洋沖地震を除いて示した関係について、崩壊発生倍率をみることで、指数増加の関係が得られることが分かる。さらに、この関係について縦軸を対数化したものが図-Ⅳ.2.1.5 である。

図-Ⅳ.2.1.5 で得られた関係に近似曲線を求めると次の近似式が導出される。

$$R_h = 0.3824 \times e^{0.5828 \times F} \qquad (2)$$

$R_h$：崩壊発生率の倍率、$F$：判別得点

上式を用いることにより、内陸型の地震に対しては、判別得点が何点の場合に、ある斜面の崩壊発生率が地震の影響範囲（地震によって斜面崩壊が発生する範囲）の平均的な崩壊発生率から何倍高くなるかが一意に求まる。

なお、地震によって斜面崩壊が発生する範囲については、地震の規模のよって異なるとするいくつかの既往研究があり、地震のマグニチュードに基づく影響範囲の面積の予測式が提案されてきている[5]。定量化また、同式を海溝型地震に当てはまる場合は、現時点では、東北地方太平洋沖地震のみの事例ではあるが、算出結果に 0.1 程度の値をかける必要があることが示唆された。

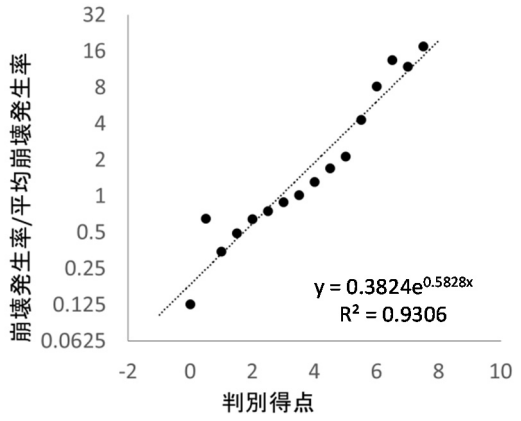



**図-Ⅳ.2.1.5 対象地震（東北地方太平洋沖地震除き）における判別得点と崩壊発生倍率の関係**

## Ⅳ.2.1.4 結論

本検討では、過去に国総研砂防研究室で提案してきた地震による斜面崩壊危険度評価判別式を用いて、定量的に様々な地震に共通して適応できる斜面崩壊危険度評価手法の検討を行った。その結果、ここで検討した 6 つの内陸型地震の全てで国総研砂防研究室で提案してきた地震による斜面崩壊危険度評価判別式で得られる判別得点と「検討対象エリアの平均崩壊発生率に対する崩壊発生率」の比は、1 つの関係で概ね表現可能なことを示した。一方、海溝型地震の東北地方太平洋沖地震では、内陸型地震に比べて、「検討対象エリアの平均崩壊発生率に対する崩壊発生率」の比の 10 分の 1 程度となった。これらの成果により、より広範なタイプの地震に対して共通の手法により斜面崩壊危険度評価ができるようになりつつある。ただし、判別得点と海溝型地震の崩壊発生率の関係についてはまだ 1 例しかないので、今後さらなる検討が必要である。

なお本稿は平成 26 年度砂防学会研究発表会にて発表された「地震時斜面崩壊危険度評価手法の高度化に関する検討[6]」を本研究報告書の趣旨に鑑み、再構成したものである。

参照文献

1) 内田太郎・片岡正次郎・岩男忠明・松尾修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智、地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料第 204 号、2004

2) 冨田陽子・桂真也・小山内信智・戸村健太郎・高山陶子・中島達也・岡野和行・原田美鈴、「地震による斜面崩壊危険度評価判別式」の岩手・宮城内陸地震への適用について、平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集、頁 572-573、2010

3) 奥山悠木・野村康裕・岡本敦・高山陶子・戸村健太郎、地震時斜面崩壊危険度評価手法の高度化に関する検討、平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集、頁 B370-371、2013

4) 例えば、中村浩之・土屋 智・井上公夫・石川芳治編、地震砂防、古今書院、2000

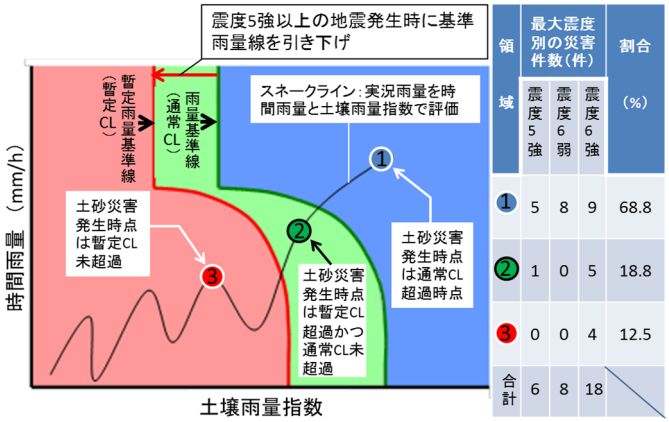
5) Keefer, D.K., Investigating landslide caused by earthquakes—a historical review. Surveys in Geophysics 23, 473–510, 2002.

6) 奥山悠木・内田太郎・秦雅之・蒲原潤一・高山陶子・松田昌之、地震による斜面崩壊危険度の絶対的評価に向けての検討、平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集、頁 B318-319、2014

## Ⅳ.2.2　地震発生後の土砂災害警戒避難雨量基準の設定

### Ⅳ.2.2.1　背景

降雨を誘因とする土砂災害を対象とした防災情報として、都道府県及び地方気象台により土砂災害警戒情報が発表される。この土砂災害警戒情報は、時間雨量及び土壌雨量指数を指標とした雨量基準線(CL：Critical Line)を設定し、実況および予測雨量の推移を示すスネークラインが 2 時間以内に CL を超過すると予想された時に発表される（図-Ⅳ.2.2.1.1)。




| 領域 | 最大震度別の災害件数（件） 震度5強 | 震度6弱 | 震度6強 | 割合（%） |
|---|---|---|---|---|
| ① | 5 | 8 | 9 | 68.8 |
| ② | 1 | 0 | 5 | 18.8 |
| ③ | 0 | 0 | 4 | 12.5 |
| 合計 | 6 | 8 | 18 | |

図-Ⅳ. 2. 2. 1. 1　スネークラインによる超過判定領域区分

表-Ⅳ. 2. 2. 1. 1　暫定基準設定及び解除の考え方

| | |
|---|---|
| 暫定基準設定 | |
| H19.12.17 事務連絡（検証前） | 震度 5 強で通常の 7～8 割、震度 6 弱以上で 5～6 割に引き下げ |
| H25.5.15 事務連絡（検証見直し後） | 震度 5 強で通常の 8 割、震度 6 弱以上で 7 割に引き下げ |
| 暫定基準解除 | |
| H19.12.17 事務連絡（検証前） | 被害状況、土砂災害危険箇所の緊急点検や応急復旧対策等の状況、および降雨等による土砂災害発生状況等により解除 |
| H25.5.15 事務連絡（検証見直し後） | 地震後の崩壊発生が通常基準で捕捉できており見逃しが無いことが複数降雨で確認できた場合に解除 |

降雨を誘因とする土砂災害については、地震動により斜面に亀裂が生じるなど地盤状況が変化することで、地震発生後には地震前と比較して少ない降雨でも崩壊が発生すると言われている。例えば、平成 7 年兵庫県南部地震で発生した崩壊と他の崩壊発生事例を降雨指標（時間・積算雨量、タンク貯留量、実効雨量）に着目して比較した事例がある。この事例では地震直後に崩壊が認められなかった斜面で、新たに崩壊が発生した拡大崩壊発生時点と他の崩壊発生事例時点の降雨指標が比較され、拡大崩壊発生時点の降雨指標は 3 割から 5 割程度の少ない値を示していた[1)]。

こういった崩壊発生事例に対応するため、2007 年に都道府県及び地方気象台に対して、国土交通省と気象庁は、土砂災害警戒情報における地震等発生後の暫定基準について設定方法と解除の考え方を示した（図-Ⅳ.2.2.1.1、表-Ⅳ.2.2.1.1）[2)]。しかし、この考え方は経験的な知見から設定されたもので、定量的な根拠に乏しかったため、実事例を用いて検証することが求められていた。

### Ⅳ.2.2.2　地震発生後に暫定基準を適用する妥当性の検証

2011 年東北地方太平洋沖地震が発生した 3 月 11 日から 9 月 29 日まで 22 回の震度 5 強以上を観測する地震が発生し、9 都県で暫定基準が運用された。これらの地震後の降雨により、図-Ⅳ.2.2.1 に示した領域②や領域③において 32 件の土砂災害が発生した。そこで、この発生事例を用いて、地震発生後に暫定基準を適用することの妥当性及び設定方法と解除の考え方について国総研危機管理技術研究センター砂防研究室において検証を行った[3)]。

図-Ⅳ.2.2.1.1 左側に基づいて、図-Ⅳ.2.2.1.1 右側及び図-Ⅳ.2.2.2.1 に、32 件の土砂災害を対象災害として、どの領域で発生したかを震度毎に整理した。

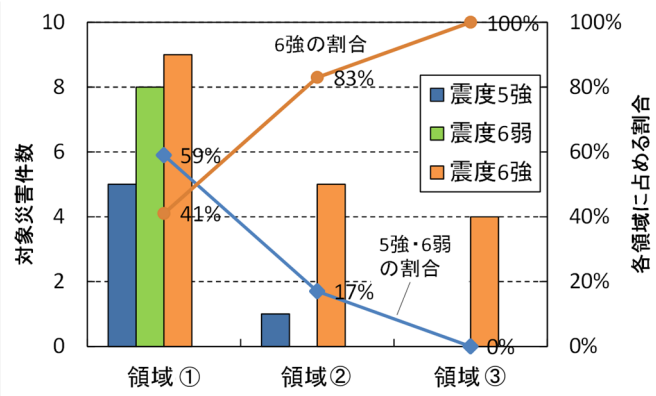



図-Ⅳ. 2. 2. 2. 1　対象災害の発生領域と震度の関係

土砂災害発生時点で対象市町村内のスネークラインが通常 CL 超過後(領域①)であった災害を捕捉と判定する。地震時以外は通常 CL での災害捕捉率の全国平均値は 75%である。一方、図-Ⅳ.2.2.1 のとおり、地震後の通常 CL での災害捕捉率は 68.8%となり低下する。

このため、CL を暫定的に引き下げ(暫定 CL)、暫定 CL 超過後(領域②)の災害を捕捉できるようにすると捕捉率は 87.6%となる。このように、地震時には暫定基準を適用することの妥当性が確認された。さらに、図-Ⅳ.2.2.2 のとおり、領域①から領域③と降雨規模が小さくなるに従って、各領域の土砂災害に占める震度 5 強・6 弱の割合は下がるが、震度 6 強の割合は増加する。これは強震動を受けるとより少ない降雨で災害が発生しやすくなることを示唆している。

### Ⅳ.2.2.3　暫定基準解除の考え方の検証

暫定基準の適用による CL 超過時の災害非発生率(空振り率)及び 1 年あたりの CL 超過回数(超過頻度)の変化について分析した（図-Ⅳ.2.2.3.1、図-Ⅳ.2.2.3.2)。暫定基準では、同じ期間に通常基準を適用した場合と比べ、空振り率は 2%増加し、超過頻度は約 2 倍に増加した。

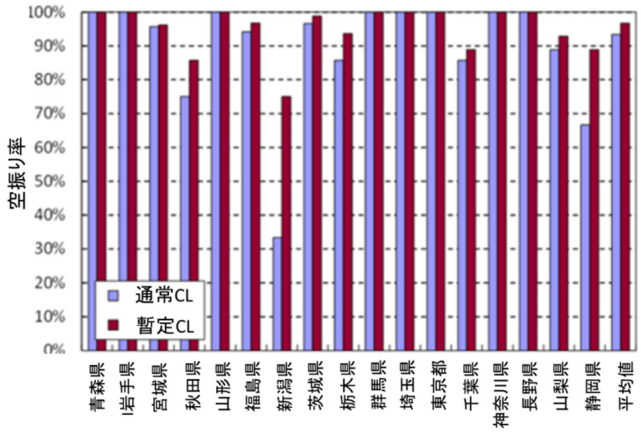



図-Ⅳ. 2. 2. 3. 1　通常 CL 適用時の空振り率と暫定 CL 適用時の空振り率の比較

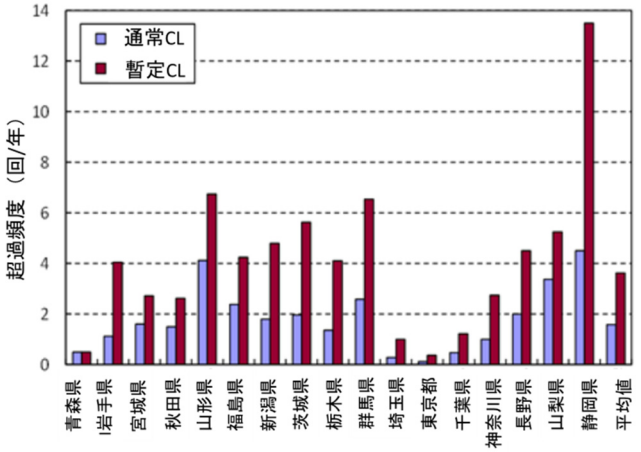



図-Ⅳ. 2. 2. 3. 2　通常 CL 適用時の超過頻度と暫定 CL 適用時の超過頻度の比較

暫定基準を適用すると、空振り率・超過頻度がともに増加することから、拡大崩壊のおそれがなくなった場合には速やかに通常基準に戻す必要がある。表-Ⅳ.2.2.1 に示した暫定基準解除の考え方は、複数回通常基準を上回る降雨があり、かつ通常基準以下の降雨で新たな崩壊が無い場合に検討されるのが一般的である。このような考え方に沿って災害捕捉率について試算したところ、暫定基準を継続し解除しない場合と変化が見られなかった。さらに、CL 超過頻度は 1 割低減した。土砂災害警戒情報の運用成績を分析する指標類について検証した結果から、通常の解除の考え方はある程度妥当なものと考えられた。

### Ⅳ.2.2.4　暫定 CL のより適切な設定方法の検討

暫定基準による空振り率や超過頻度の増加をできる限り抑制するには、引き下げ率を捕捉率が維持できる必要最小限に抑えることが望ましい。そこで、暫定基準で捕捉できた領域①及び領域②に含まれる災害の 28 件について、実運用時の引き下げ率と捕捉可能最小限の引き下げ率の関係を示した。（図-Ⅳ.2.2.4.1)。実際に運用された引き下げ率に対して最小限の引き下げ率は同じか小さく、実態は安全側で運用されていたことが確認できた。検討した事例から得られた最小限の引き下げ率を適用した場合、暫定基準は震度 5 強以上の地震は通常の 8 割、震度の 6 弱以上は通常の 7 割となる。そこで、通常 CL、最小限の引き下げ率、運用された引き下げ率について超過頻度と空振り頻度を比較した（図-Ⅳ.2.2.4.2)。CL 超過頻度と空振り頻度は実際に運用された引き下げ率適用時と比較して最小限の引き下げ率適用時が減少していた。そのため、暫定 CL の設定には捕捉可能な最小限の引き下げ率(震度 5 強以上の地震は通常の 8 割、震度の 6 弱以上は通常の 7 割)を適用することが望ましいと国土交通省と気象庁に対して提案した。

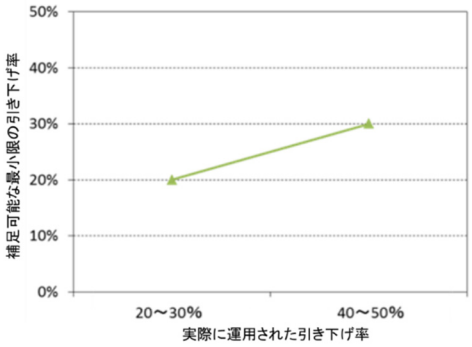



図-Ⅳ. 2. 2. 4. 1　実際に運用された引き下げ率と捕捉可能な最小限の引き下げ率の関係

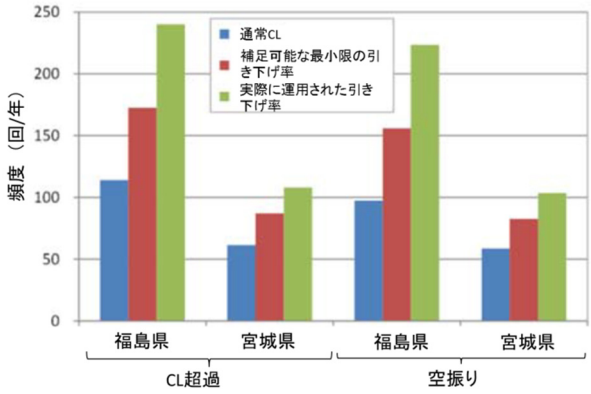



**図-Ⅳ.2.2.4.2　CL 超過頻度と空振り頻度（通常時、暫定基準（最小限の引き下げ率）、暫定基準（地震時運用））**

### Ⅳ.2.2.5　まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震後 7 ヶ月の降雨データ及び土砂災害発生データを用いて暫定基準の設定方法について検証が行われた。検証を行った結果、強い地震動を多く経験することでより小さな降雨により崩壊しやすくなる傾向が確認でき、暫定基準を設定することの妥当性が示された。暫定基準解除の考え方についても崩壊発生が捕捉できていることが確認でき妥当と考えた。暫定基準とする必要最小限の引き下げ率を検討して震度 5 強で 8 割、震度 6 弱以上で通常基準の 7 割とすることを国土交通省砂防部に提案した。国土交通省と気象庁は提案された引き下げ率を採用して 2013 年に運用が改訂された。

参照文献

1) 冨田陽子、桜井亘、中庸充、六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について、砂防学会誌、Vol.48、No.6、p.15-21、1996

2) 国土交通省河川局砂防部、土砂災害警戒情報における地震発生後の暫定基準について（平成 19 年 12 月 17 日事務連絡）、砂防便覧、治水砂防協会、p.1127-1129、2010

3) Yasuhiro Nomura、Atsushi Okamoto、Kazumasa Kuramoto、Hiroshi Ikeda、Landslide-triggering Rainfall Threshoulds after Major Earthquakes for Early Warning、International Journal of Erosion Control Engineering、Vol. 7、No.2、2014

## Ⅳ.2.3　合成開口レーダ画像を用いた大規模崩壊地の迅速な調査手法の提案

### Ⅳ.2.3.1 はじめに

地震に伴う斜面崩壊による被害状況を迅速に把握することは、応急対応や二次災害防止のために重要である。

しかし、地震の影響は広域に及ぶ場合があり、また道路の寸断等により陸路での現地の被害状況確認が困難な場合もあるため、被害状況の把握に時間がかかる。そのため、広域の被害状況を面的に調査する手法として、人工衛星（観測幅数 10km 程度）や航空機（観測幅数 km 程度）に搭載されたセンサを用いて上空から調査可能なリモートセンシング技術の活用が有効である。

本研究では、人工衛星や航空機に搭載されたセンサを用いたリモートセンシングによる斜面崩壊の判読調査手法について検討を行った。また、国内観測史上最大規模の地震が発生した 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震により、広域的に発生した斜面崩壊の分布状況をリモートセンシングにより調査した結果を示すものである。

### Ⅳ.2.3.2 光学画像を用いた判読調査・崩壊分布の把握

(1) 背景

人工衛星や航空機に搭載されている光学センサは、1m より高分解能なものが運用されている。東北地方太平洋沖地震の際には、光学センサによる広範囲で高分解能な画像が取得されている。そこで、これらの光学画像を用いて判読できる崩壊地の規模を調査するとともに、今後の地震による土砂災害の危険度評価等のための基礎資料として、広域的な強振動を伴った東北太平洋沖地震の崩壊地判読調査を行った。判読に使用した光学画像は、①1m より高分解能であること、②撮影日が明示されていること、③経済的・汎用的に入手・利用可能であることの条件に合致し、地震の前後に撮影された、Google earth 画像と航空写真を用いた。

(2) 崩壊地判読調査

震度 5 強以上の地域では、斜面崩壊等の土砂災害が発生する可能性が高いとされている[1)]。そこで、気象庁発表の推計震度分布で「震度 6 以上の地域を全て網羅し、かつ震度 5 強以上とされた地域が概ね含まれる範囲」（東西約 100km、南北約 450km）を調査範囲とした。

調査範囲において、Google earth 上に掲載された震

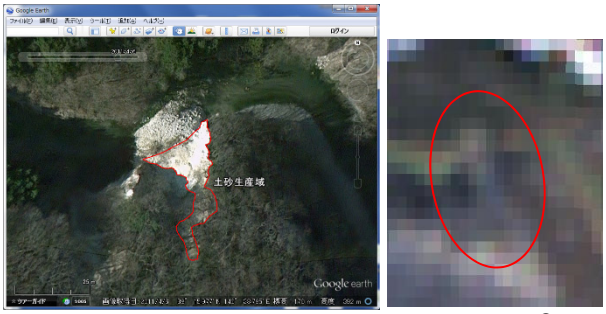



図-Ⅳ.2.3.2.1　分解能による崩壊地画像の違い（名取川）
左：2011.4.6 Google earth画像（分解能約1m）
右：2011.3.12 ALOS AVNIR-2画像（分解能約10m）




図-Ⅳ.2.3.2.2　日照の有無による崩壊地画像の違い
（Google Earth画像2011.4.6 福島市内 摺上川）

災後の高分解能光学画像、及び震災前後に撮影された航空写真を用いて、崩壊地判読を実施し、各崩壊地の土砂生産域をGISデータ化した。その際、東北地方整備局が把握する「土砂災害の発生箇所」や、日本地すべり学会の取りまとめ結果[2)]についても参照した。

崩壊地判読の精度は画像の分解能に大きく依存する。崩壊幅約 30m 程度の崩壊地での分解能による視認性の違いを図-Ⅳ.2.3.1 に示す。分解能 1m 程度の高分解能画像は、巨礫であれば直径数 m 程度の大きさまで識別できるため、伐採跡地や採石場等の誤抽出が軽減され、崩壊斜面や崩積土の堆積範囲が比較的容易に判読できる。一方、分解能 10m 程度の画像では、崩壊斜面や崩積土等の視認性が著しく低下し、崩壊地の抽出自体が困難となる。従って、崩壊幅約 30m 程度の小規模な崩壊地について見落としを減らすには、1m 程度より高い分解能を確保する必要がある。

また、崩壊地判読の視認性を低下させる要因として、日照による影響も考慮する必要がある。図-Ⅳ.2.3.2 に示す地域では、東側の崩壊地群は日なたに位置するため明るく、色調の違いによる判読が容易である。しかし、西側の崩壊地群は日陰のため全体的に暗くなり、著しく視認性が低下する。このように、光学画像は、撮像時点の日照状況により色調が大きく異なることから、特に日陰となりやすい急峻な谷地形では、河道閉塞（天然ダム）を伴うような大規模崩壊を見逃さないように留意する必要がある。対処法の一つとしては、色調補正等の画像処理を適宜行いながら、河道に沿って崩壊地判読を進めることが挙げられる。

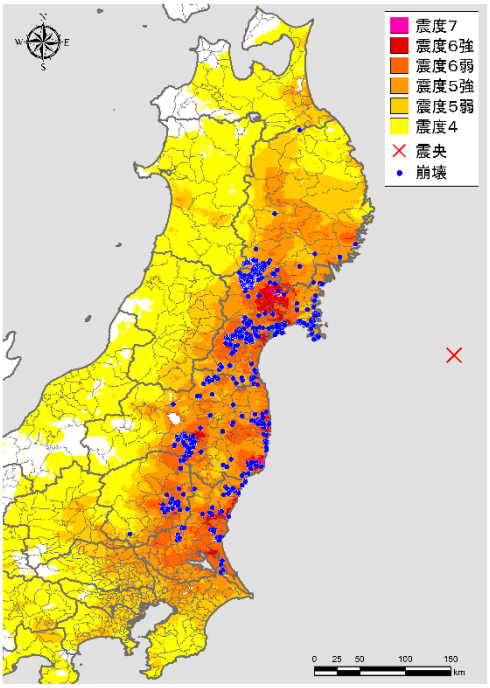



図-Ⅳ.2.3.3.3　東日本大震災の本震に伴う崩壊分布
（背景図：東北地方太平洋沖地震の推計震度分布（気象庁））

(3) 調査結果

判読の結果、東北太平洋沖地震の本震に伴う崩壊地として 1,114 箇所を抽出し、主要な崩壊地については網羅的に抽出された（図-Ⅳ.2.3.2.3）。なお、震災直後に、陸域観測技術衛星の ALOS（Advanced Land Observing Satellite）に搭載された光学センサ AVNIR-2 により観測された画像から抽出できていた崩壊地は、比較的崩壊規模が大きい 17 箇所であった。今回の判読における留意事項として、判読対象範囲内の一部に、高分解能画像が入手・利用できない未判読エリアがあること、崩壊幅約 20～30m より小規模な崩壊地や、亀裂変状など土砂移動が顕在化していない崩壊地を見逃している可能性があること等が挙げられる。しかし、主要な崩壊地は網羅的に抽出されており、震災に伴う崩壊分布特性を言及するのに十分な基礎情報を記録することができた。判読された崩壊分布から読み取れる特徴として、広範囲で震度 5 強以上を観測したにも関わらず、崩壊発生密度はそれほど高くなか

ったことがうかがえる。また、土砂災害の発生密度が必ずしも本震の震度とは対応していないことも挙げられる。なお、今回の崩壊地判読結果は、被害の有無を考慮していないため、被害が生じた箇所が対象の「土砂災害の発生箇所」の報告とは異なることに留意されたい。

また、光学画像を用いて比較的小規模な崩壊地(幅20m 以下)の判読抽出を行うためには、拡大すると斜面崩壊で発生した個別の岩塊が判別可能で、伐採跡地や採石場等と崩壊地がより明確に区別出来ることから、1m より高分解能な画像が必要である。分解能の 20～30 倍程度より大規模な崩壊地(今回においては幅約 20～30 m 以上)は、より確実に判読抽出できるが、それより小さな崩壊地は、判読出来ず見落としが生じやすいことが分かった。

なお、本内容は水野ほか（2014）[3]を本研究報告書の趣旨に鑑み、再構成したものである。

### Ⅳ.2.3.3　合成開口レーダ画像を用いた迅速な大規模崩壊地の調査手法の提案

可視光や近赤外を観測する光学センサは、人の目が見ているような画像が得られるため、視認性が良く崩壊地の識別が容易であるが、夜間や雲がある場合は観測できない。そこで、昼夜・天候を問わずに発生する地震時に、迅速に被害状況を把握する手段として、合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: 以下、「SAR」という）を用いた判読調査手法の検討を行った。

SAR センサは、マイクロ波を地表面に斜めに照射し、地表面からの後方散乱波を受信する能動型センサである。マイクロ波は雲を透過することができ、また、観測に太陽光を使用しないため、全天候で観測することができ、夜間の観測も可能である。人工衛星に搭載されている合成開口レーダはセンサにより波長の異なる X、C、L バンドのマイクロ波が用いられており、高分解能のものは、数十 km の範囲を観測する場合、観測する偏波数に応じて分解能は 3m～8m 程度である。SAR 画像はマイクロ波の反射強度を表す画像であり、画像に歪みや倒れ込みがあるのが特徴で、光学画像に比べて地被状況（裸地や植生の違い等）の判別が難しい（図-Ⅳ.2.3.4）。そのため、平成 23 年 9 月の紀伊半島大水害で発生した河道閉塞箇所を事例とした判読調査結果[4]等をもとに、人工衛星 SAR 画像による崩壊地の判読に適した観測条件や判読可能な崩壊地の規模等

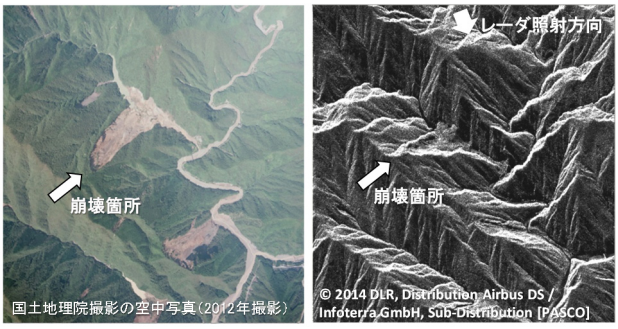



図-Ⅳ.2.3.4　光学画像（左図）とSAR画像（右図）

の整理を行った。その結果、大規模崩壊を対象にした判読調査においては、観測に用いるマイクロ波の波長の違い（X、C、L）では、視認性に大きな違いがないことや、分解能 3m～8m 程度の画像では、平面投影面積が概ね 1ha 以上大規模崩壊や河道閉塞を判読することが出来ることが分かった。また、目視判読の効率化や判読結果の一定の精度を確保するための判読手順やチェックリストの整理等、緊急時の効率的な判読調査に資する手法を提案した[5)、6)]。

なお、実用に向け試験レベルで運用されている航空機に搭載された SAR センサは、最高分解能 0.3m 程度と人工衛星搭載センサよりも高分解能での観測が可能であり、今後、実用された場合には、より小規模の崩壊地の判読が期待される。

### Ⅳ.2.3.4　結論

本研究では、地震時に広域を面的かつ効率的に調査する手法として、人工衛星や航空機に搭載されたセンサを用いたリモートセンシングによる斜面崩壊の判読調査手法の検討を行った。

光学センサ、SAR センサで、判読調査に用いる画像の取得タイミングや把握可能な崩壊地の規模等、それぞれ特徴があるため、地震後の天候や時間、調査により把握したい事項に応じて、効果的に組み合わせることが重要と考える。また、被害状況を迅速に観測する上で、人工衛星の観測機会は限られるため、複数衛星の利用を想定する必要がある。また、観測の迅速性や柔軟性、高分解能画像による判読精度の向上が期待される航空機の活用も含め、リモートセンシングを用いた災害時の判読調査における最適なオペレーションについて、そのアルゴリズムや調査箇所の優先度評価技術などを検討していきたい。

参照文献

1) 伊藤英之・小山内信智・西本晴男・臼杵伸浩・佐口治、地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係、砂防学会誌, Vol.61, No.5, 頁 46-51, 2009
2) 檜垣大助・佐藤剛・梅村順・井良沢道也・千葉則行・若井明彦・鵜飼恵三・川邉洋・綱木亮介・八木浩司・武士俊也・冨田陽子、平成 23 年東北地方太平洋沖地震に見る海溝型巨大地震での斜面災害発生場、平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集、頁 198-199、2012
3) 水野正樹・蒲原潤一・江川真史・神山嬢子、高分解能光学画像を用いた東日本大震災時の崩壊分布把握、土木技術資料、Vol.56、No.7、頁 43-44、2014
4) 林真一郎・水野正樹・佐藤匠・神山嬢子・岡本敦・吉川知弘・鵜殿俊昭・横田浩・野田敦夫・吉川和男、紀伊半島台風 12 号災害を事例とした人工衛星高分解能 SAR 画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立、砂防学会誌、Vol.66、No.3、頁 32～39、2013
5) 水野正樹・神山嬢子・江川真史・佐藤匠・蒲原潤一・林真一郎、単偏波の高分解能 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案）、国土技術政策総合研究所資料第 760 号、2013
6) 水野正樹・神山嬢子・江川真史・佐藤匠・蒲原潤一、2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案）、国土技術政策総合研究所資料第 791 号、2014

**参考文献**

1) 奥山悠木、内田太郎、秦雅之、蒲原潤一、高山陶子、松田昌之、地震による斜面崩壊危険度の絶対的評価に向けての検討、平成 26 年度砂防学会研究発表概要集 B、B318-319、平成 26 年 5 月.
2) 冨田陽子、桂真也、小山内信智、戸村健太郎、高山陶子、中島達也、岡野和行、原田美鈴、「地震による斜面崩壊危険度評価判別式」の岩手・宮城内陸地震への適用について、平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.572-573、2010 年.
3) 奥山悠木、野村康裕、岡本敦、高山陶子、戸村健太郎、震時斜面崩壊危険度評価手法の高度化に関する検討、平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集、B370-371、2013 年.
4) Keefer,D.K.、Investigating landslide caused by earthquakes-a historical review 、Surveys in Geophysics、23、pp.473-510、2002 年.
5) 冨田陽子、桜井亘、中庸充、六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について、砂防学会誌、Vol.48, No. 6、pp.15-21、1996 年.
6) 国土交通省河川局砂防部、土砂災害警戒情報における地震発生後の暫定基準について（平成 19 年 12 月 17 日事務連絡）、砂防便覧、治水砂防協会、、pp.1127-1129、2010 年.
7) Yasuhiro Nomura 、 Atsushi Okamoto 、 Kazumasa Kuramoto 、 Hiroshi Ikeda 、 Landslide-triggering Rainfall Thresholds after Major Earthquakes for Early Warning、International Journal of Erosion Control Engineering、Vol.7. No. 2、pp.56-62、平成 26 年 11 月.
8) 伊藤英之、小山内信智、西本晴男、臼杵伸浩、佐口治、地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係、砂防学会誌、Vol.61, No. 5、46-51、2009 年.
9) 檜垣大助、佐藤剛、梅村順、井良沢道也、千葉則行、若井明彦、鵜飼恵三、川邉洋、綱木亮介、八木浩司、武士俊也、冨田陽子、平成 23 年東北地方太平洋沖地震に見る海溝型巨大地震での斜面災害発生場、平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.198-199、2012 年.
10) 水野正樹、蒲原潤一、江川真史、神山嬢子、高分解能光学画像を用いた東日本大震災時の崩壊分布把握、土木技術資料、第 56 巻.第 7 号、pp.43-44、平成 26 年 7 月.
11) 林真一郎、水野正樹、佐藤匠、神山嬢子、岡本敦、吉川知弘、鵜殿俊昭、横田浩、野田敦夫、吉川和男、紀伊半島台風 12 号災害を事例とした人工衛星高分解能 SAR 画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立、砂防学会誌、Vol.66, No. 3、pp.32-39、2013 年.
12) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一、林真一郎、単偏波の高分解能 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案）、国土技術政策総合研究所資料、第 760 号、平成 25 年 11 月.
13) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一、2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案）、国土技術政策総合研究所資料、第 791 号、平成 26 年 6 月.

## Ⅳ.3 下水道関係の地震・津波対策の向上

Ⅲ.4 に述べたように、東日本大震災直後の平成 23 年 4 月、国土交通省及び社団法人日本下水道協会を中心に、学識経験者、地方公共団体、関係団体が参画して下水道地震・津波対策技術検討委員会が設置され、国総研も参加し共同して下水道地震対策、各種技術指針見直し等について検討した。委員会は 7 回開催され、最終報告書として平成 24 年 3 月に「下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書」を発刊した。

国総研および土研の下水道関係部署では、本委員会へ参画するとともに、独自に下水道に関係する様々な調査研究を行った。両研究所の下水道関係部署は相互に役割を分担して連携を図り、下水道分野の研究として「下水処理場への影響と対応」、「下水管きょの耐震対策と被害推定」、「下水道施設の応急復旧の状況」等の課題について取りまとめた。

「下水処理場への影響と対応」については、災害時の下水排除・処理、及び下水汚泥の放射性物質への対応について調査検討した。

震災による甚大な被害を受けた箇所では、下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書（下水道地震・津波対策技術検討委員会、平成 24 年 3 月）において緊急措置及び段階的復旧の考え方が示され、これに基づき各事業者により段階的な応急復旧などが実施された。国総研ではその後の調査や対応事例の検討による知見等に基づき「災害時における下水の処理・排除に関する考え方（案）」を作成した。

これと関連して、土研材料資源研究グループリサイクルチーム（当時）では被災下水処理場を対象とした継続的な現地調査や消毒実験を実施し、段階的な復旧対策技術による有機物や病原微生物の除去及び消毒効果の改善を評価した。

また、下水汚泥の放射性物質への対応として、現地調査により福島第一原子力発電所から放出された放射性物質によって下水汚泥等が汚染されたメカニズムと中期的影響、汚染された下水汚泥からの放射性物質の溶出可能性、安全な取り扱い等について検討した。

「下水管きょの耐震対策と被害推定」については、管きょの耐震対策と被害想定について調査検討した。

下水道管きょ埋戻し部の液状化対策工法について、耐震効果を確実に発揮させるため、埋戻し実験を行った。土質や地下水位、転圧方法により得られる品質が異なることを明らかにし、事前の試験施工による転圧回数の設定等、施工上の留意点を取りまとめた。

また、地震発生後の迅速な初動活動に資するため、南海トラフ連動型地震時の管きょ被害の範囲や被害延長、必要とする支援人員を試算し、震後対応時の課題抽出及び効率的な支援体制等について検討した。

「下水道施設の応急復旧の状況」については、応急復旧を対象に文献調査やアンケート調査を行い、その実態を把握するとともに設置期間、処理方式等の分析を行い、今後の課題について取りまとめた。

### Ⅳ.3.1 下水処理に関わる震災と緊急対応および復旧手順

#### Ⅳ.3.1.1 災害時の下水の排除・処理

(1) 災害時における下水の排除・処理に関する考え方

東日本大震災による甚大な被害を受けた箇所では、「下水道地震･津波対策技術検討会」の報告において、緊急措置及び段階的復旧の考え方が示され、これに基づき段階的な応急復旧などが実施された。

国土交通省本省と国総研では、本震災への対応で得られた知見を活かし、被災時に下水道機能を確保する具体的方策を明らかにするため、応急復旧段階にある下水処理場の処理機能と放流先水域への影響を調査するとともに、災害時における適切な管理手法について検討した。また、被災自治体における対応事例についても調査分析した。

これらの調査検討に基づき、学識者、地方公共団体等による「災害時の復旧段階における下水処理の適正な管理に関する検討会」（委員長 : 大村達夫東北大学教授）における審議結果も踏まえ、「災害時における下水の排除・処理に関する考え方（案）」（国土交通省、2012.9）を作成し国土交通省のホームページで公表した。1)本書は、災害時に必要な下水の排除及び処理機能を、現場状況に応じた「緊急措置」により確保するとともに、段階的な「応急復旧」により向上させる考え方を示すものである。

「緊急措置」は、被災直後に施設の被災状況全般を把握し、緊急措置を実施する上で制約となる事項を整理した後、被災者の生活空間から下水を速やかに排除し、水系感染症を防止するものである。この際に必要な検討、措置、広報など委員会報告の要点に加え、本震災における対応事例について解説している。

「応急復旧」は、処理機能の本復旧を進める段階において、本普及までに時間を要する場合、都市の衛生確保および放流先水域の水質保全を速やかに達成する

ために、暫定的に行う処理方式を検討し、実施するものである。委員会報告を踏まえ、本震災の応急復旧の取組から対策手法及び効果を整理し、個別処理法や消毒法の設計・維持管理の考え方を解説している。

本書は、下水道管理者が被災時対応する際に活用が期待され、被災時対応の事前検討や準備にも資するものと考えられる。

(2) 段階的復旧対策による水質改善効果

前述のとおり、土研材料資源研究グループリサイクルチーム（当時）では、被災下水処理場を対象とした段階的復旧対策技術による水質改善効果について調査した。2)

東日本大震災の津波により壊滅的な被災を受けた沿岸部に位置する下水処理場では、水処理の復旧に長期間を要した。このため、段階的な対策の実施により水質の改善が図られたが、これまで経験したことのない状況での対応であり、特に衛生学的安全性の確保のために対策がどのように寄与し、また、留意点が何なのかを明らかにしておくことは、今後の被災時対応にとって重要である。

本研究では、被災した下水処理場を対象とした継続的な現地調査や消毒実験を実施し、段階的な復旧対策技術による有機物や病原微生物の除去および消毒効果の改善を評価した。

その結果、初期対応での簡易沈殿処理法は、沈殿汚泥により生成する還元性物質が消毒剤を消費して消毒効果に影響するため、汚泥の引き抜き管理の重要性が明らかとなった。また、沈殿処理水に凝集沈殿処理を加えることにより、消毒効果が向上する結果が得られた。次いで、簡易曝気の復旧は、塩素消毒による大腸菌群の不活化効果の向上に寄与していた。さらに、曝気および汚泥の返送系が復旧することにより、生物処理後の大腸菌群やノロウイルスの濃度が低下するとともに、消毒における残留塩素の割合が増し、消毒効果が向上した。なお、活性汚泥処理への移行当初は生物相が生成途上であることから、ウイルス除去率が劣ることに留意が必要であることを明らかにした。これら段階的復旧による処理機能の回復にともない、放流水域の水質改善効果が確認された。

参照文献

1) 国土交通省、災害時における下水の排除・処理に関する考え方（案)、 2012.9
http://www.mlit.go.jp/common/000223836.pdf
2) 津波被災下水処理場の段階的復旧対策技術による水質改善効果(2013)、諏訪守他、下水道協会誌論文集、50(614)

## Ⅳ.3.1.2　下水汚泥の放射性物質への対応

福島第一原子力発電所事故に伴い飛散した放射性物質が東日本を中心とする多くの下水汚泥から検出された。国土交通本省と国総研では、本事故への対応として、汚染機構解明のための現地調査、放射性物質の下水処理施設における挙動調査、放射性物質の下水処理への影響調査、下水汚泥中の放射性物質の溶出性調査、放射性物質を含む汚泥による被爆を防止するための方法に関する調査などを実施した。

これらの調査によって得られた知見は、放射性物質の専門家を含む有識者、地方公共団体等による「下水道における放射性物質対策に関する検討会」（座長：楠田哲也北九州市立大学教授）（以下、本検討会という）における審議結果を踏まえ、「下水道における放射性物質対策に関する検討会　中間取りまとめ」（国土交通省 2011 年 11 月）（以下、本書という）として、国土交通省のホームページで公表された。本検討会は、ライフラインの一つとして必要不可欠な下水道が、その機能を適切に維持していくために、放射性物質により被害を受けた状況等を的確に把握するとともに、原子力災害対策本部の通知等を踏まえ、下水道管理者が取るべき今後の対応について、各方面の有識者からの意見を取りまとめるため設置されたものである。また、本書は下水処理場における放射性物質の挙動の解明と今後の推移の予測、周辺環境への影響、情報提供のあり方、下水汚泥の減容化対策を含めた管理方法等について検討を行い、当該時点の知見の集約として、中間報告をまとめたものである。本書には、下水道に関連する放射性物質の挙動調査により、下水道への放射性セシウムの流入は、主として降雨により、地表面に蓄積した放射性物質が洗い流されることによって生じるものであること、放射性セシウムは主に汚泥に移行しており、汚泥の適切な処理が最も重要であると確認したこと、下水汚泥を焼却や溶融する施設の排気中の放射性物質を調査した結果、放射性セシウムは不検出であり、環境中への放出は認められなかったこと、下水汚泥焼却

灰・溶融スラグの放射性セシウムの溶出試験を行い、水と接触してもほとんど溶出しないことを確認したこと、等が示されている。また、放射性物質を含む汚泥の安全な保管方法に関する調査の結果から汚泥の放射能濃度に応じた保管場所の遮蔽構造と隔離距離（立入制限範囲）の関係が示された。

なお、本書において今後の課題の一つとして下水汚泥の埋立処分における放射性セシウムの挙動に関する知見を得るための調査が必要であるとされたことを受けて、国総研は最長 64 日の長期浸出実験を行い、下水汚泥中の放射性セシウムはほとんど溶出しないという結果を得た。

なお、放射性物質を含む下水汚泥の取扱は、「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（放射性物質汚染対処特措法、平成 24 年 1 月 1 日全面施行）及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）等の関係法令等に従って行われることとなった。

参照文献

1）對馬、小越、山下、原田，”下水処理場における放射性セシウムの挙動調査及び溶出試験” 水環境学会誌，vol. 36，No. 1，23-28 頁，2013 年 1 月，（公社）日本水環境学会

2）對馬、小越，”放射性物質を含む下水汚泥を用いた長期浸出試験”，下水道協会誌 vol. 50，No. 607，108-112 頁，2013 年 5 月，（公社）日本下水道協会

3）下水道における放射性物質対策に関する検討会“中間とりまとめ” 20-47 頁，2011 年 11 月，国土交通省水管理国土保全局下水道部」

## Ⅳ.3.2 下水道管きょの耐震対策と被害推定

### Ⅳ.3.2.1 管きょ埋め戻部における締固め工の管理手法の提案

東日本大震災における下水道管きょの被害は、132 市町村等 648ｋｍにも及ぶ過去に日本が経験したことのない甚大な被害であった。被害要因の多くは、液状化によるものであった。平成 25 年度末時点の下水道管きょの耐震化率は 38%（国土交通省調べ）[1]と非常に低く、今後懸念される地震に備えるためにも迅速な下水道施設の耐震化が求められている。

「下水道施設の耐震対策指針と解説（日本下水道協会）」に液状化対策として管きょの埋戻し 3 工法（埋戻し土の締固め、砕石等による埋戻し、埋戻し土の固化）が示されている。国総研下水道研究室は、地震後に耐震対策を施した管路施設の耐震効果について地震後（平成 23 年 10 月）に調査を実施した。その結果、3 工法の内 2 工法（砕石等による埋戻し、埋戻し土の固化）の施工箇所については、無被災又は、非常に軽微な被害であり、耐震効果が発揮されていることが分かった [2]。なお、埋戻し部の液状化対策の 1 つである締め固め工法については、東日本大震災後に設置された下水道地震・津波対策技術検討委員会において、確実に 90%以上の締固め度を得ることが困難な場合があるため、採用に当たっては十分に注意が必要であることが指摘された。

このため、締固め度 90%を確保するための施工方法及び施工管理方法を明らかにすることを目的とし、撒き出し厚や転圧方法、土留め有無、土の含水率など施工の効率性に影響を与える因子をパラメータとした試験施工を実施した（図-Ⅳ.3.2.1.1）。

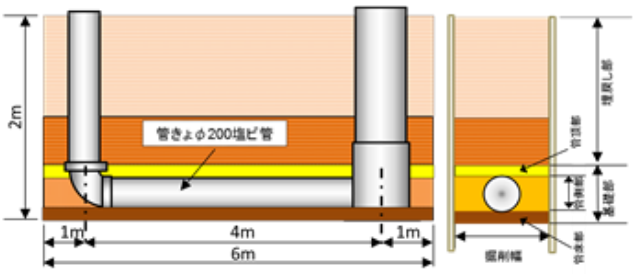



**図-Ⅳ. 3. 2. 1. 1　試験施工用の実験土槽イメージ**

この結果、所定の締固め度を得るには、埋め戻しに用いる土の品質管理、撒き出し厚等の転圧方法の管理を確実に遂行する必要がある一方、それらをすべて管理することは施工効率を著しく悪化させる可能性があることが分かった。また土留め壁を用いた場合、引き抜き後締固めた土層が緩む危険性があることが明らかとなった [3]。これらのことから、締固め工法の採用には、最適な含水率や転圧回数の設定が重要であり、事前の試験施工を行うことが望ましいことや、現場での簡易な管理手法として RI 試験器等を用いること等を提案した。これらの成果は、国総研・土研　東日本大震災報告会 [3] 及び第 50 回下水道研究発表会 [4]で公表したほか、「下水道施設の耐震対策指針と解説-2014 年版－（日本下水道協会）」[4] に反映された。

### Ⅳ.3.2.2　南海トラフ地震に対する管路施設の被害推定とその活用

近い将来に発生が予想される南海トラフ地震では、東日本大震災を大きく上回る下水道施設被害が予想される。地震後においても下水道機能を継続的に確保するためには、地震後における円滑な被害把握のための人的・物的支援と早期の下水道機能復旧支援が重要である。これら支援を迅速かつ的確に行うには、より正確な被害想定を行い、どこの都市にどれだけの人的物的支援を要するのかを予め推測し、下水道 BCP を作成したり、必要な支援ルールを構築したりし、有事に備えることが重要である。

このため、南海トラフ地震を想定した複数の被災シナリオ（中央防災会議の「南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－」を参考）[5]に基づき、管路施設や処理場の被害量及び復旧支援人員等の推測を行うとともに、効率的な復旧支援に向けた課題を整理した。

南海トラフ地震での下水道施設の被害規模は、管路施設が震源や複数地震の連動性（表-Ⅳ.3.2.2.1 参照）により被害が異なり東日本大震災の４～10 倍、津波による処理場被害は「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）」[6]で算出されている最大津波高さの場合で中部から九州にかけての沿岸部にある約 90 箇所が浸水による稼働停止の危険があると推定された。

この推定結果に基づき、過去の被害状況及び支援実績から震度６弱以上が想定される地方公共団体で復旧支援が必要と仮定し、１次調査及び２次調査に要する人員を算出した。この結果（図-Ⅳ.3.2.2.1 参照）、被災していない全国地域の下水道技術系職員の 30%を上限として派遣することを前提とした場合、小~中規模地震（ケース 1～3）では概ね対応が可能であるが、最大規模の地震（ケース 4）が発生した場合には、必要とする約半分の復旧支援人員しか確保できないこととなった。よって、最大規模の地震に対しては、ボランティアや下水道関係機関・OB 等の人材の確保や、民間企業への協力要請など、広範囲な支援が必要である他、震源地や地震規模容に応じて重点的に支援する都市を選定し、支援の輪を全国に広げる必要がある等が考えられた。[7]

これらの成果は、国総研資料第 823 号 [8]及び土木技術資料 [7]で公表するとともに、支援ルール等作成の基礎情報や防災訓練時のシナリオとして活用することで、減災対策の一助となることを期待するものである。

表-Ⅳ. 3. 2. 2. 1　震源や複数地震の連動性の組合せ

| ケース | 内閣府設定地震の組み合わせ | 地震規模 |
|---|---|---|
| ケース1 | 震度・PL値平均 | 小 |
| ケース2 | 西側震源（震度・PL値最大） | 中 |
| ケース3 | 東側震源（震度・PL値最大） | 中 |
| ケース4 | 震度・PL値最大 | 大 |

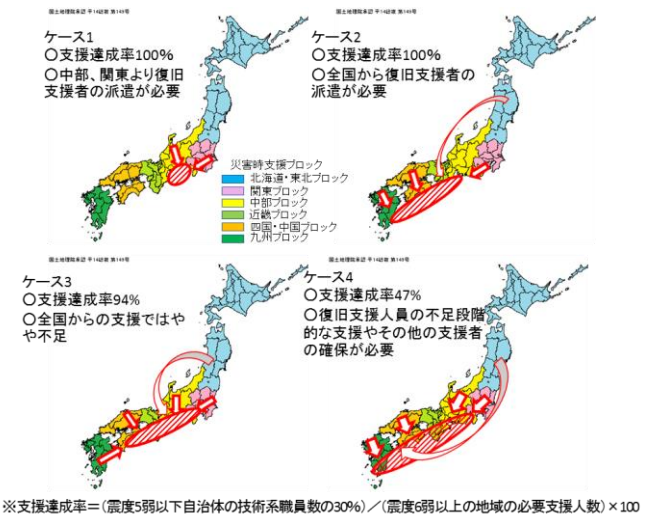



図-Ⅳ. 3. 2. 2. 1　南海トラフ地震時の支援イメージ

### Ⅳ.3.2.3　地震後の不明水量の変化に着目した下水道管路被災のマクロ・迅速把握

大規模地震が発生すると、液状化現象による管きょやマンホールの浮き上がり・沈下のほか、管きょ継ぎ手部の抜けや管きょの損傷といった不具合が生じる。管きょは通常、高い水密性を有しているが、地震でこれらの不具合が生じた場合、水密性が保持できなくなり、大量の地下水等が不具合部を経由して下水道管きょ内に流入することがある（以下、「不明水」という）。

平成 20 年岩手・宮城内陸地震時における筆者らの調査 [10]でも、地震直後に処理場流入水量が増加した事例が確認されており、地震後の処理場流入水量に着目することで、地震による管きょの損傷具合が把握できる可能性がある。

地震後における初動活動を迅速に行うため、被害状況をマクロ的に推定することを目的とし、地震前後の不明水量の変化傾向（図－Ⅳ.3.2.3.1 参照）について検討した。検討は、下水道統計等から過去の不明水量と東日本大震災発生後の不明水量の変化を比較し、地震後の不明水量と地震による被害規模の関係を把握し

た。得られた関係性に基づき、地震前後の不明水量変化による地震被害程度の推定可能性を考察した。

この結果、平成 23 年度の実績不明水率と平成 18～22 年度の直線近似式より求めた想定不明水率から、増加率を算出したところ、震災の影響の大きかった都道府県で例年と違う不明水率の傾向が示された。福島県と千葉県の市町村単位における検討では、種々の地震観測値を用いて不明水量との相関を調べた結果、震度 5 弱以上の場合、不明水率が 1 割以上増加する懸念が示された（図－Ⅳ.3.2.3.2 参照）。なおこの成果は、下水道協会論文として公表している[10]。

これらの成果により、膨大な管路ストックを 1 つずつ点検することなく、地震直後における管路被害の大略を推定することが可能となる。よって、必要な人員や資器材の目安が地震後迅速に把握でき、初動活動の円滑化及び被害調査・復旧活動の効率化に寄与できるものと考える。

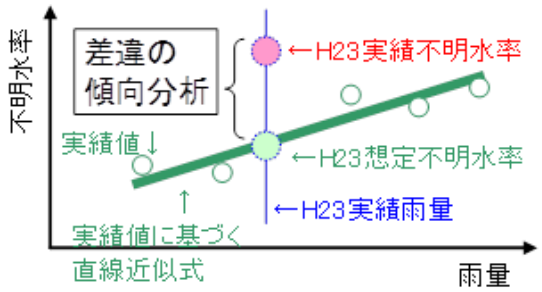



図-Ⅳ. 3. 2. 3. 1　直線近似式に基づく傾向分析のイメージ

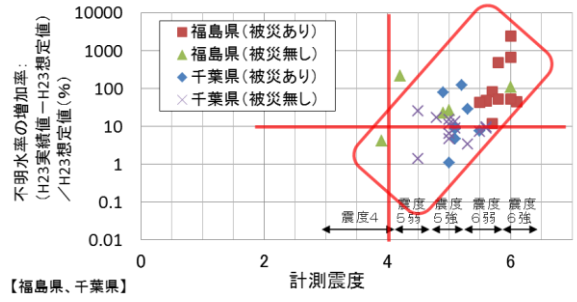



図-Ⅳ. 3. 2. 3. 2　計測震度と不明水の増加率の関係


参照文献

1) 新下水道ビジョン、国土交通省下水道部、2015.7

2)深谷渉、下水道管路施設における耐震化技術の有効性、国総研・土研　東日本大震災報告会～震災から一年を経て、見えてきたこと～、2012.3

3)松橋学、深谷渉、横田敏宏、下水道管きょ埋戻し部の締固め工法の技術的課題、下水道研究発表会（第 50 回）、2013.6

4)「下水道施設の耐震対策指針と解説-2014 年版－、日本下水道協会、2014.7

5)南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－、内閣府中央防災会議、平成２４年８月２９日

6)南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、
内閣府中央防災会議、平成２４年８月２９日

7)深谷渉、松橋学、横田敏宏、南海トラフ連動型地震で想定される下水道施設被害と効果的復旧支援、土木技術資料、VOL57.№10、2015.

9)平成 25 年度下水道関係調査研究年次報告書集。国総研資料　第 823 号、2015.1

10) 深谷渉、松橋学、横田敏宏、小川文章、東日本大震災による下水道不明水への影響、下水道協会誌、VOL51.№623、2014.9


## Ⅳ.3.3　下水道施設の応急復旧事例等の分析と防災対策の提案

今後発生するおそれのある大規模地震への防災･減災対策として、平成 26 年 3 月に中央防災会議により大規模地震防災･減災大綱が定められ、今後の課題として検討すべき施策、個別の具体的な施策が網羅的に取りまとめられた。下水道事業では、耐震化や支援ルールの検討が進められているが、事前防災として災害発生時における効果的な応急復旧への取り組みが求められている。

こうした中、国総研では、東日本大震災への対応で得られた知見について、平成 24 年 9 月に「災害時における下水の排除･処理に関する考え方（案）」を作成した。[1)]

被災後、多くの下水道施設において本復旧が進み、土木躯体を利用した応急復旧の経緯について、各地方自治体の報告書がまとめられている。[2),3),4)]

これらの知見を集約するため、土木躯体を利用した応急復旧の経緯に関して文献調査を行った。また、応急復旧施設について岩手県、宮城県、福島県の 3 県内の被災下水道施設を対象に、アンケート調査を実施した。[5)]

大規模災害時に下水道施設が被災して機能が損失すると、下水の流入を止めることは困難であり、まずは放流の確保、続いて放流水の消毒、そして施設の応

急復旧と順次機能の確保に向けて対応することとなる。上記の文献調査及びアンケート調査の結果では、「被災直後の溢水防止措置」から土木躯体を使用した「沈殿・消毒による簡易処理」、「仮設送風機を用いた簡易な生物処理」、「一部系列の復旧」というような段階的応急復旧に要する工程を実績ベースで整理し、生物処理の復旧に少なくとも 1 年を要したことなどが明らかとなった。また、各応急復旧段階における維持管理上の留意事項として、特に汚泥引き抜き管理が重要であること、活性汚泥の状況により塩素消毒の効果に影響することなどの知見が整理された。被災に備え応急復旧施設の設置に係る検討事項を整理した。

更に、管路施設が被災し、復旧に時間がかかる場合、サテライトの仮設処理施設を設置する必要がある。これについても同様に工程を実績ベースで整理するとともに、事業所排水による負荷変動の影響や鋼板製タンクの利用による水温低下の影響など維持管理上の留意事項、被災に備え仮設処理施設の工期短縮にむけた取組など事前検討事項を整理した。[6)]

参照文献

1) 災害時における下水の排除・処理に関する考え方（案)、国総研、2012/9
http://www.mlit.go.jp/common/000223836.pdf
2) 東日本大震災-宮城県の発災後 1 年間の災害対応の記録とその検証-、宮城県、2015/3
3) 甦れ みやぎの下水道～東日本大震災からの復旧の記録～平成 24 年度改訂版、宮城県、2013/3
4) 諏訪守他、津波被災下水処理場の段階的復旧対策技術による水質改善効果、下水道協会誌、pp.111-119、Vol.50、No.614、2013/12
5) 尾﨑正明他、応急復旧の実態調査と今後の課題、第 52 回下水道研究発表会講演集、pp.122-124、2015/7
6) 小野寺知幸他、気仙沼市公共下水道の応急復旧について～東日本大震災への対応～、第 49 回下水道研究発表会講演集、pp.361-363、2012/7

**参考文献**

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、災害時における下水の排除･処理に関する考え方（案)、本省及び国総研下水道研究室 HP に掲載、平成 24 年 9 月.
2) 諏訪守、安井宣仁、鈴木穣、岡本誠一郎、桜井健介、津波被災下水処理場の段階的復旧対策による水質改善効果、下水道協会誌、Vol.50. No.614、pp.111-120、平成 25 年 12 月.
3) 對馬育夫、小越眞佐司、山下洋正、原田一郎、下水処理場における放射性セシウムの挙動調査及び溶出試験、水環境学会誌、Vol.36. No.1、pp.33、平成 25 年 1 月.
4) 對馬育夫、小越眞佐司、放射性物質を含む下水汚泥を用いた長期浸出実験、下水道協会誌、Vol.50. No.607、pp.108-135、平成 25 年 5 月.
5) 松橋学、深谷渉、横田敏宏、下水道管渠埋戻し部の締固め工法の技術的課題、第 50 回下水道研究発表会講演集、平成 25 年 7 月.
6) 深谷渉、松橋学、横田敏宏、南海トラフ連動型地震で想定される下水道施設被害と効果的復旧支援、土木技術資料、第 57 巻.第 10 号、pp.38-41、平成 27 年 10 月.
7) 深谷渉、松橋学、横田敏宏、小川文章、東日本大震災による下水道不明水への影響、下水道協会誌、vol.51. No.623、pp.129-135、平成 26 年 9 月.
8) 尾崎正明、山下洋正、濱田知幸、応急復旧の実態調査と今後の課題、第52回下水道研究発表会講演集、平成 27 年 7 月.
9) 小野寺和幸　他、気仙沼市公共下水道の応急復旧について～東日本大震災への対応～、第 49 回下水道研究発表会講演集、pp.361-363、2012 年 7 月.

# Ⅳ.4　河川・海岸関係インフラの震災対応能力の向上

河川・海岸関係のインフラにおける東北地方太平洋沖における地震動・津波による被害実態等を踏まえ、事例分析、模型実験、数値解析を通じて、それら施設の防災対応力の向上を図るための研究に取り組んできている。具体には、河川津波への対応に資することを目的とした現象把握のための実験的・解析的検討、粘り強く効果が発揮できる海岸堤防の構造に関する実験的検討および粘り強さ向上がもたらす減災効果の検討、ダム地点での地震動設定手法（ダム距離減衰式）の検討などの調査研究が行われた。海岸堤防に関する成果は、技術基準等に反映され、仙台湾南部海岸堤防復旧工事に活かされている。

また、本地震で被害を甚大化させた地震直後の大津波の発生のような複合災害に対する減災対策を決定する際の考え方を検討するために、河川を対象として、洪水と地震が同時もしくはほとんど間をおかずに連続して発生する事例を対象に研究を行った。

## Ⅳ.4.1　実験、解析及び現地の比較による河川津波の特性の把握

東北地方太平洋沖地震で観測された河川津波の特徴としては、堤防高を大きく越える津波水位、堤内地を伝播した津波と河道を遡上した津波の相互作用、河口砂州の流失や堤防の決壊などの地形の大変形の 3 点が挙げられ、これらは観測史上初めての現象であった。そこで、津波遡上現象そのものの理解を深めることを主眼に置き、大型水理模型実験を行うこととした。本報では、水位データや映像等の観測記録から河川津波の特徴を述べた上で、水理実験模型の概要、及び河川津波の水位や遡上距離に影響する要因を検討した結果、河道内地形や河川流量が河川津波へ与える影響について報告する。

### Ⅳ.4.1.1　北上川を遡上した河川津波の特徴

図-Ⅳ.4.1.1.1 へ、東北地方太平洋沖地震による津波（以下、“今次津波”）が北上川を遡上した結果残された痕跡水位、堤防高および平均河床高を示す。5kp よりも上流においては、堤防のり面や天端周辺に連続的に痕跡が残され、約 200m ごとに痕跡水位として記録された。なお、この痕跡水位については河川が山地と接している山付き区間を除いている。

図-Ⅳ.4.1.1.2 は、北上川河口周辺の約 6kp 区間を対象として、津波来襲直後に記録した航空写真であり、沿川の土地のほとんどが湛水している状況を確認できる。地震直後の現地踏査によると、河道から堤内地へと超える流れを確認した区間がほとんどであるが、右岸側の山付き部下流では堤内地から河道へと越流する流れが確認されている（服部・福島、2011）。また、津波によって堤防や河道内地形が変形し、河口砂州の流失、堤防の決壊、高水敷への土砂の堆積などが確認されている。

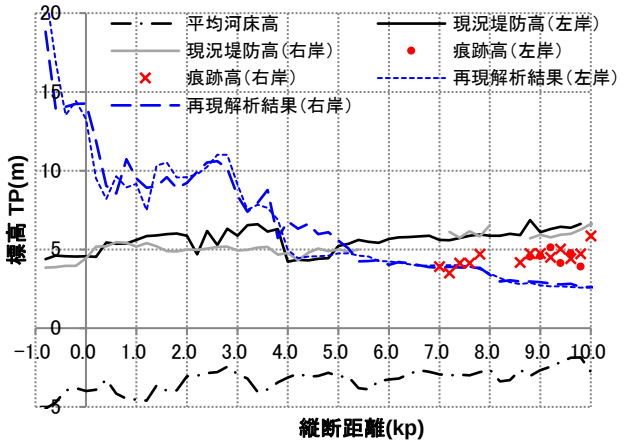



図-Ⅳ.4.1.1.1　津波痕跡水位と津波遡上解析結果の比較

観測された津波水位を再現するため、津波浸水シミュレーションの手引き（国土交通省水管理・国土保全局海岸室他、2012）に従って、津波水位の最大値を算定したところ、図-Ⅳ.4.1.1.1 の破線の結果が得られた。河口から 4kp の範囲を見ると、津波痕跡の数が少なく、計算精度については言及することはできない。一方で、5kp よりも上流側の痕跡水位と解析結果を比較すると、解析結果は痕跡水位に比べて 2m 程度低い地点も見られる。今次津波の遡上状況を撮影した CCTV 画像や水位観測所における水位記録を参考にして、波峰に対するソリトン分裂の発生による水位上昇の可能性、堤防のり面を津波が打ち上げることで痕跡水位が津波水位に比べて高くなる可能性等を確認したが、ソリトン分裂の発生は見られるものの波高は 50cm 以下に見えた。また、堤防の坂路に津波が打ち上げる状況を確認したが、打ち上げ高は 50cm 以下と小さく見え、上記の要因と考えられるものではなかった。

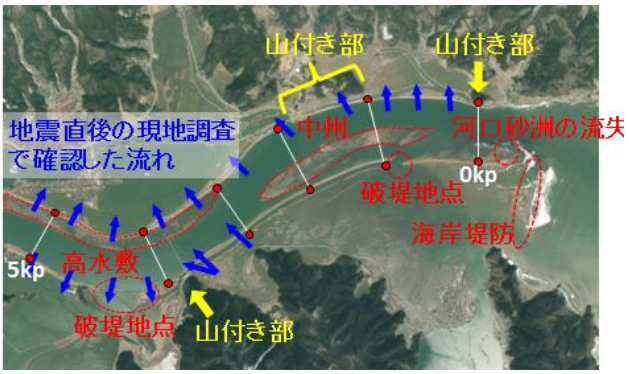



図-Ⅳ.4.1.1.2　津波来襲直後の北上川河口～約 6kp 区間の状況

### Ⅳ.4.1.2 水理模型実験の概要及び製作上の工夫

1)実験模型の概要

模型は、津波水位や遡上距離に影響する要因およびその影響の大きさを確認するため、長さ 33m、幅 30m、深さ 0.5m の平面水槽に、追波湾の一部を含む北上川約 10kp の河道およびその周辺地形を縮尺 1/330 で製作した（図-Ⅳ.4.1.2.1(a)及び(b)）。模型内の標高については、表-Ⅳ.4.1.2.1 に従って作成した。

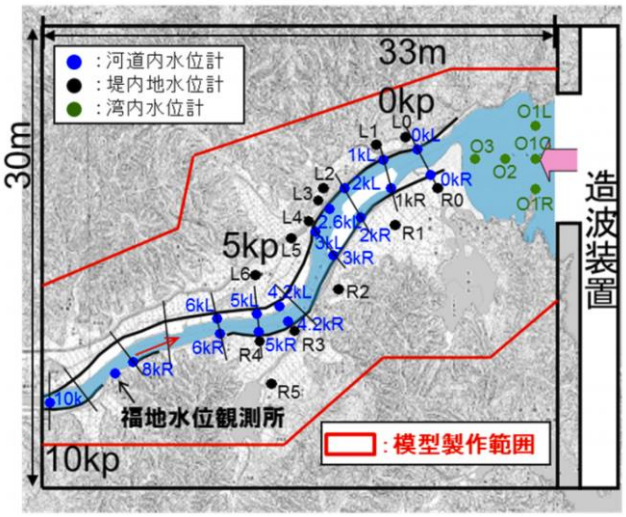



図-Ⅳ.4.1.2.1(a)　河川津波模型平面図（Ⅰ-1～15, Ⅱ-1～8 対応）

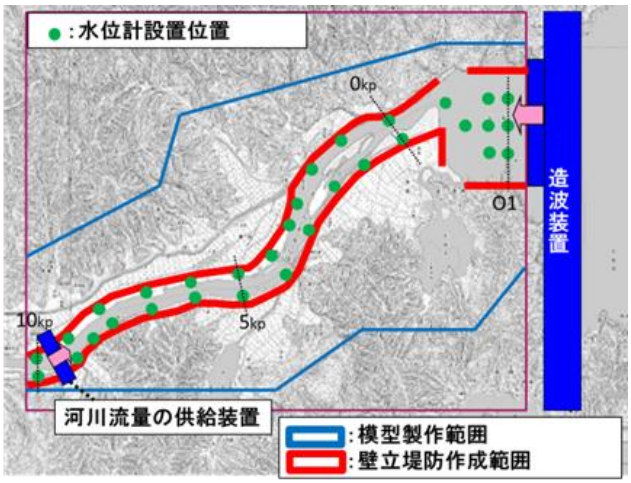



図-Ⅳ.4.1.2.1(b)　河川津波模型平面図（Ⅰ-16～21 対応）

表-Ⅳ.4.1.2.1　実験模型作成にあたって使用した地形データ

| | |
|---|---|
| 堤内地地形 | 地震前に国土地理院が作成した 10m メッシュレーザー測量データに地震による地盤沈降量を考慮 |
| 海域地形 | デジタル海図 M7005（一般財団法人 日本水路協会）から設定した地盤高に地震による地盤沈降量を考慮。追波湾については、ナローマルチビームによる測量成果（H24.1、北上川下流河川事務所）を使用 |
| 河道内地形 | 地震前の定期横断測量成果から設定した地盤高に地震による地盤沈降量を考慮 |
| 堤防形状 | 地震前の海岸保全施設台帳及び定期横断測量成果から設定した堤防高に地震による地盤沈降量を考慮 |

2）実験ケースおよび計測項目

実験ケース一覧を表-Ⅳ.4.1.2.2 に示す。堤防形状、河道内地形に示す地震後とは、表-Ⅳ.4.1.2.1 に従って地盤沈降量を考慮し設定した模型形状である。これに対して、Ⅰ-1 を基本とし、堤防の決壊状態を変えたⅠ-2～5、河道内地形を変えたⅠ-6～8、地被状況を変えたⅠ-9 ～10、堤防から河川津波が溢れないように堤防上に壁を立てたⅠ-11～15、さらに壁を立てる範囲を広めたⅠ-16～21 について、今次津波相当の入力波 A（図-Ⅳ.4.1.2.2 参照）を作用させた。

ケースⅡは、今次津波の半分程度の波高である入力波 B を作用させた実験であり、今次津波を受けて設定された計画規模の堤防形状に対して、河道内地形や地被状況を変えたⅡ-1～6、壁立条件としたⅡ-7, 8 で構成される。

堤防形状に示す区間①は右岸 0.0～3.0kp 区間の河川堤防を、区間②は右岸 3.6～5.6kp 区間の河川堤防を、海

岸堤防は河口右岸側の海岸堤防を、全堤防は海岸堤防および河川堤防の全区間を、地震後の地形に対して撤去したケースである。

また、河道内地形に示す砂州は表-Ⅳ.4.1.2.1 に従って作成された河口砂州（高さ 9 m 程度、幅 400m 程度）を、中州は 2kp 付近の中州（高さ 4m 程度、幅 200m 程度）を、高水敷は 3.6kp 上流の左岸高水敷（高さ 5m 程度、幅 150m 程度）を、全地形はこれら 3 地形全てを撤去したケースである（図-Ⅳ.4.1.1.2 参照）。

地被状況については、5）に述べる方法で Manning の粗度係数（以下、粗度係数と呼ぶ）を調整し、基本は 0.03 とし、高水敷は左岸高水敷について、河道は左岸高水敷に加え河床全体について粗度係数を 0.06 $m^{-1/3}$・s 程度に設定したケースである。

河川流量は、なし、10 年に 1 度の確率で発生する河川流量 5,400$m^3$/s（以下、河川流量小と呼ぶ）及び 150 年に 1 度の計画高水流量 8,700$m^3$/s（以下、河川流量大と呼ぶ）とし、上流（9.4kp）に設置された装置より供給した。なお、これらの河川流量は実際の出水を想定したものではなく、再現解析にて最高水位を再現可能か検証するために用いる水理実験として有意なデータを得ることを優先して、模型縮尺にとらわれずに設定した。

Ⅰ-16～21 以外の実験では図-Ⅳ.4.1.2.1(a)に示す地点に室内実験用水位計を設置し、水位の時間変化を記録した。具体的には、河道内で 0.0～6.0kp までを左右岸約 1km 間隔、それに加え 8kp 右岸、福地水位観測所地点（8.57kp）、10kp の合計 18 地点に水位計を設置した。また、堤内地の 13 地点、湾内の 5 地点に水位計を設置した。さらに、模型上流端に貯水容器を設置し、遡上量を計測した。なお、Ⅰ-16～21 においては図-Ⅳ.4.1.2.1(b)に示す地点に水位計を設置し、河道内を左右岸約 1km 間隔、それに加え福地水位観測所地点（8.57kp）、左岸 2.6kp および湾内 8 地点の合計 32 地点に水位計を設置した。

水槽上部に設置したビデオカメラにより河川津波の遡上状況も撮影した。

3) 津波の造波方法

水槽内の水は造波装置下部の開口部を通じて造波装置の空気室に出入りできる構造となっている。造波にあたっては、空気室から空気を吸引・減圧することで、空気室内の水位を上昇させた後、空気室内の圧力を開放する。そして、空気室内と平面水槽内の水位差を利用して、津波を発生させる仕組みである。

図-Ⅳ.4.1.2.2 には、今次津波の再現計算結果（図-Ⅳ.4.1.1.1 参照）から湾口における津波波形を抽出した

**表-Ⅳ.4.1.2.2　実験ケース一覧**

| ケース | | 入力波 | 堤防形状 | 河道内地形 | 地被状況 | 河川流量 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅰ | 1 | A | 地震後 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 2 | | 区間① | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 3 | | 区間② | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 4 | | 海岸堤防 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 5 | | 全堤防 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 6 | | 地震後 | 砂州 | 基本 | 0 |
| | 7 | | 地震後 | 中州 | 基本 | 0 |
| | 8 | | 地震後 | 高水敷 | 基本 | 0 |
| | 9 | | 地震後 | 地震後 | 高水敷 | 0 |
| | 10 | | 地震後 | 地震後 | 河道 | 0 |
| | 11 | | 壁立 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 12 | | 壁立 | 砂州 | 基本 | 0 |
| | 13 | | 壁立 | 砂州 | 河道 | 0 |
| | 14 | | 壁立 | 全地形 | 基本 | 0 |
| | 15 | | 壁立 | 全地形 | 河道 | 0 |
| | 16 | | 壁立‘ | 全地形 | 基本 | 0 |
| | 17 | | 壁立‘ | 全地形 | 基本 | 小 |
| | 18 | | 壁立‘ | 全地形 | 基本 | 大 |
| | 19 | | 壁立‘ | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 20 | | 壁立‘ | 地震後 | 基本 | 小 |
| | 21 | | 壁立‘ | 地震後 | 基本 | 大 |
| Ⅱ | 1 | B | 計画 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 2 | | 計画 | 砂州 | 基本 | 0 |
| | 3 | | 計画 | 中州 | 基本 | 0 |
| | 4 | | 計画 | 高水敷 | 基本 | 0 |
| | 5 | | 計画 | 地震後 | 高水敷 | 0 |
| | 6 | | 計画 | 地震後 | 河道 | 0 |
| | 7 | | 壁立 | 地震後 | 基本 | 0 |
| | 8 | | 壁立 | 全地形 | 基本 | 0 |

結果を破線で示す。実験装置の制約から、単一波峰の波しか発生するとができないため、第 1 波目の押し波のみを再現することとした。引き波の影響で河川の流速が増加した場合、河川津波は砕波しやすい状況となっていたと推定されるが（首藤他、2011）、今回の実験ではその影響を取り込めていない。

また、本実験にて用いる入力波は第一波目の波形の再現が重要と考えたが、この再現には模型換算で波高 5cm、周期 30 秒程度の津波を発生させる必要があり、造波装置の性能上、最高水位は再現可能であったが、周期は再現できなかった。

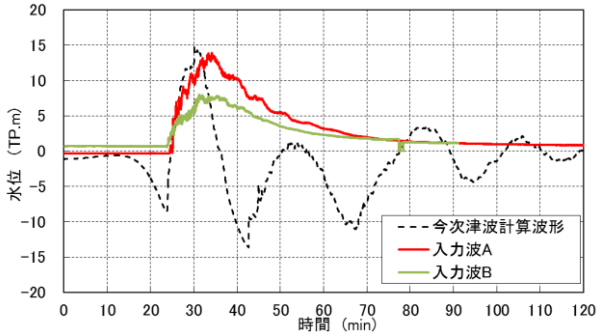



図-Ⅳ.4.1.2.2　解析波形と造波波形の比較

4) 表面張力および粘性の影響とその緩和策

製作した模型は縮尺 1/330 であり、現地 1m が模型約 3mm に縮尺されるため、水深が小さい場合には粘性や表面張力の影響が大きくなる。特に、越流や津波遡上への影響は無視できないと考え、それらの影響を確認するとともに、その緩和策を検討した。表面張力を低減するために界面活性剤を使用すること、粘性の影響を低減するために堤防断面を縮小することなどを検討したが、大幅な改善効果は見られなかった。そこで、越流水深が小さい区間では、図-Ⅳ.4.1.2.3 に示すスリット形状の堤防（Ds:3mm、Lp:1.5cm）を用い、図-Ⅳ.4.1.2.4 に示すとおり縮尺に対する流量係数を確認した。実験では、越流水深が 2m 以下と想定される区間において、上記の壁面で堤防模型を製作し、それ以外の区間では、フルードの相似則に従った縮尺模型とした。

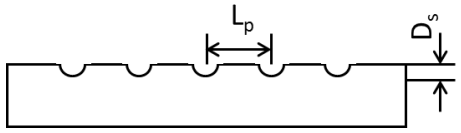



図-Ⅳ.4.1.2.3　堤防天端に加えたスリット形状

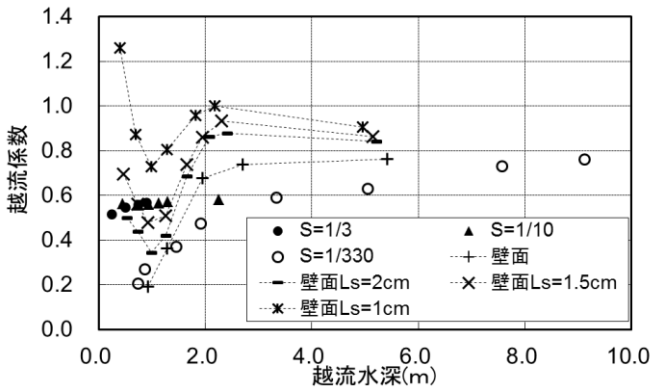



図-Ⅳ.4.1.2.4　越流係数に与える模型縮尺の影響

5) 粗度係数の調整

河床はモルタルで製作したが、その凹凸により粗度が極端に変化することが懸念されたため、できるだけ滑らかな河床となるように金ゴテによりモルタル表面を整形した。等流での通水実験を行い、粗度係数が北上川河道計画上の値に近い現地換算 0.03$m^{-1/3}$･s となることを確認した。また、河口付近に葦原が広がる場合や樹木群が繁茂した場合には、河道内の粗度係数が大きくなることが想定されることから、網目 4.31mm、線径 0.77mm のポリエチレンネットをモルタル表面に貼り付け、0.06 $m^{-1/3}$･s（水深 8m 以上）～0.1（水深 4m）の粗度係数に調整した。

### Ⅳ.4.1.3　河川津波の遡上に影響する要因の分析

1) 縮尺 1/330 の模型による河川津波の再現性の確認

図-Ⅳ.4.1.3.1 は、ケース Ⅰ-1、6、9 について、実験で得られた最高水位の縦断分布を今次津波作用時の痕跡水位と比較した結果である。図-Ⅳ.4.1.1.1 の解析条件と同様な堤防形状および河道内地形とした Ⅰ-1、 Ⅰ-9 では Ⅰ-1 の左岸高水敷に津波来襲時に葦原が繁茂していた状況を再現するように粗度係数を 0.06 $m^{-1/3}$･s とした。その結果、津波水位の実験値は痕跡水位と比較したとき、10kp では 2m 程度小さくなったが、その他の地点においては概ね 1m 以内の差となったため、実験は再現性の高いものとした。なお、上記の表示にあたって、左右岸で水位を計測した断面では、両最高水位の平均値を用い、以下でも同様とする。図-Ⅳ.4.1.3.1 の凡例のケース名の脇に括弧書きで示した数値は、10kp で計測した遡上量（総量）の比であり、1 と書いたケースを基準として総量の倍率を示す（以下、同様）。 Ⅰ-9 において、津波水位の低下と遡上量の低下を確認することができる。図中には示していないが、河道全体の粗度係数を 0.06 $m^{-1/3}$･s とした Ⅰ-10 ではこの傾向がより顕著に現れた。

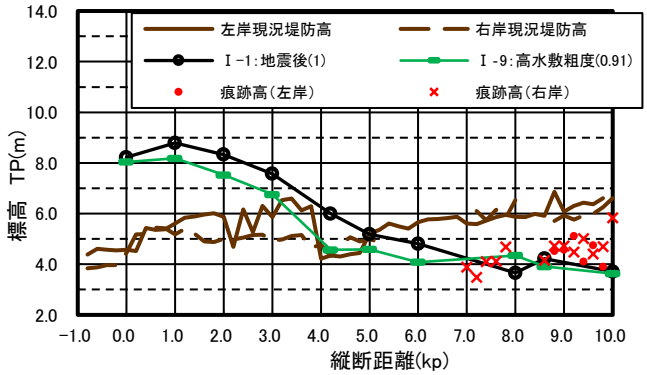



図-Ⅳ.4.1.3.1　ケース Ⅰ-1，6，9 における津波水位と痕跡水位の比較

次に、津波の伝播速度について確認する。福地水位観測所 8.57kp（図-Ⅳ.4.1.2.1(a)参照）から飯野川上流水位観測所 14.94kp までの区間を、今次津波は平均約 8.2m/s の速度で遡上したことが両観測所の水位記録から確認されている（服部・福島、2011）。図-Ⅳ.4.1.3.2 は、Ⅰ-1 で計測した福地水位観測所および 10 kp の水位変化を示す。この 1.43kp 区間を 3.1 分で津波が伝播したことから、遡上速度は約 7.6m/s となり、遡上特性を議論する上で重要な津波の伝播速度を良く再現している。また、現地で撮影された CCTV 画像などから砕波段波状で遡上する津波が観測されており、実験で撮影したビデオ画像からも、砕波段波状の津波を確認している。

以上の結果から、津波の遡上特性については適切に再現されており、定性的には津波の遡上状況を表現できていると考えられた。以下では表-Ⅳ.4.1.2.2 に示した実験ケースから、河川津波の遡上特性について考察する。なお、河川堤防を越流する現象の有無により、地形等の変化に対する河川津波の応答特性が異なったことから、越流を伴う場合と伴わない場合を分けて結果を示す。

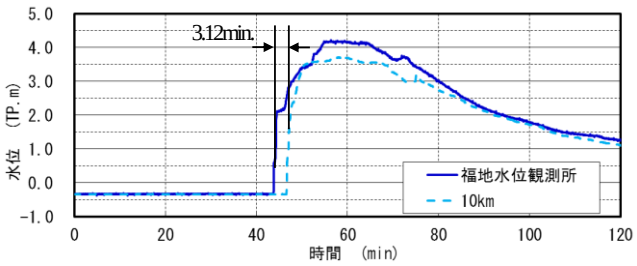



図-Ⅳ. 4. 1. 3. 2　実験模型で確認した津波の遡上速度

2) 越流を伴わない河川津波の遡上特性

河川津波の河道内地形等の変化に対する基本的な応答特性を把握するため、堤防上に壁を立て、河道内のみを津波が遡上する実験を行った。ケースⅠの壁立条件について、津波水位の最大値の縦断分布を比較した結果を図-Ⅳ.4.1.3.3 に示す。河口砂州を撤去すること（Ⅰ-12）で、津波水位が 3kp よりも下流側で 3m 程度、上流側で 2m 程度上昇し、遡上量も 4 割程度増加した。さらに、中州および左岸高水敷を撤去すること（Ⅰ-14）で、全区間で 3m 程度の水位上昇、8 割強の遡上量の増加が確認されたが、河口砂州の影響に比べると小さい。粗度係数を 2 倍にした影響について（Ⅰ-13 およびⅠ-15）は、Ⅰ-9 の結果と同様に、津波水位が低下し遡上量も減少することが確認され、ケースⅡの壁立条件でも同様な結果が得られた。なお、河道全体の粗度を増加させたことで、上流に向かって急激な津波水位の低下が生じた。図-.4.1.3.4 は、Ⅱ-1～4 について、津波水位の最大値の縦断分布を比較した結果である。1～2 kp 区間で越流が生じているが、上述したケースと同様に、河口砂州の撤去に伴い津波水位が上昇し遡上量も増加する傾向を確認できる。一方、中州や高水敷を撤去したケース（Ⅱ-3 やⅡ-4）では、津波水位はほとんど増加せず、むしろ低下する区間もある中、遡上量のみ増加している。入力波形の波高が大きいケースⅠにおける河川津波の応答とは異なり、高水敷や中州が存在しても必ずしも津波水位が増加するとは限らないことを示唆する。

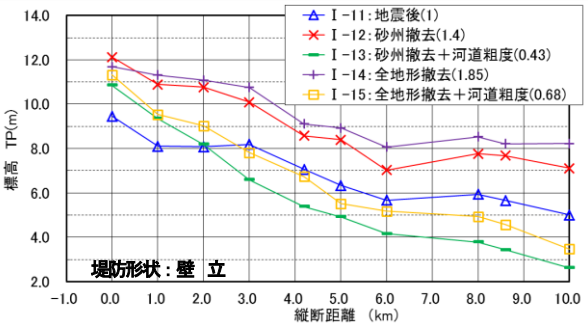



図-Ⅳ. 4. 1. 3. 3　壁立条件における津波水位の縦断分布の比較

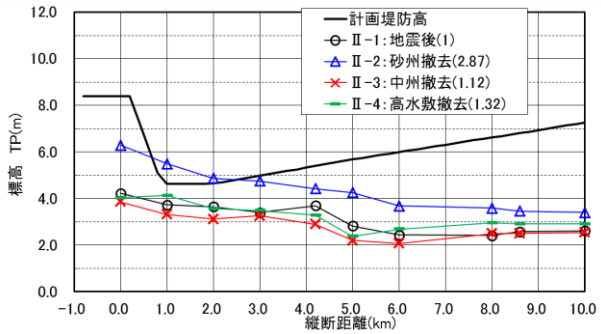



図-Ⅳ. 4. 1. 3. 4　ケースⅡ-1～4 における津波水位の縦断分布の比較

3) 越流を伴う河川津波の遡上特性

図-Ⅳ.4.1.3.5 は、越流が生じる条件で、河道内地形を変えた実験ケースについて、津波水位の最大値を比較した結果である。河口砂州を撤去する（Ⅰ-6）と、河口地点で 2m 程度の水位上昇が生じるが、その上流側では壁立条件で確認されたような津波水位の増加は見られず、河口砂州撤去に伴う津波水位の変化は河口付近に限定されているように見える。また、中州の撤去（Ⅰ-7）に伴う津波水位の応答はほとんど見られない。一方、左岸高水敷を撤去する（Ⅰ-8）と、1～6kp の区間で津波水位が低下しており、河道内地形に対する河川津波の応答特性が壁立条件の時と全く異なることを確認できる。遡上量

についても壁立条件で見られたような顕著な増加は見られず、それぞれのケースで同程度の遡上量が確認されている。堤防高を超える津波に対する水位や速度に対する予測解析を実施し被害軽減策を検討する場合、安全側の評課をするために、河床を低く設定すれば良いとは限らないことが示唆された。

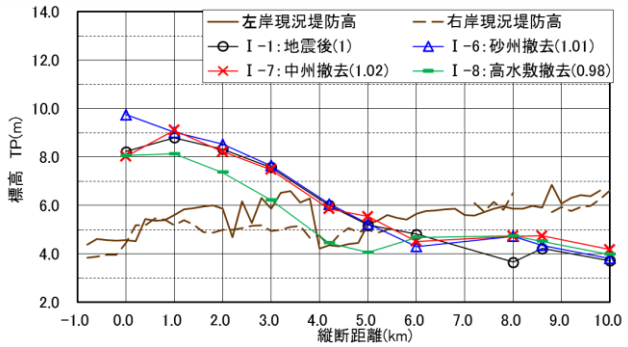
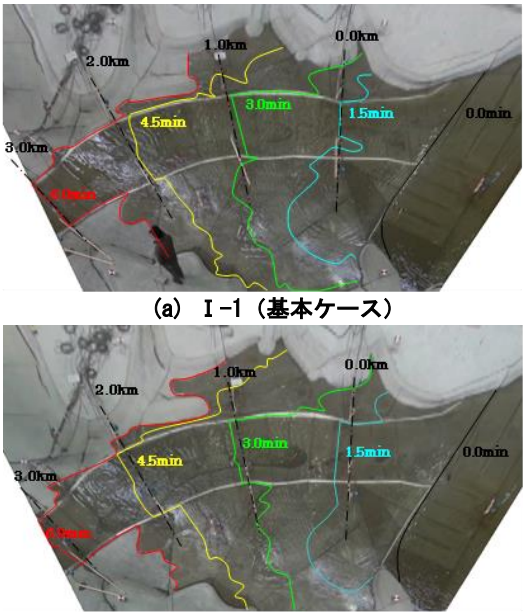



図-Ⅳ.4.1.3.5　越流条件における津波水位の縦断分布の比較




(a)　Ⅰ-1（基本ケース）

(b)　Ⅰ-6（河口砂州撤去）

図-Ⅳ.4.1.3.6　河口砂州の有無が津波伝播に与える影響

図-Ⅳ.4.1.3.6 は、ビデオ画像から津波の伝播状況を比較した結果である。図面には、海岸堤防に津波が到達した時点をスタートとして、現地時間 90 秒ごとにトレースした津波の先端部の位置が示されている。河口砂州を撤去したⅠ-6 では、河口部での伝播が速くなっているが、上流側では同様な伝播速度となっている。また、河道部を遡上する津波の先端が堤内地を遡上する津波の先端に比べて、Ⅰ-1 ではほとんど差がなく遡上しているのに対して、Ⅰ-6 では先端部の位置の差が大きくなっている。この影響で河道から堤内地へと越流する流量が増大し、その結果として河道内の水位が上昇しにくかったと考えられるが、この点については堤内地の水位変化も合わせて確認した上で議論する必要があり、現時点では検討が不十分であることから、上記の推定のみ述べておく。

図-Ⅳ.4.1.3.7 は、堤防の一部を事前に撤去したケースの津波水位の最大値を比較した結果である。全堤防を撤去したⅠ-5 で明らかに津波水位が低く、それに次いで区間②の堤防を撤去したⅠ-3 の水位が低い。遡上量も区間②撤去で 2 割、全堤防撤去で 4 割の低減が見られる。一方、右岸高地部下流側の区間①や海岸堤防を撤去しても、堤防を撤去した近傍で津波水位の変化が見られるものの、右岸高地部上流側での津波水位や遡上量にはほとんど変化が見られない。これは、右岸高地部下流で氾濫した津波が 0～3kp 区間の右岸側堤内地（図-Ⅳ.4.1.2.1(a)参照）を伝播し、右岸高地部で遮られ河道内へと戻された結果であると推定できる。ただし、この点については堤内地の水位変化を確認し、その推定の妥当性を今後確認する必要がある。この推定が妥当だとすると、レベル 2 の津波に対する被害想定を行う際は通常越流と同時に堤防が決壊することを想定しているが、堤防の決壊場所によっては、決壊地点やその上流の津波水位に与える影響が異なることを示唆するものである。したがって、レベル 2 の津波に対する被害軽減策を検討する際には、堤防の破堤条件を慎重に設定することが重要である。

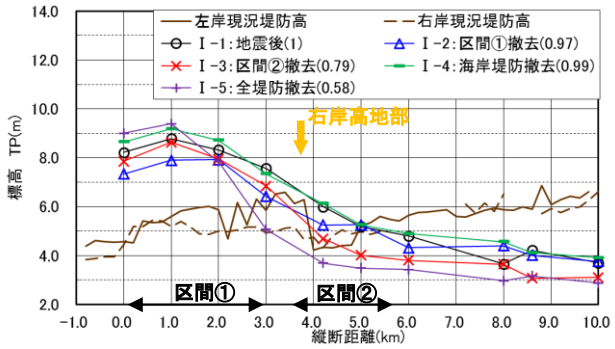



図-Ⅳ.4.1.3.7　堤防の有無による津波水位の比較

4) 河川流量供給に伴う河川津波の遡上特性

Ⅰ-16～18 における最大水位縦断を図-Ⅳ.4.1.3.8 に示す。

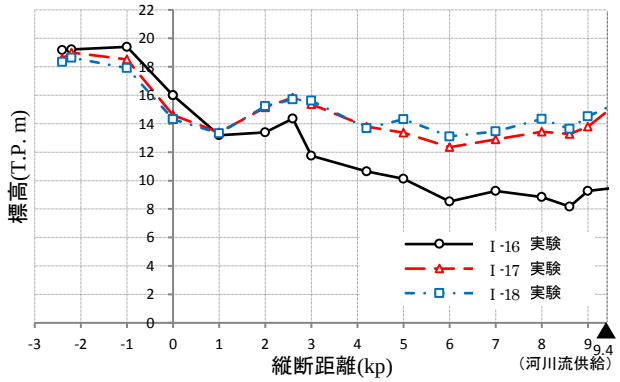



図-Ⅳ.4.1.3.8　最大水位縦断図

河川流量なしの Ⅰ-16 は河川流量を供給した他 2 ケースよりも 0kp 以前において高い値、その地点以降では低い値であった。特に 3kp 以降では 3～4m 程の差が確認できた。また、Ⅰ-17 と河川流量が 6 割程度大きい Ⅰ-18 を比較したとき、Ⅰ-18 の方が湾口部では低い値、5kp 以降において 1m 程高い値を計測し、途中で逆転する傾向であったが、全体的に 1m 以下の差であり、概ね同程度の最大水位であった。

次に、Ⅰ-16～18 の初期水位を図-Ⅳ.4.1.3.9 に示す。

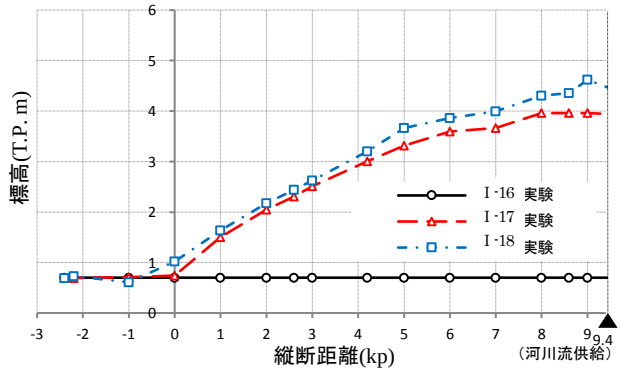



図-Ⅳ.4.1.3.9　初期水位縦断図

河川流量なしの Ⅰ-16 は一定の値を保つことに対し、河川流量を供給した他 2 ケースは上流へ進むにつれて高い値となり、9kp では 3～4m 程の差が生じた。Ⅰ-17 と河川流量が 6 割程度大きい Ⅰ-18 を比較したとき、Ⅰ-18 が上流へ進むほど高い傾向があったが、その差は 0.5m 以内であり、概ね同程度の初期水位を計測した。

Ⅰ-19～21 における最大水位縦断図を図-Ⅳ.4.1.3.10 に示す。

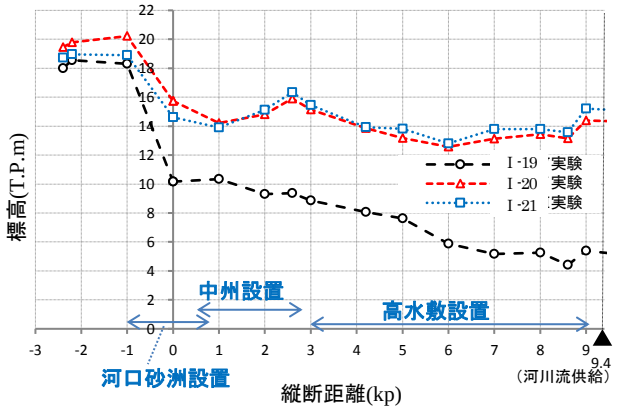



図-Ⅳ.4.1.3.10　最大水位縦断図

河川流量なしの Ⅰ-19 は河川流量を供給した他 2 ケースよりも全ての地点において低い値を計測し、河道部では 4m 以上の差を常に計測した。また、Ⅰ-20 と河川流量が 6 割程度大きい Ⅰ-21 を比較したとき、Ⅰ-20 は 1kp 以前において 1m 程高い値、9kp では 1m 程度低い値を計測し、途中で逆転する結果となったが、全体的に 1m 程の差であり、概ね同程度の最大水位であった。

次に、Ⅰ-19～21 の初期水位を図-Ⅳ.4.1.3.11 に示す。

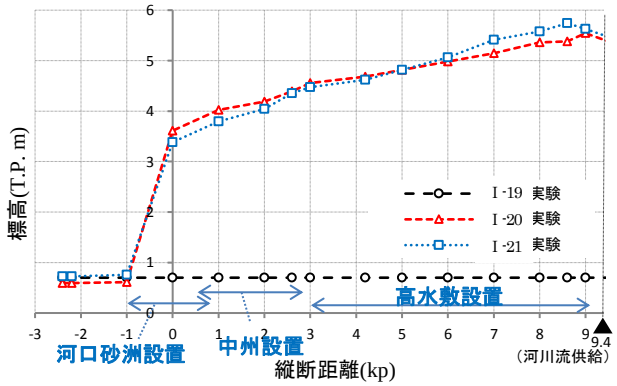



図-Ⅳ.4.1.3.11　初期水位縦断図

河川流量なしの Ⅰ-19 は一定の値を保つことに対し、河川流量を供給した他 2 ケースは 0kp にて 3m 程高く、その地点以降も上流に進むにつれて高い値となり、9kp

では 5m 程の差が生じた。 I -20 と河川流量が 6 割程大きい I -21 を比較したとき、 I -21 が 0～2kp では低く、7kp 以降では高い値を計測し、途中で逆転する結果となったが、その差は 0.5m 以内であり、概ね同程度の初期水位を計測した。

河川流量による津波遡上解析への影響を把握するため、I -16 と I -18 の実験について、再現解析を行った。計算手法は基礎方程式を非線形長波理論、数値解析法は Leap-frog 法による有限差分法の平面 2 次元モデル、解析格子はデカルト 2m メッシュとした。入力波形は実験で湾口部水位計（O1）が計測した値の平均、計算結果出力地点は実験にて設置した水位計と同位置とした。

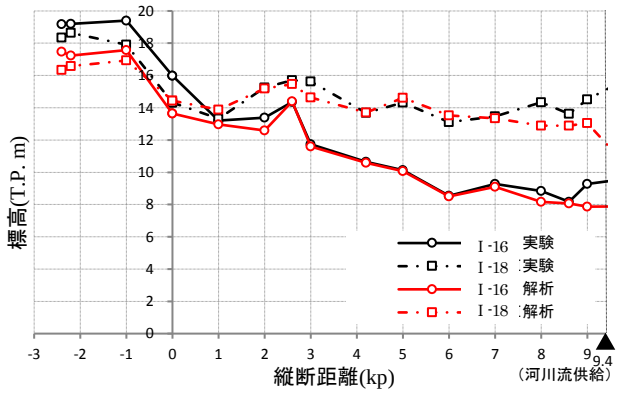



図-Ⅳ. 4. 1. 3. 12　実験と解析の比較

I -16 においては、0kp 以前は解析が実験よりも 2m 程低い値を算出したが、その地点以降から 9kp までは差が 1m 以内に収まり、よく再現できた。 I -18 においても、0kp 以前は解析が実験よりも 2m 程低い値を算出したが、その地点以降から 8kp までは差が 1m 以内に収まり、よく再現できた。

### Ⅳ.4.1.4　まとめ

縮尺率の大きい堤防模型を製作する際、越流水深が小さく粘性や表面張力の影響が懸念される区間の河川堤防の製作方法をとりまとめた。また、大型水理模型実験により、河口砂州、粗度係数、河川堤防の決壊状況等が河川津波に与える影響を調べた。

その結果、壁立条件においては、河道内地形等の影響が津波水位等の変化として顕著に現れるのに対して、越流条件においては、そのような応答が生じにくいことを確認した。

また、壁立条件において、入力波の大きさによって、河道内地形の変化に対する河川津波の応答が異なることが確認された。

さらに、堤防を事前に撤去したケースでは、決壊地点によって上流側の津波水位に与える影響が大きく異なることを確認した。

最後に、河川流量を変化させた実験においては、河川流量を与えることにより最高水位が高くなる効果があることが確認された。これは初期水位が上昇した影響も一つの要因であると考えられる。また、河川流量供給時は河道内地形による影響を大きく受けなかった。再現解析の面において現状の解析手法でこの河川流量の変化の傾向を再現可能であった。

参照文献

1）福島雅紀・松浦達郎・服部敦、河川津波の特性把握に関する実験的検討、土木学会論文集 B2（海岸工学）Vol. 69、No. 2、P.I_261-I_265、2013

2）福島雅紀・松浦達郎・服部敦、河川津波の特徴を考慮した水位・氾濫状況に関する解析条件の検討～大型水理模型実験の中間成果報告として～、河川、2014-3 月号、P.31-34、2014

3）中村賢人・森啓年・鈴木宏幸・服部敦、津波遡上の最大水位に河川流量が与える影響に関する実験、土木学会第 70 回年次学術講演会、Ⅱ-152、2015

## Ⅳ.4.2　地震・洪水の同時期生起への対応方策

東日本大震災は、従来の経験や想定を大きく超える規模の自然災害であり、堤防の沈下等、地震による被害を受けた直後に大津波が生じたことで被害は甚大なものとなった．この災害を契機として、低頻度あるいは大規模災害に対して、事前に減災対策を立てておくことの重要性が強調された[1)2)3)]．こうした災害の１つとして、洪水と地震が同時もしくはほとんど間を置かずに連続して発生する複合災害が挙げられる。過去には、福井地震（1948年）や新潟県中越地震（2004年）のように、地震発生前後１カ月以内に豪雨が発生し被害を受けた事例も知られている[4)]。さらに今後、地球温暖化による各種気象の極端現象が出現しやすくなると、被災からの復旧・復興事業の優先順位を次の災害発生の危険性を考慮して決めるという新しい考え方も必要となってきている[5)]。

複合災害の被害低減策については、予め考え得る範囲においてシミュレーションをし、被害範囲及び被害規模の想定や各種対策の効果を事前に把握しておくことが重要である。実際に被災が生じた場合、可能な限り被害を低減するためには的確な対応とともに迅速な対応も求められる。事前に情報を把握・整理しておくことにより、その初動対応が異なることを認識する必要がある。本稿で示した手法等を活用した演習を実施し、事前に複合災害時の状況を把握しておくことは、若手現場職員等の危機管理能力向上に有効と考えられる。

自然災害が複合した際の被害は、先に生じる自然災害による防災施設・住家等の被災・復旧状況等によって、その後に生じる自然災害の被害が異なる特性を持っていると考えられる。複合災害に対する減災対策は、この特性を踏まえて検討する必要があるが、本特性を把握する手法や対策を決定する際の考え方は確立されておらず、複合災害対策の検討の課題となっている。

本研究ではまず、モデル河川を対象として、地震発生後に洪水が重畳する複合災害を想定し、被害の試算を行った。その結果から、洪水被害は地震により被害を受けた堤防の復旧状況に影響され、人的被害は復旧が進んでいない地震発生直後が最も大きく、復旧が進むほど減少する傾向を示した上で、一般的に最も被害が大きくなると考えられる地震直後の洪水のみを被害低減対策の対象とするのではなく、復旧期間にも着目することが重要であることを指摘した。

次に、複合災害時の被害低減の観点を河川整備の計画検討時等に具体的に考慮することを目的として、複合災害時の被害特性分析手法をより幅広い複合災害ケースに適用し、被害低減対策ごとの被害低減効果について試算・分析し、被害低減対策検討上の留意点を抽出・整理した。

さらに、地震後の復旧状況を可能な限り具体的に想定した上で、地震と洪水の複合災害に対する対策の効果や特性について検討した。具体的には、既存の手法や結果を組み合わせて被害を試算するとともに、地震や洪水の単独発生時を想定した現実的に実施しうる防災・減災対策に対して地震と洪水を連続して作用させ、その際の人的被害を算定した。さらにその算定結果を、被害の規模と復旧に要する期間の短縮の２つの観点から分析し、複合災害対策を検討する際の留意点について抽出した。

なお、本項目は、参照文献6)、7)、8）を本研究報告書の趣旨に鑑み、再構成したものである。

### Ⅳ.4.2.1　地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析

(1) 地震と洪水による複合災害対策検討の考え方

地震発生に次いで洪水が生じる複合災害の場合、最初に発生した地震の規模によって河川構造物や堤内地での被害が異なり、その復旧に必要な日数も異なる。一般的に、地震の規模が大きければ被害も大きく復旧に必要な日数も長くなるため、その後の洪水被害が拡大しやすくなると考えられる。一方、地震直後のように復旧が進んでいない状態で洪水が発生した場合は被害がより大きくなる可能性がある。したがって複合災害時の被害低減対策を検討する際には、地震と洪水の規模に着目するだけでは不十分であり、復旧状況やそれらに関連する他の作業との相互作用等を如何にして試算に組み込むかが重要なポイントとなる。そこで、本研究では堤内地の住宅・道路・電気及び堤防等施設の復旧状況を時系列で整理し、各復旧状況に至るまでの経過日数と各復旧状況において洪水が発生した場合の被害を試算し、さらに、被害低減対策ごとの効果について試算・分析した。

本研究では、一級河川国土交通大臣直轄管理区間を念頭に設定した延長約60kmのモデル河川を対象として地震・洪水の規模及び両者の生起間隔を体系的に変化させるとともに、堤内地の被害が河川構造物の復旧工事に与える影響を過去の実績等から設定した上で、人的被害等と復旧に要する日数の試算を行った。なお、今回は地震被害として揺れによる被害を主な対象とし、津波や地盤沈下による被害は考慮していない。また、洪水時の高潮の同時生起についても考慮していない。

(2) 複合災害時の被害の試算・分析の対象とした流域・地震・洪水

今回検討対象としたモデル河川・氾濫区域（以下「モデル区域」）の概要を表-Ⅳ.4.2.1.1に、地震発生後の経過によるモデル河川・区域の概況を表-Ⅳ.4.2.1.2に、モデル河川氾濫区域内の地盤高及び世帯数を図-Ⅳ.4.2.1.1に示す。なお、表-Ⅳ.4.2.1.2中のⅠ～Ⅴは、後に示す図-Ⅳ.4.2.1.7における呼称である。モデル河川の特徴として、下流部は地盤高が低く浸水被害が生じやすい地域であること、地盤高が低い地域にも少なからず世帯が分布していること、右岸側と比較し左岸側に世帯が集中していることが挙げられる。なお下流右岸は山付き区間として設定している。

表-Ⅳ. 4. 2. 1. 1　モデル河川・区域の概況

| | | |
|---|---|---|
| 流域の概要 | 幹川流路延長 | 約200km |
| | 流域面積 | 約5,000km$^2$ |
| 氾濫域の概要 | 直轄管理区間 | 約60km |
| | 氾濫区域面積 | 約600km$^2$ |
| | 河床勾配 | 1/500～1/5000程度 |
| | 氾濫区域内人口 | 約2,200,000人 |
| | 氾濫区域内資産 | 約69兆円 |
| | 土地利用形態 | 建物：29%、農地：37%、河川等：14%、その他：20% |

表-Ⅳ. 4. 2. 1. 2　地震発生後の経過による
モデル河川・区域の概況

| 地震発生後の経過 | モデル河川・区域の概況 | |
|---|---|---|
| 地震発生直後 | 道路啓開前のため区域外への避難不可<br>堤防復旧は全く進んでいない | Ⅰ |
| 道路啓開直後 | 主要道路は啓開、堤防復旧工事未着手 | Ⅱ |
| 堤防緊急復旧20% | 左岸下流部10.0～23.2kにおいてHWL-1.6mまで緊急復旧が完了 | Ⅲ |
| 堤防緊急復旧50% | 左岸下流部10.0～23.2kの緊急復旧が完了 | Ⅳ |
| 堤防緊急復旧完了 | 堤防の緊急復旧が完了 | Ⅴ |

地震による河川構造物や堤内地の被害（人的、建物）状況を想定するため、3つの規模の地震動を設定した（表-Ⅳ.4.2.1.3、図-Ⅳ.4.2.1.2）。南海トラフの巨大地震[9]及び東海・東南海・南海地震[10]をモデル河川に当てはめた際に想定される震度を参考とし、震度分布のメッシュサイズを250mに統一（250mよりも大きなメッシュについては250m毎に分割）した上で震度分布を設定した。以下、地震の規模の大きいものからE2（モデル区域での最大震度6.5）、E1'（同6.2）、E1（同5.8）と呼ぶ。

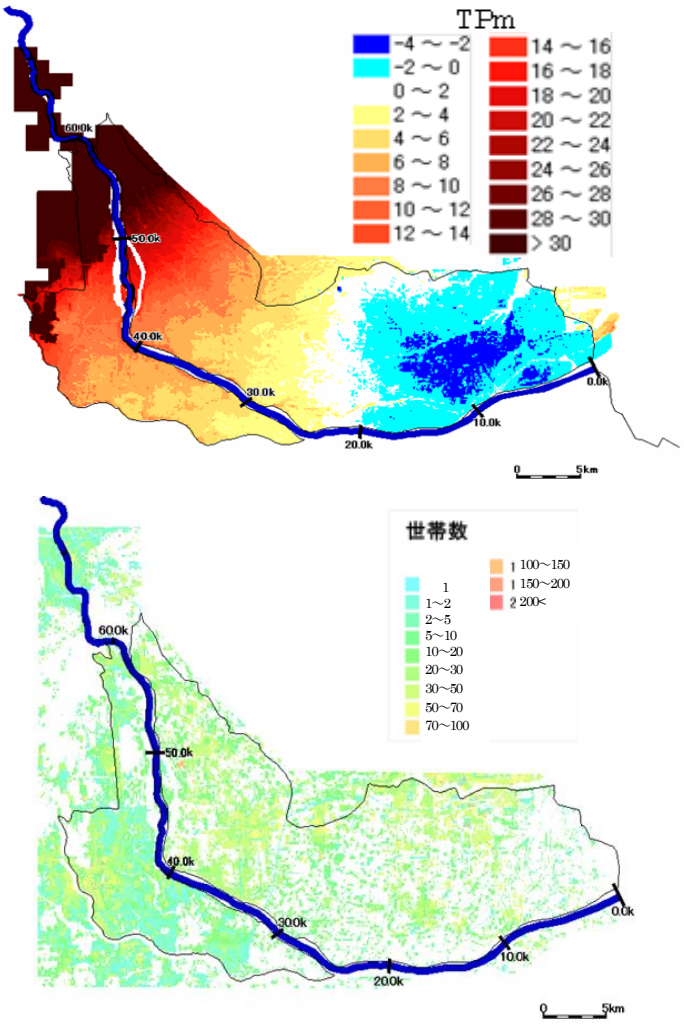



図-Ⅳ. 4. 2. 1. 1　モデル河川氾濫区域内の地盤高
及び世帯数

洪水は、表-Ⅳ.4.2.1.4 に示すとおり、モデル河川の流下能力規模の洪水（以下、「洪水規模 1」という）とそれを上回る規模（以下、「洪水規模 2」という）の 2 種類の洪水規模を設定した。モデル河川最上流端のピーク流量は、洪水規模 1 で概ね 8,000m$^3$/s、洪水規模 2 で概ね 15,000m$^3$/s とした。

洪水による被害については表-Ⅳ.4.2.1.2に示すとおりモデル区域内の避難状況や堤防の復旧状況が異なる時点に区分して各試算した。なお、地震により沈下した堤防の緊急復旧高はHWL（計画高水位）までとし、氾濫被害が相対的に大きい左岸下流部10～23.2km区間を優先的に復旧する設定とした。

表-Ⅳ.4.2.1.3　設定した地震動

| 本研究での呼称 | 参考とした地震 | モデル河川区域における最大震度 | 設定方法 |
|---|---|---|---|
| E2 | 南海トラフ巨大地震 | 6.5 | 発生確率が低く、甚大な被害が生じる最大クラスの地震動 |
| E1’ | E1及びE2の中間 | 6.2 | E1及びE2の中間程度である地震動（東海・東南海・南海地震の震度＋0.4） |
| E1 | 東海・東南海・南海地震 | 5.8 | 堤防沈下は生じるが、堤内地の家屋倒壊は僅かである地震動 |

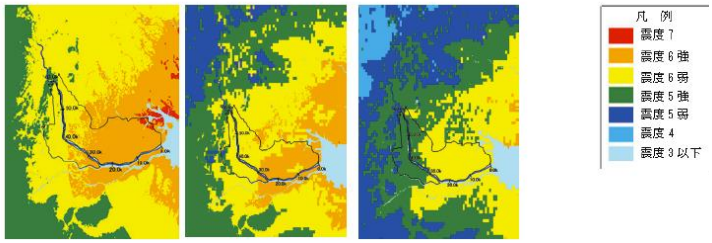



図-Ⅳ.4.2.1.2　想定震度分布（左E2、中E1’、右E1）

表-Ⅳ.4.2.1.4　設定した洪水流量

| | 想定する規模 | 流　量 |
|---|---|---|
| **洪水規模1** | 現況流下能力規模 | 概ね 8,000m$^3$/s |
| **洪水規模2** | 現況流下能力を上回る規模 | 概ね 15,000m$^3$/s |

(3)地震による被害の想定

地震被害、その後の復旧状況及び洪水被害の想定フローを図-Ⅳ.4.2.1.3に示す。このフローにより、地震により発生する停電による避難情報の伝達困難な世帯数、道路被害、建物被害、人的被害を試算した結果を表-Ⅳ.4.2.1.5に示す。

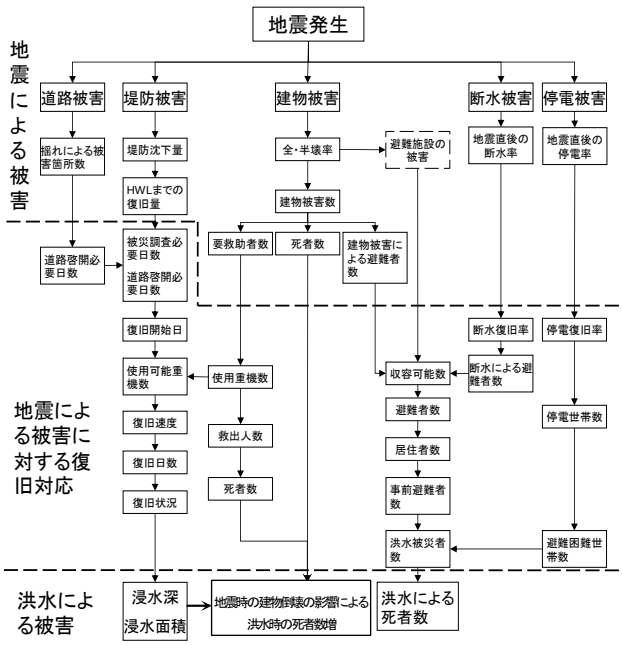



図-Ⅳ.4.2.1.3　想定した地震の被害とその対応

表-Ⅳ.4.2.1.5 地震による被害試算結果

| 地震規模 | | | E2 | E1’ | E1 |
|---|---|---|---|---|---|
| モデル区域人口（人） | | | 2,200,000 | | |
| モデル区域内世帯数（世帯） | | | 780,000 | | |
| モデル区域内家屋数（戸） | | | 580,000 | | |
| 損壊家屋数（戸） | 全壊家屋 | | 57,000 | 21,000 | 420 |
| | 半壊家屋 | | 220,000 | 120,000 | 1,800 |
| | 計 | | 270,000 | 140,000 | 2,200 |
| 地震直後の停電世帯数（世帯） | | | 730,000 | 680,000 | 360,000 |
| 家屋倒壊による人的被害（人） | 死者 | | 3,400 | 1,200 | 25 |
| | 要救助者 | | 26,000 | 9,300 | 190 |
| | 救出人数 | | 1,100 | 1,100 | 160 |
| | 救出時死者 | | 25,000 | 8,300 | 30 |
| 地震による死者数（人） | | | 28,000 | 9,500 | 55 |
| 地震直後の断水人口（人）※ | | | 1,700,000 | 1,700,000 | 1,200,000 |
| 家屋倒壊による避難者数（人） | | | 240,000 | 84,000 | 1,500 |
| 断水による最大避難者数（人） | | | 450,000 | 460,000 | 320,000 |
| 計（人） | | | 690,000 | 550,000 | 320,000 |
| 避難所収容人数（人） | 平常時収容可能人数 | | 330,000 | | |
| | 被災後収用可能人数 | | 180,000 | 250,000 | 330,000 |
| 避難者数（人） | 断水避難者ピーク時 | 区域内 | 180,000 | 250,000 | 320,000 |
| | | 区域外 | 510,000 | 290,000 | 0 |
| | 断水解消後 | 区域内 | 180,000 | 84,000 | 1,500 |
| | | 区域外 | 60,000 | 0 | 0 |
| 地震後自宅居住者（人） | 断水避難者ピーク時 | | 1,500,000 | 1,600,000 | 1,900,000 |
| | 断水解消後 | | 1,900,000 | 2,100,000 | 2,200,000 |
| 地震による直接被害額（百億円） | | | 2,600 | 1,700 | 19 |

※ 地震直後の断水人口は家屋倒壊による要救助者を除いた値。

1)停電による避難情報の伝達困難な世帯数

東日本大震災時の実績[11]に基づき地震直後の震度別停電率を震度6弱以上:96%、震度5強:43%、震度5弱:22%、震度4:13%、震度3以下:0%とし、その後の経過日数に応じた復旧率を中央防災会議の南海トラフ巨大地震の被害想定手法（以下、南海トラフ想定手法）[12]を参考に想定（例 地震後1週間で復旧率90%）し、モデル区域内の停電世帯数（洪水時に避難行動をとれない人数）をメッシュ別に試算し洪水時避難率を低減した。今回停電率及び復旧日数を概略で設定したが、庄司ら[13]、Shoji et al.[14]がより詳細な設定手法を提案しており、今後同手法などを活用した精度向上が考えられる。

2)道路啓開必要日数及び建物被害の推定

「中部版くしの歯作戦」[15]を参考にE2地震時の道路啓開必要日数を3日と設定し、南海トラフ想定手法を用いてモデル区域内に想定した緊急輸送道路の「震度別延長（km）」に「震度別道路延長当たり被災箇所数（箇所/km）」を掛けることにより地震規模毎の道路被災箇所数を想定し、E2時の道路被災箇所数との比率によりE1’を3日、E1は2日と設定した。なお、今回道路被災個所数を概略で設定したが、Shoji and Nakamura[16]などを参考に最新の知見を活用した設定を今後検討することが考えられる。

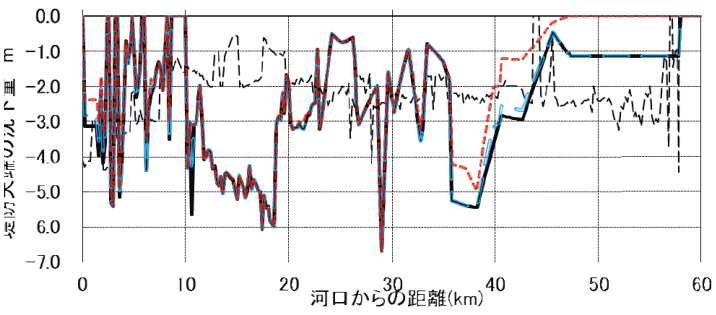
また南海トラフ想定手法を用いて地震規模ごとの全・半壊戸数を設定するとともに、設定した家屋の全・半壊率よりモデル区域内の避難施設の被災（使用不能）率を設定した。

3)地震による人的被害の推定

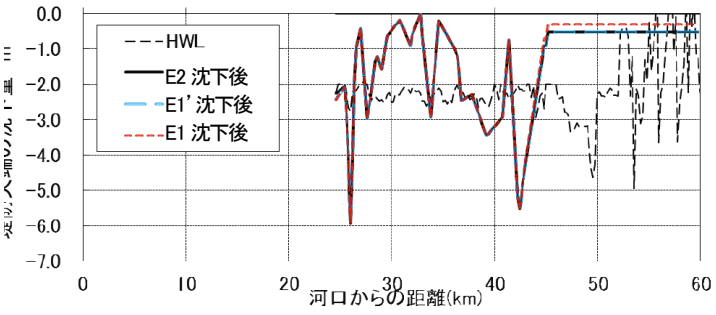
メッシュごとの震度、建物構造別・建築年次別棟数から南海トラフ想定手法を参考に全壊・半壊（全半壊戸数比より）戸数を試算し、死者・要救助者数（自立脱出困難者数）及び避難者数を試算した（表-Ⅳ.4.2.1.5、死者数がより多くなる夜間（建物滞留率100%）に地震が発生した場合を採用）。なお要救助者の生存率については阪神・淡路大震災の実績[17]を参考に発生当日：75%、2日目：25%、3日目：15%、4日目以降：0%と設定した。避難者数は南海トラフ想定手法を参考に建物倒壊と断水によるものに分けて推定した。断水による避難者数は川上による手法（水道管は普通鋳鉄管とした）[18]から設定した。水道復旧率については都市部における水道事業者の事業継続計画[19]を参考に、発災後4日目までは被災調査等のため復旧率0%、復旧作業は5日目から開始し28日目に完了する（復旧率は復旧作業開始からの日数に一次比例）と想定した。断水による避難者数は断水生活困窮度に応じて時系列で変化し、避難施設の収容人数を超える避難者はモデル区域外へ避難するものとした。なお水道復旧に要する期間の設定についてはNagata et al.[20]など、ライフライン停止を踏まえた避難者数設定については東京都[21]などを参考に今後改良することが考えられる。

4)地震による堤防沈下量の推定

河川堤防の耐震点検マニュアルの簡易式[22]によって算定した200mごとの堤防沈下量を堤防耐震性能照査[23]結果により補正（プレート型地震動によるKh=0.4の場合の両沈下量の比から簡易式による沈下量を補正。堤防高の75%を沈下量の上限とした）し、地震規模ごとに堤防沈下量（右岸下流の山付き区間を除く）を設定した（図-Ⅳ.4.2.1.4）。左岸40kmより上流部において地震規模に応じた沈下量に若干差が生じているものの、それ以外の区間では顕著な差は認められなかった。




(a) 左岸




(b) 右岸

図-Ⅳ.4.2.1.4 堤防沈下状況設定縦断図

(4) 洪水発生までの危機対応の想定

1)危機対応で使用可能な重機数の設定

危機対応で使用可能な重機数は、河川管理者と災害協定を締結している業者（以下「協定業者」）が所有しているものを対象として設定した。このうち、道路啓開前はモデル区域内に位置する協定業者のみを対象とし、道路啓開後はモデル区域を含む市町村内の協定業者まで対象を広げた。これら重機の救助作業と復旧工事での使用台数の割り振りについては東日本大震災における直轄管理河川での緊急復旧工事の実績に基づき、バックホウ・ブルドーザは救助作業：復旧工事＝8：2、ダンプトラックは復旧工事開始後10日目までは同8：2、同11日目以降は3：7とした。なお、表-Ⅳ.4.2.1.8に示す救助完了までに必要な日数が経過し、救助作業が完了した後はバックホウ・ブルドーザ・ダンプトラックともに同0：10とした（表-Ⅳ.4.2.1.6）。

表-Ⅳ.4.2.1.6 危機対応で使用可能な重機数の設定

| | バックホウ | | ブルドーザ | | ダンプトラック | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 復旧工事 | 協定業者所有 | 復旧工事 | 協定業者所有 | 復旧工事 | 協定業者所有 |
| 道路啓開前 | 0 | 228 | 0 | 51 | 0 | 200 |
| 道路啓開後～河川堤防復旧工事開始前 | 0 | 447 | 0 | 100 | 0 | 480 |
| 道路啓開後 復旧工事開始後10日目まで | 89 | 447 | 20 | 100 | 96 | 480 |
| 復旧工事開始後11日目以降 | 89 | 447 | 20 | 100 | 336 | 480 |

2)建物被害に伴う救助作業の設定

救助作業は消防機関で対応すると想定し表-Ⅳ.4.2.1.7のとおり設定した。本試算の救助隊数は結果的に重機数に制限された。1日あたりの救助可能人数等を表-Ⅳ.4.2.1.8に示す。1日あたり救助可能人数は被災家屋の木造・非木造比率に応じて救助隊数を案分し算定している。

表-Ⅳ.4.2.1.7 救助作業の設定

| 消防機関人員*1 | 救助作業人員*2 | 救助隊編成 | | 1名の救助に要する時間[24] | | 1日の作業時間 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 木造家屋 | 非木造家屋 | |
| 5,900人 | 4,500人 | 5人 | バックホウ1台*3 | 117分 | 252分 | 9時間 |

*1 同規模の氾濫区域を持つ自治体の消防年報等から設定。

*2 救急隊員、通信指令要員等ほかの作業に従事する人員を考慮し消防機関人員の75%とした。

*3 東日本大震災の聞き取り調査より。

表-Ⅳ.4.2.1.8 倒壊建物からの救助作業の設定

| | 救助隊数 | 救助効率（人/隊・日） | | 1日当たり救助可能人数 | 救助完了までに必要な日数 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 木造 | 非木造 | | E2 | E1' | E1 |
| 道路啓開前 | 228 | 4.6 | 2.1 | 933 | 23日 | 10日 | 1日 |
| 道路啓開後～緊急復旧工事開始前 | 447 | | | 1,832 | | | |
| 緊急復旧工事開始後 | 358 | | | 1,466 | | | |

3) 河川堤防の緊急復旧工事の設定

復旧工事は道路啓開後かつ堤防被災調査完了後に開始するものし、被災調査日数は東日本大震災や新潟県中越沖地震における1日あたりの調査実績等より規模に関わらず5日間と設定した。緊急復旧工事は24時間体制で実施するものとし、復旧に必要な土量と1日当たりの復旧量等を表-Ⅳ.4.2.1.9に示す。地震規模による堤防被害に大きな差がないにも関わらず復旧工事完了までの日数に差が出たのは、堤内地における救助作業の影響を受け、復旧工事速度に差が生じたためである。

表-Ⅳ.4.2.1.9 河川堤防の緊急復旧工事の設定

| 地震規模 | 復旧土量（$m^3$） | 1日あたりの復旧量($m^3$) | | | | 地震発生から緊急復旧完了までの日数* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10日目*迄 | 11～15日目 | 16～23日目 | 24日目以降 | |
| E2 | 1,438,085 | 16,000 | 16,000 | 21,000 | 80,000 | 37 |
| E1' | 1,379,007 | 16,000 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | 27 |
| E1 | 1,132,027 | 80,000 | 80,000 | 80,000 | – | 20 |

* 堤防の被災調査に要する5日間を含む。

(5) 複合災害による被害の試算と被害特性の分析

氾濫計算は治水経済調査マニュアル（案）[25]に基づき河道内水位を逐次一次元計算し、任意の堤防断面で無害流量に相当する水位（堤防沈下後は沈下分だけ低く設定、ただし耐震性能照査水位（耐震性能の照査において考慮する外水位）及び破堤敷高を下回らないものとした）を河道内水位が超えた時点で破堤氾濫するものとし、氾濫原内で250mメッシュ二次元不定流計算を行いメッシュ別最大浸水深を試算した。

洪水による直接被害額は次式によりメッシュ・資産種類ごとに試算した。

「直接被害額」＝「最大浸水深・資産種類に応じた被害率」×（「地震前の資産額」－「地震による資産被害額」）

表-Ⅳ.4.2.1.10 洪水時の死者数算定条件

| | |
|---|---|
| 地震による要救助者の浸水時の死亡判定 | 避難率は0%とし、1階床面から危険水位帯として判定 |
| 半壊家屋居住者の浸水時の死亡判定 | 年齢に関わらず上階へ避難ができないものとし、1階床上から安全水位帯、準危険水位帯、危険水位帯として判定 |
| 洪水時の避難行動 | 地震による避難者の洪水時避難率は100%、自宅残留者の避難率は40%、停電世帯の避難率は0%と設定 |

洪水による死者数は浸水深に応じて死亡率を設定するLIFESimモデルを参考にした手法[26]を踏まえ表-Ⅳ.4.2.1.10、及び図-Ⅳ.4.2.1.5のとおり地震の影響を考慮した算定条件を設定し、次のとおりメッシュごとに試算した。

「死者数」＝「最大浸水深・建物損壊状況（全・半壊、その他）に応じた死亡率」×（「建物損壊状況別居住者数（避難者及び地震による死亡者を除く）」

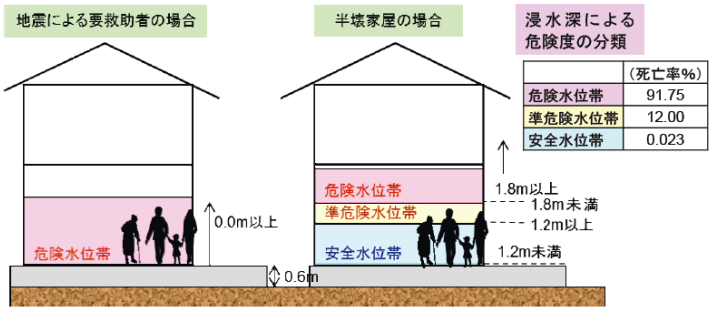
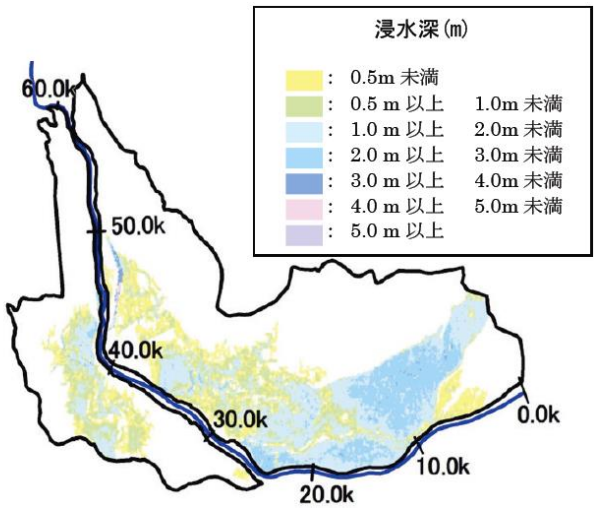



図-Ⅳ.4.2.1.5 地震による被害を考慮した洪水時死亡率の設定

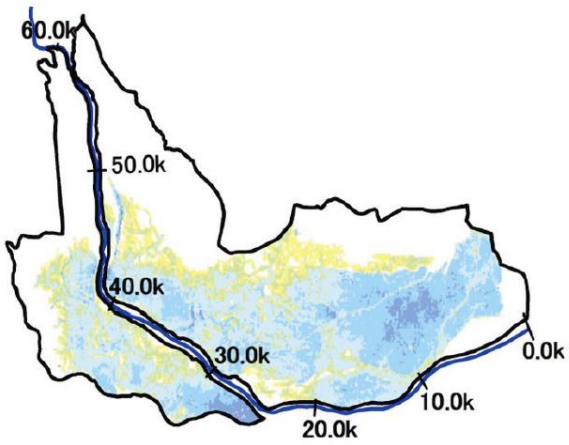
1) 洪水氾濫計算結果

洪水氾濫計算結果例を図-Ⅳ.4.2.1.6に示す。洪水規模2について洪水単独の場合と堤防が最も沈下した状況であ

るE2地震直後の場合とを比較すると、後者は前者に比べ平均浸水深で約1.3倍、浸水面積で約1.5倍に増大し、堤防沈下の影響が明確に表れた。なお、地震規模ごとの堤防沈下量の差は小さかったため地震規模による浸水深・面積の差は顕著ではなかった。




(a)洪水規模2単独




(b)E2地震直後洪水規模2

**図-Ⅳ.4.2.1.6 氾濫シミュレーション結果**

2) 洪水被害の試算と被害特性の分析

図-Ⅳ.4.2.1.7に地震発生から洪水発生までの日数とモデル区域内の居住者（避難せず自宅にいる住民）、堤防の復旧速度、洪水による死者数の関係を示す。洪水が単独で発生した場合の被害（洪水規模2で460人、洪水規模1で0人）と比較すると、複合化することで洪水被害が大きく増加している。

なお、1)で述べたとおり地震規模による氾濫状況に大きな差はないにも関わらず、E2とE1'地震後の洪水規模2による死者数に大きな差が生じている（地震直後の洪水でE2はE1'の約1.4倍）。これは表-Ⅳ.4.2.1.5に示したとおり全・半壊戸数でE2はE1'のほぼ2倍となっていることから建物被害の影響（地震による建物倒壊により要救助者の死亡率が増大すること、半壊建物における死亡率が上昇すること等）が大きいと推察される。

特に地震直後に洪水規模2が発生すると洪水による死者数は、表-Ⅳ.4.2.1.5に示した地震単独による死者数よりも大きくなる。一方、堤防の復旧が進むにつれて死者数は大きく減少し、復旧工事の進捗が被害低減に大きく寄与することがわかる。ただし、E2、E1'地震のいずれも20%復旧時よりも50%復旧時の方が洪水規模1、2による死者数が多くなった。これは、地震に伴う断水による避難者が、断水の解消とともに区域内の住居に戻ってきた結果、20%復旧時よりも50%復旧時の方が区域内人口が多くなったためである。

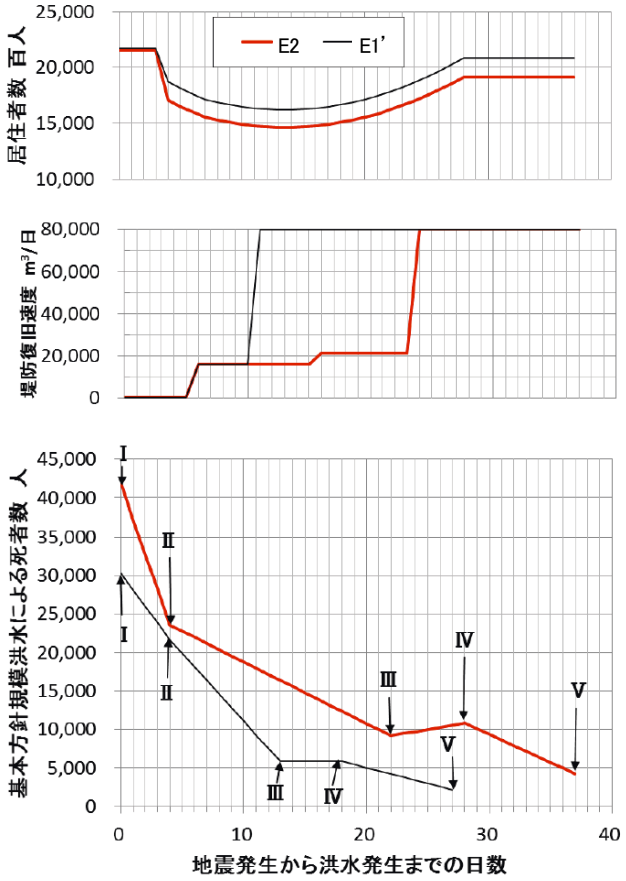



**図-Ⅳ.4.2.1.7 地震から洪水までの日数と洪水規模2による死者数等との関係**

(6) 複合災害時の被害低減対策の効果の試算・分析

下記4つの仮想的対策ケースを設定し、各被害低減効果を試算した。試算結果の比較・分析に当たっては、地震発生日から洪水発生日までの日数と洪水による被害との関係曲線（図-Ⅳ.4.2.1.7参照）を作成するとともに、同曲線と横軸との間に挟まれる面積（地震発生日から緊急復旧完了日まで）を「相対リスク」として次のとおり定義

した。

相対リスク＝$\int R(t)dt$　（積分区間はt=0から$t_e$まで）

ここで、Rは死者数または洪水による直接被害額、tは地震発生から洪水発生までの日数、$t_e$は河川堤防の緊急復旧工事完了までに要する日数

R(t)は地震発生から洪水発生までの日数と洪水による被害との関係曲線を表し、これを日で積分した相対リスクは、後に示す図-Ⅳ.4.2.1.8、図-Ⅳ.4.2.1.9、図-Ⅳ.4.2.2.1、図-Ⅳ.4.2.2.1において、R(t)曲線と縦軸及び横軸に囲まれた部分の面積である。この値は、地震発生後の1日あたりの洪水の発生確率が一定であれば、地震後、河川堤防の緊急復旧工事完了までに発生する洪水被害の期待値に比例する。上記相対リスクに基づき「被害低減対策ごとの被害低減率」＝（{「対策なしの場合の相対リスク」－「対策実施の場合の相対リスク」}÷「対策なしの場合の相対リスク」）について分析した。

本項で、対策ケースは以下の4ケースを対象とした。

- 対策ケース1：河川堤防の緊急復旧を2週間で100%実施できる資機材（建設重機、堤防材料等）を備蓄しておく。
- 対策ケース2：同2週間で50%実施できる資機材を備蓄しておく。
- 対策ケース3：上記対策ケース2と同程度の費用（50年間）で堤防を耐震化する。
- 対策ケース4：上記対策ケース3と同様に堤防を耐震化するとともに「対策ケース1の費用と対策ケース3の費用の差」（50年間分）を上限として資機材の備蓄を行う。（堤防の耐震化費用と資機材の備蓄費用（50年間分）の合計は対策ケース1と同程度）

1)地震の影響による洪水被害の変化

地震による河川管理施設、氾濫ブロック内の建物・道路等の被害は、その後発生する洪水被害に対して主に次の3つの影響を与えると考えられる。

a. 堤防の沈下による洪水時の氾濫範囲・浸水深の増大による被害の増大。
b. 氾濫ブロック内の住宅等が地震により損壊し、2階建て建物において2階へ避難できなくなること、地震後の停電により洪水時の避難情報等が伝達できなくなること等による洪水時の人的被害の増大。
c. 地震で建物等が損壊することによる資産の残存価値の低減に起因した、その後の洪水氾濫による浸水時の直接被害額の見かけ上の低減。

E2、E1'地震後に洪水規模2又は1が表-Ⅳ.4.2.1.2の各時点（Ⅲを除く）で生起した場合の洪水による死者数の試算結果を図-Ⅳ.4.2.1.8に、同洪水規模2が生起した場合の洪水による直接被害額の試算結果を図-Ⅳ.4.2.1.9に示す。図-Ⅳ.4.2.1.8のとおり地震規模の増大に応じて洪水による死者数が増大している。これは、上述のa、bの影響が相対的に大きいためと考えられる。一方、図-Ⅳ.4.2.1.9の地震直後の洪水による直接被害額は地震規模の増大に対して減少している。これは上述のcの影響が相対的に大きくなったためと考えられる。

2)資機材備蓄対策と耐震化対策による効果の違い

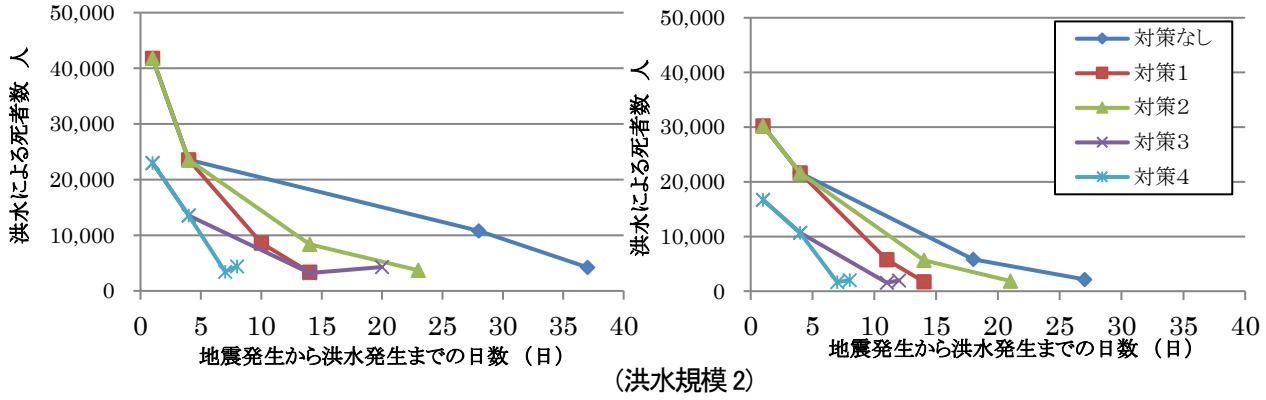
今回の試算上同程度の費用となる対策ケース2と3を比較すると、当然のことながら堤防の耐震化対策による洪水被害低減効果は地震発生直後から生じ、地震発生直後の洪水被害に大きな差が生じている（図-Ⅳ.4.2.1.8）。また、被害低減率を比較すると、例えばE2地震後の洪水規模2による死者数では、対策ケース2では46%であるのに対して、対策ケース3では72%と20ポイント以上大きくなった。複合災害時の被害低減対策について「耐震化対策による被害低減効果は備蓄対策よりも大きい」ことを本手法により確認することは、代替案の比較検討時に重要な場合があるものと考えられる。

3)想定洪水規模の違いが被害低減効果に及ぼす影響

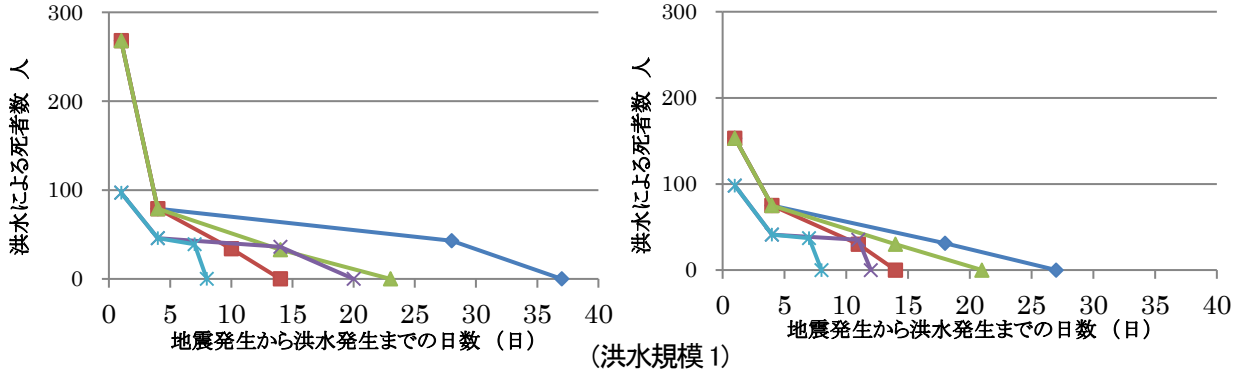
対策による被害低減効果は洪水規模により異なっている。例えば、図-Ⅳ.4.2.1.8の対策ケース3、4による死者数低減効果は一部の時点を除き現況流下能力規模洪水時よりも基本方針規模洪水時の方が大きい。被害低減率を比較すると、例えば対策ケース3におけるE1'地震後の洪水規模2による死者数では72%だが、同洪水規模1については60%と10ポイント以上の差が生じた。複合災害に関する被害低減対策の比較検討時には、複数の洪水規模を対象として被害低減効果を試算することが必要な場合があると考えられる。

4)想定地震規模の違いが被害低減効果に及ぼす影響

地震規模により対策ケースごとの被害低減効果が異なっている。例えば、対策ケース2における洪水規模2による死者数の被害低減率は、E2地震について46%であるが、同E1'地震については21%しかない（図-Ⅳ.4.2.1.8）。これは、E2地震時に比べE1'地震時の氾濫ブロック内の家屋被害が相対的に少ない（表-Ⅳ.4.2.1.5）ことなどから、資材備蓄による復旧作業の早期化による被害低減効果が

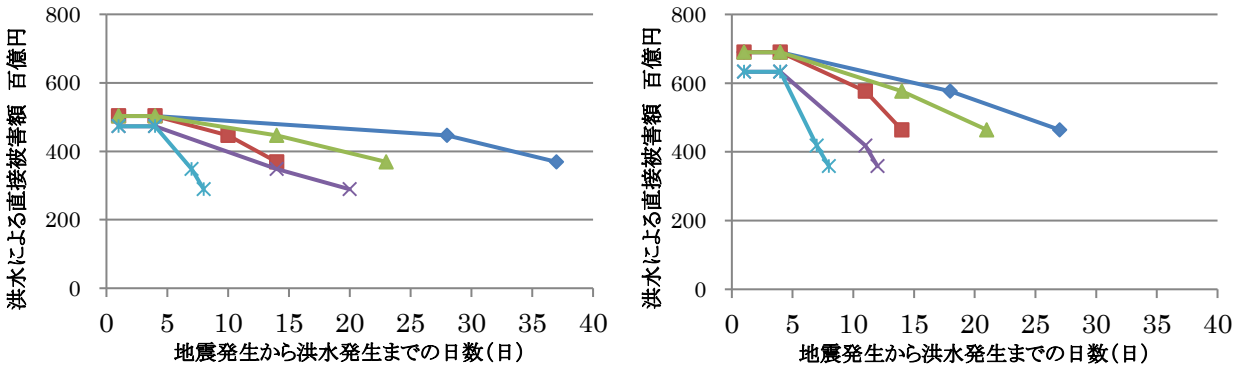



（洪水規模 2）




（洪水規模 1）

図-Ⅳ.4.2.1.8 被害低減対策ごとの死者数低減効果（左 E2 地震 右:E1’地震）




（洪水規模 2）

図-Ⅳ. 4. 2. 1. 9 被害低減対策ごとの直接被害額低減効果（左 E2 地震 右：E1’地震）

相対的に小さくなったためと考えられる。複合災害時の被害低減対策の比較検討時には、複数の規模の地震を対象に被害試算を行うことが必要な場合があると考えられる。

(7) 得られた知見

以上の検討から得られた主な知見は次のとおりである。

a.地震・洪水規模の変化が洪水被害に与える影響を死者数と直接被害額の2つの観点から図示した。洪水時の死者数は地震規模の増大により増加したが、同直接被害額は地震規模の増大により見掛け上、減少する場合があった。このため、複合災害対策の検討においては特性の異なる複数の被害指標の観点が重要と考えられる。

b.資機材備蓄対策と堤防等の耐震化対策の被害低減効果の特性を図示した。耐震化対策による被害低減効果は地震直後に大きいとともに、緊急復旧完了までの期間全体で見ても相対的に大きいことを示した。迅速な復旧が困難な地域特性等が認められる場合には特に耐震対策の優先順位を上げる必要性が高いと考えられる。

c.想定地震・洪水規模の違いにより対策ごとの被害低減効果が異なることを図示した。特定の地震・洪水規

模に対策の検討・分析を限定せずに、複数の地震・洪水規模を対象に被害試算・対策検討を行うことが重要と考えられる。

### Ⅳ.4.2.2　堤内地での対策を含む様々な被害低減対策による効果の特性の分析

(1)　分析にあたっての基本的な考え方

河川整備を対象とした対策だけでなく、図-Ⅳ.4.2.1.3を参考に相互に関連すると考えられる河川以外の分野の対策も加え、より幅広い被害低減対策による複合災害時の被害低減特性についてさらに分析を行った。ここで、対策としては各単独災害を想定した対策を設定した。これは複合災害に特化した対策を実施することは整備労力の観点から制約があり難しいと考えたためである。現実的に実施される可能性のある単独災害を想定した対策に対して複合災害時の外力を作用させることにより、その際の被害低減効果を分析したものであり、一種のストレステストと言い換えてもよいだろう。

(2)　検討方法及び対象とした外力・対策

対象としたモデル河川や外力、被害試算の算定手法については、Ⅳ.4.2.1 と同様の設定とした。なお、地震後の洪水の発生時点については表-Ⅳ.4.2.2.1 のとおり拡充した。

表-Ⅳ.4.2.2.1　設定した地震と洪水の生起間隔

| 発生タイミング | 洪水発生時点 | 道路啓開 | 地震による避難率 |
|---|---|---|---|
| Ⅰ | 地震発生直後 | 実施前 | 0% |
| Ⅱ | 地震発生直後 | 実施前 | 40% |
| Ⅲ | 地震発生直後 | 実施後 | 100% |
| Ⅳ | 堤防復旧10%時点 | 実施後 | 100% |
| Ⅴ | 堤防復旧20%時点 | 実施後 | 100% |
| Ⅵ | 堤防復旧50%時点 | 実施後 | 100% |
| Ⅶ | 堤防復旧100%時点 | 実施後 | 100% |

各種対策は、4.2.1(6)の検討を踏まえ、改めて以下の通り、想定した。

a) 対策 0：現況（無対策時）

対策の効果を把握するため無対策の状況を設定した。

b) 対策 1：流下能力向上

モデル河川では暫定堤区間を設定しており、これらを完成堤まで整備すると地震による沈下後の堤防高が対策 0 よりも確保され、復旧に要する期間及び氾濫流量も減ずることが想定される。そこで下流部の暫定堤区間を完成堤として整備する対策を設定した。

c) 対策 2：堤防の沈下対策

地震による堤防の沈下を抑制することにより、地震後の洪水による氾濫被害を抑制することができることに加え、復旧に要する資材の量も削減されると考え、下流部の堤防に対する沈下対策を選定した。なお、沈下対策を行った区間は地震後も沈下が生じないものと設定した。

d) 対策 3：避難者の帰宅規制・誘導

地震時の一時避難者が断水復旧状況に応じて氾濫区域内の自宅に帰宅することで、洪水による人的被害が拡大する場合がある。そこで、一度避難した人の帰宅を規制することで、洪水による人的被害の拡大を抑制するため、本対応を選定した。

e) 対策 4：緊急復旧資機材の備蓄拡充

堤防の復旧速度は、復旧用資機材の量やそれを運搬するルートの確保等によっても左右される。また、資機材の備蓄がない条件では、重機は救助活動に優先され、救助活動終了後に堤防復旧工事に用いられることとなる。よって、事前に資機材の備蓄を拡充し、上記に左右されない体制を予め整えておくことで、堤防の復旧速度を早めることができると考え、本対策を選定した。

f) 対策 5：二線堤

洪水による浸水範囲を抑制することにより、被害を低減することができると考え、洪水被害が発生する区間の既存道路の一部を嵩上げ、二線堤とする設定とした。

g) 対策 6：堤内地の建物の耐震化

地震によって倒壊する建物を要因とする人的被害と要救助者の救出に要する重機の使用日数を低減させるため、耐震基準が改訂された 1981 年以前に建築された建物について、新耐震基準と同程度の耐震性を有する水準の耐震補強を実施するものと設定した。

h) 対策 7：道路啓開のための対策

地震発生後の救助・救援ルートを確保し、道路啓開に要する時間を短縮することで、堤防復旧に使用する機材を早期に割り当てることができると想定した。そこで、「避難道路沿線の建物の耐震化」と「電柱・電線の地中化」を道路啓開の早期解決の対策として設定した。

(3) 氾濫計算及び洪水による被害の試算結果

洪水による人的被害の結果の一例を図-Ⅳ.4.2.2.1 に示す．人的被害については地震直後に洪水が発生した場合の対策 0 の条件下の被害を 1 として無次元化している。また、グラフ内で示されている対策毎のマーカーは、左から順に、表-Ⅳ.4.2.2.1 で示した洪水発生タイミングを示している。

1) 単独災害を想定した対策の複合災害に対する効果

地震規模 E2、洪水規模 2 の条件下での洪水による人的被害は、程度の差はあるものの、いずれの生起間隔においても全ての対策ケースにおいて減少しており、地震規模 E1'、E1 においても同様の傾向が確認された。これは、地震や洪水の単独発生時を想定して実施する対策が、複合災害時にも効果を発揮することを示すものである。また、対策によって被害の低減効果が顕著となる時期が異なっており、地震直後の洪水に対する低減効果が高い対策と地震発生から洪水発生までの期間が長くなるに伴って低減効果が高くなる対策に傾向が分かれる。前者については、堤防の沈下量を抑制するといった洪水に対する直接的な対策が該当する傾向にある。一方で、後者は、堤防の復旧期間の短縮によって効果が発揮される対策が該当する傾向にある。

2) 想定した対策効果とその付加効果

対策 6 は、洪水に対する直接的な対策ではないが、洪水に対する人的被害の低減効果が確認された。これは、家屋の倒壊が抑制され、家屋からの救助活動に要する労力が減少し、堤防復旧工事へ投入可能な重機が増えたことによる。その結果、堤防の復旧工事の日数が短縮され、洪水による人的被害が低減したと推測される。これは、本来の効果に加えて、意図していない効果を発揮し、複合災害時の被害低減に寄与する場合があることを示すものである。一方で、対策 5 では、洪水規模 2 の条件下では被害が低減しているものの、洪水規模 1 の条件下では、地震発生直後の洪水において、無対策時に比べて人的被害が 2.3 倍に増加している。地震発生から約 14 日後に発生する洪水にてその被害は無対策を下回るが、上記までの期間は総じて無対策時よりも被害が大きくなっていることが確認できる。この要因として、今回の試算においては、対策 5 により二線堤と河川の間の浸水深が大きくなったことが挙げられる。場合によっては、二線堤の対策により浸水範囲は狭まるものの、その範囲の浸水深は無対策時と比べて大きくなる。その結果、浸水深の増大による人的被害の増加分が、二線堤によって非浸水域や浸水深が低下する範囲の人的被害を上回り、被害が増加したと考えられる。また、堤防の復旧に伴い氾濫流量が減るため、堤防復旧が 10%となる 14 日後の条件下においては、上記で示した浸水深が増減する範囲の人的被害数が逆転し、無対策時よりも被害が低減したと推測される。このように、対策によっては本来想定していた効果に加えて意図していない効果も発揮され、被害を低減

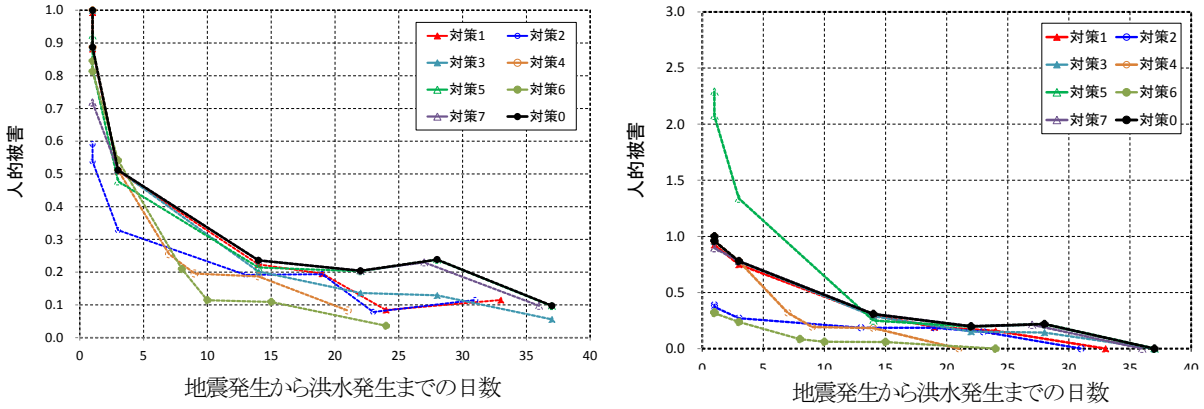



図-Ⅳ.4.2.2.1 地震発生から洪水発生までの日数と人的被害との関係

（左図：地震：E2 規模，洪水：洪水規模 2，右図：地震：E2 規模，洪水：洪水規模 1）

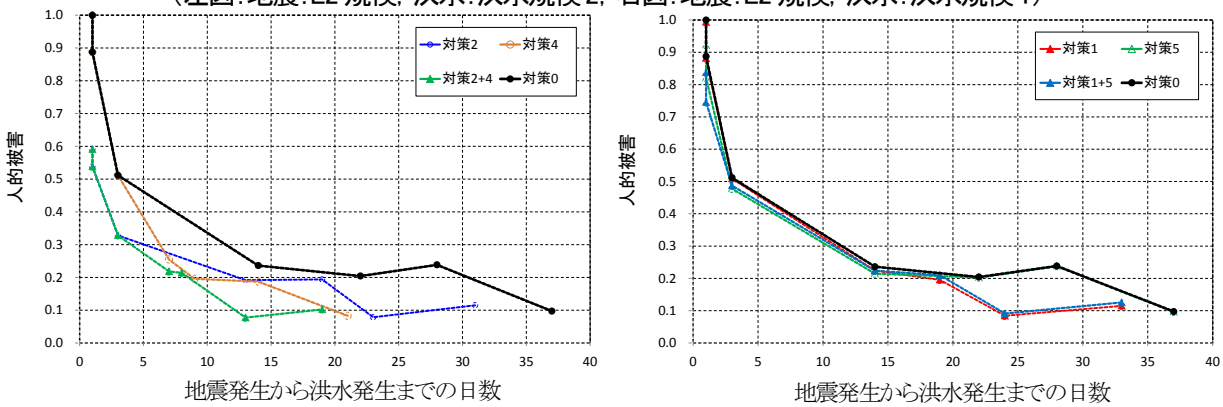



図-Ⅳ.4.2.2.2 地震発生から洪水発生までの日数と人的被害との関係（地震：E2規模，洪水：洪水規模2）

させる効果と増加させる効果の両面を有する場合があることを認識しておく必要がある。

3) 各対策の組み合わせによる効果

図-Ⅳ.4.2.2.2 は各種対策を組み合わせた際の人的被害の一例を示したものである。対策 2 及び 4 を設定することによって、各対策単独時よりも被害低減効果を発揮しているとともに、その効果は各対策を単純に足し合わせた結果とは異なることが確認できる。一方、対策 1 及び 5 を設定した条件下では、対策単独の場合と複数の対策を組み合わせた場合において効果はほぼ変わらない。また、洪水発生の時期によっては、組み合わせた場合の方が、被害が大きくなる場合があることも確認された。今回の試算のケースでは、被害の増加は、二線堤よりも上流部で生じた氾濫によって、二線堤と河川の間に氾濫水が集中し、浸水域あるいは浸水深が増加する範囲が拡大したためである。上記範囲における人的被害の増加分が、二線堤により非浸水域となる範囲の人的被害の減少分を上回ったため被害が増加したものと考えられる。これは、二線堤による対策が一律に被害を拡大するということではなく、各種対策の特性を把握した上で、対策の組み合わせを検討する必要があることを示唆している。

(4) 得られた成果

(a) 地震対策及び洪水対策を仮定した氾濫計算において、複合災害時においても人的被害が低減する結果が多くの条件で確認された。単独災害時を想定して実施する対策が複合災害時にも被害低減効果を発揮することが示唆された。

(b) 建物の耐震化によって家屋倒壊が減少し、同家屋からの救助活動負荷が減ることにより、堤防復旧工事に使用可能な重機が増え、河川堤防の復旧期間が短縮される等、対策によっては、本来想定していた効果に加えて意図していなかった効果が発揮され、被害の増減に影響することが示唆された。

(c) 対策の組み合わせによって、その効果が重複することにより、より大きな低減効果を発揮する場合があることが示唆された。

(d) 対策によっては被害が大きくなる場合がありうることから、対策を検討するにあたっては、対策の特性を十分に把握する必要があることが示唆された。

## Ⅳ.4.2.3 結語

本研究では、複合災害時の被害特性の体系的分析手法を提案し、同手法をモデル河川に適用し、地震後に洪水が生起する複合災害を対象として死者数及び直接被害額の被害特性及び各種被害低減対策による被害低減効果について分析し、対策検討上の留意事項を抽出した。

今回開発した被害特性分析手法は、複雑な複合災害の被害発生メカニズムに実務上の割り切りをしつつ体系的な手法を導入し、単一の想定災害に対象を限定するのではなく、災害の規模・発生間隔を限定的ではあるものの体系的に変化させることにより地域特性を踏まえつつ被害発生特性及び各種被害低減対策による被害低減特性を把握・表示するものである。

現状において複合災害に特化した対策の検討・実施は費用対効果の観点から一般的とは言い難い場合が少なくないものと考えられるが、近年指摘される気候変動の影響等を踏まえると、本手法を用いて災害発生メカニズム、被害発生に係る地域特性を災害発生前に把握・理解しておくことは、若手職員の災害対応能力向上等の観点からも重要と考えられる。

謝辞

本研究では、一般社団法人仙台建設業協会、宮城県解体工事業協同組合、東北地方整備局河川計画課、北陸地方整備局河川工事課・信濃川河川事務所のご協力により収集した東日本大震災、中越地震、中越沖地震後の復旧作業に関する資料を使わせていただいた。ここに改めて記して御礼申し上げる。

参照文献

1)中央防災会議：大規模地震防災・減災対策大綱（案），2014.
2)中央防災会議：防災基本計画, 2014.
3)国土交通省：社会資本整備重点計画（素案）,2012.
4) 中央防災会議：1948 福井地震、災害教訓の継承に関する専門調査会第 4 期報告書, 2011 年 3 月.
5) 河田惠昭：自然災害の新しい脅威と災害対応の課題、減災, Vol.3, 2008 年 5 月, pp.14-20.
6) 松浦達郎・板垣修・服部敦：地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析,河川技術論文集, 第 20 巻, 2014 年 6 月, pp.385-390.
7) 板垣修・松浦達郎・服部敦：地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析, 第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2014 年 12 月.
8) 福原直樹・板垣修・松浦達郎・服部敦：地震と洪水の複合災害対策による被害低減効果の検討, 河川技術論文集, 第 21 巻, 2015 年 6 月, pp.449-454.
9) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震対策について（最

終報告）～南海トラフ巨大地震の地震像～, 2013 年 5 月.
10) 中央防災会議：東南海、南海地震の被害想定について, 東南海、南海地震等に関する専門調査会第 14 回資料, 2003 年 9 月.
11) 消防庁：東日本大震災記録集, 2013 年 3 月.
12) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, 2013 年 3 月.
13) 庄司学、高橋大、築地拓哉、那波悟志：2011 年東北地方太平洋沖地震における 1 都 5 県の停電分析, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.4, 2012 年 7 月, pp. I 1210- I 1223.
14) Gaku Shoji and Ayumi Toyota: Function of emergency road networks during the post-earthquake process of lifeline systems restoration, Journal of Disaster Research, Vol.7, No.2, 2012 年 2 月, pp.173-183.
15) 中部地方幹線道路協議会：平成 24 年度「中部版 くしの歯作戦」, 2013 年 5 月.
16) Gaku Shoji and Tomoharu Nakamura: Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.9, No.2, 2014 年 3 月, pp.121-127.
17) 国土交通省近畿地方整備局：阪神・淡路大震災の経験に学ぶ, 2002 年 1 月.
18) 川上英二：震度、被害率、断水率の関係, 土木学会第 53 回年次学術講演会, 1998 年 10 月, pp.646-647.
19) 名古屋市上下水道局：事業継続計画地震対策編, 2012 年 3 月.
20) Shigeru Nagata, Kohei Kageyama, Kinya Yamamoto: An emergency restoration model for water supply network damage due to earthquakes, Journal of Disaster Research, Vol.3, No.6, 2008 年 12 月, pp.390-399.
21) 東京都防災会議：首都直下地震等による東京の被害想定報告書, 2012 年 4 月, pp.3-67,3-70.
22) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：レベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル, 17 頁, 2012 年 2 月.
23) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説, 2012 年 2 月.
24) 岐阜県：岐阜県東海地震等被害対応シナリオ作成業務報告書, 2004 年 3 月.
25) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案）, 2005 年 4 月.
26) 国土交通省水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25 試行版）, 2013 年 7 月, pp.23-25
27) 中部地方幹線道路協議会　道路管理防災・震災対策検討分科会：中部版くしの歯作戦（平成 26 年 5 月改訂版）（道路啓開オペレーション計画）, 2014.

## Ⅳ.4.3　ダムにおける大規模地震動の設定方法

### Ⅳ.4.3.1　はじめに

2005 年に国土交通省河川局（当時）より「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」[1]（以下、「指針案」と称する。）が策定され、各ダムにて耐震性能照査の試行が開始された。この指針案の中では、ダム地点における大規模地震動（レベル２地震動）を選定することが必要となるが、その目的のため、「加速度応答スペクトルの距離減衰式」（「ダム距離減衰式」と称する。）が、指針案の策定と並行して作成された。

ダム距離減衰式は、全国のダム基礎岩盤に最も近い状態の位置に設置された強震計により得られた多数の地震記録を基に、各周波数の加速度応答スペクトル値について、断層までの距離、地震の規模（マグニチュード）、地表から断層面中心までの深さ等をパラメータとして、統計解析により得られた回帰式である。ダム距離減衰式として初めて提案された式は、2003 年及び 2004 年に発表された Matsumoto et al.[2]、松本ら[3]によるものであり、1974 年から 2000 年までの 63 地震において、91 ダムで観測された 293 水平地震動成分の統計分析を基に導き出された（「H13 式」と称する。）。その後、鉛直地震動成分のダム距離減衰式も提案され、観測地震動データを追加しながら、ダム距離減衰式の精緻化が図られてきた[4][5]。近年では、1974 年から 2008 年までの 88 地震において、213 ダムで観測された 642 水平地震動成分および 318 鉛直地震動成分の統計分析に基づくダム距離減衰式が 2008 年に改訂（「H20 式」と称する。）され、それが日本のダムにおける設計地震動の設定方法の主要な一つの手段として、運用されてきた[6]。

新しいダム距離減衰式（「H23 式」と称する。）は、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震($M_w$9.0)およびその余震においてダムで観測された地震動を考慮した最新のものとなっている。H23 式においては、マグニチュードの定義を従来の式における気象庁マグニチュード $M_J$ からモーメントマグニチュード $M_W$ に見直し、巨大規模の地震にも一貫して適用できるようにしている。

本件に関しては既報[7][8][9][10]であり、ここでは既報[7]『佐々木隆、伊藤壮志：地震動の距離減衰式の改良、ダム技術第 338 号、pp.17-28、2014 年』の内容にて構成するものである。

### Ⅳ.4.3.2　分析に利用した加速度記録

分析に用いた加速度記録は気象庁マグニチュード $M_J$5.0 以上、ダムサイトから震源距離が 200km 以下、震源深さが 100km 以下の地震で得られたものである。表-Ⅳ.4.3.1 にこれまでに作成してきたダム距離減衰式で用いた回帰データ数の変遷を示す。

今回の分析では、1974 年から 2011 年 4 月までに発生した 91 地震 239 ダムで得られた水平加速度 794 成分、鉛直加速度 394 成分を用いている。なお、H20 式での回帰データから追加された観測記録の詳細であるが、H23.3.11 東北地方太平洋沖地震の本震でのデータに関しては、水平加速度 98 成分及び鉛直加速度 49 成分、H23.4.7 余震（宮城県沖地震）でのデータに関しては、水平加速度 42 成分及び鉛直加速度 21 成分、H23.4.11 余震（福島県浜通り地震）でのデータに関しては、水平加速度成分 12 成分及び鉛直加速度 6 成分となる。

ここで用いた加速度データを記録した加速度観測装置のほとんどのものは、コンクリートダムにおいては最低部の監査廊内に、フィルダムにおいては底設監査廊内に設置されている。ダムで観測される加速度記録は、局所的な地形やダム堤体に影響される。つまり、ダム堤体と基礎の相互作用の影響のため、ダム堤体の基礎における地震動は、その近辺での解放地盤上での地震動に比較して多少小さいと考えられる。また、ここで用いた全ての加速度記録は、岩盤上に建設された

表-Ⅳ. 4. 3. 1　距離減衰式の回帰データ数

| | 対象期間 | 対象地震 | ダム数 | 観測記録数 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 水平動 | 鉛直動 |
| H13式 | 1974年～2000年 | 63地震 | 91ダム | 293成分 | － |
| H20式 | 1974年～2008年 | 88地震 | 213ダム | 642成分 | 318成分 |
| H23式 | 1974年～2011年 | 91地震 | 239ダム | 794成分 | 394成分 |

ダムのものであり、土質、砂礫等の地盤上に建設されたダムの記録は含まれていない。岩盤の特性はサイト毎に異なってはいるものの、ダム基礎の平均的なせん断弾性波速度は、0.7～1.5km/sec の範囲である。図-Ⅳ.4.3.1～3 に、解析に用いた地震のマグニチュード、断層中心深さ、水平最大加速度と最短距離（起震断層面のうち、ダム地点から最も近い点とダム地点との距離）の関係を示す。

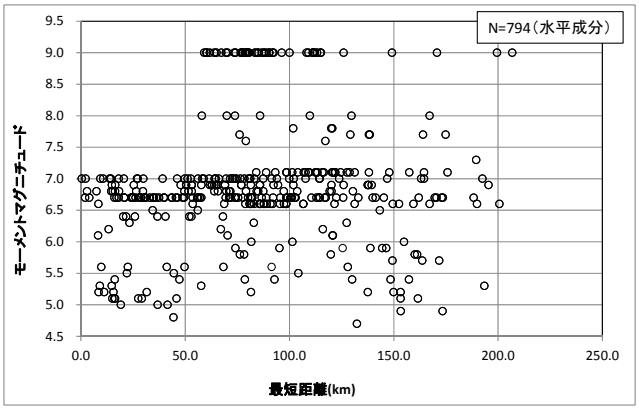



図-Ⅳ.4.3.1　解析に用いた地震のマグニチュードと最短距離の関係

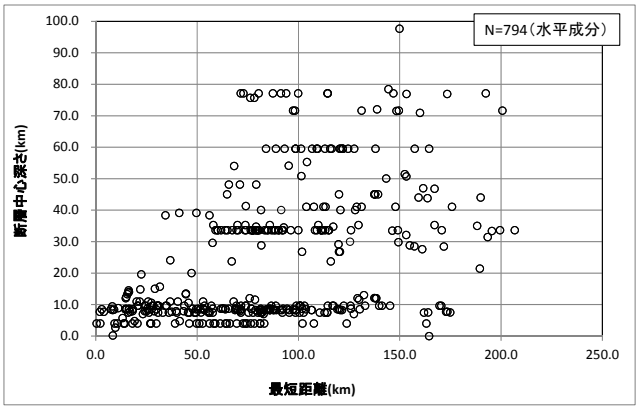



図-Ⅳ.4.3.2　解析に用いた地震の断層中心深さと最短距離の関係

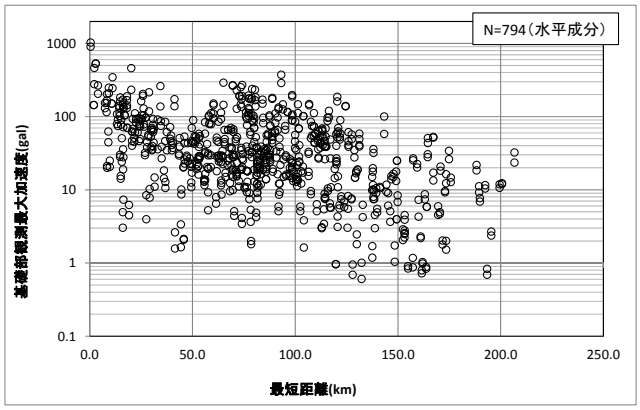



図-Ⅳ.4.3.3　解析に用いた地震の水平最大加速度と最短距離の関係

### Ⅳ.4.3.3　東北地方太平洋沖地震を考慮したダム距離減衰式の作成

(1) ダム距離減衰式における地震の分類

日本近傍で発生する巨大地震は、主に陸側プレートに海側プレートが沈み込むことによるプレート境界での相対運動に起因して発生するプレート境界地震（海溝型地震）、陸側プレートの浅い位置のプレートの運動によって生じる圧縮力の影響によって生じる内陸地殻内地震（内陸型）、沈み込むプレート内部での曲げや引張の影響で地震が発生するプレート内地震がある。これらの圧縮、沈み込み領域においては極表層から数百 km の深さの広い範囲で地震が発生する。

これまで運用してきた H20 式においては、地震を内陸地殻内地震（内陸型）、プレート境界地震（海溝型）、沈み込むプレート内の比較的浅い地震（深さ 60km 以下の地震）、沈み込むプレート内のやや深い地震（深さ 60km を超える地震）、および日本海東縁部の地震の 5 つに分類している。なお、日本海東縁部の地震については、観測記録が少なくバラツキが大きいため、個別の距離減衰式は作成されていない。

また、プレート内地震については、実測地震動との適合度を改善するために、断層中心深さに応じた分類が行われている。しかし、断層中心深さに応じた地震の分類を行う場合、断層中心深さ($H_C$=60km)の箇所で、H20 式によるプレート内地震の加速度応答スペクトルの算出値に極端な不連続性を生じることが分かったことから、今回、断層中心深さに応じた地震の分類は行わないこととし、表-Ⅳ.4.3.2 に示すように 4 つの地震に分類した。

表-Ⅳ.4.3.2　地震種別毎の地震数、加速度記録数

| 地震種別 | 解析対象の地震動観測記録数 | | |
|---|---|---|---|
| | 地震数 | 観測記録数(水平動) | 観測記録数(鉛直動) |
| 内陸地殻内地震(A) | 37 | 288 組 456 成分 | 226 組 226 成分 |
| プレート境界地震(B) | 31 | 101 組 200 成分 | 99 組 99 成分 |
| プレート内地震(α) | 17 | 57 組 114 成分 | 57 組 57 成分 |
| 日本海東縁部の地震(E) | 6 | 12 組 24 成分 | 12 組 12 成分 |

(2) 回帰モデル

回帰分析にあたっては、まず地震種別による区分を行わずに全ての地震動を対象に行い、回帰係数を算出する。その後、地震種別毎に観測記録による応答スペクトルと得られた回帰式による応答スペクトルとの比の幾何平均および標準偏差を求め、地震種別に応じた補正倍率を評価している。即ち、本研究で提案する回帰モデルは、2 段階の算出過程を経た上で、求められている。

これまで運用してきた H20 式の式形 [6]については、従前に提案されている式形 [4][5]に対して、観測地震動との適合性向上の観点からマグニチュード規模に応じた適用式の区分、マグニチュードの 2 次項の式形への考慮などの改良が加えられている。今回提案する H23 式については、基本的に H20 式の式形を踏襲するが、巨大規模の地震にも一貫して適用できるよう、マグニチュードの定義を気象庁マグニチュード $M_J$ からモーメントマグニチュード $M_W$ に見直しを行っている。$M_J$ は周期が数秒程度の地震波の振幅を使って計算される気象庁独自のマグニチュードであり、建物の被害などと良い相関があるが、規模が巨大な地震になるとその規模を正確に表現し難い。一方、$M_W$ は周期が数十秒以上の長周期の地震波とその波の形を使って計算されるマグニチュードで、断層運動の規模に関係付けられており、巨大な規模の地震に対してもその規模を適切に表すことができる。式-Ⅳ.4.3.1 および式-Ⅳ.4.3.2 に H23 式を示す。式-Ⅳ.4.3.1 がダムから断層までの最短距離を用いた式(「最短距離式」と称する。)、式-Ⅳ.4.3.2 が等価震源距離を用いた式(「等価震源距離式」と称する。)である。

$$logSA(T) = C_{m1}(T)M_W + C_h(T)H_C - \log(R + C_1(T)\cdot 10^{0.5M_W}) - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_C)R + C_o(T) \quad (M_W \le 5.0)$$

$$logSA(T) = C_{m1}(T)M_W + C_{m2}(T)(M_o - M_W)^2 + C_h(T)H_C - log(R + C_1(T)\cdot 10^{0.5M_W}) - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_C)R + C_o(T) \quad (M_o = 5.0, M_W > 5.0) \cdots 式-Ⅳ.4.3.1$$

ここで、SA(T)は加速度応答スペクトル（ガル）、T は固有周期（秒）、$M_W$ はモーメントマグニチュード、R は最短距離(km)、$H_C$ は断層中心深さ(km)、C(T)は係数である。$H_C$ について、回帰データは $H_C$ が 100km 以下であり、$H_C$ が 100km を超える場合、ダム距離減衰式が $H_C$ の影響を適切に表現できなくなり、妥当な加速度応答スペクトル値を与えることができないおそれがある。従って、$H_C$ が 100km を超える場合は $H_C$=100km とした。

$$logSA(T) = C_{m1}(T)M_W + C_h(T)H_C - log(X_{eq} + C(T)) - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_C)X_{eq} + C_o(T) \quad (M_W \le 5.0)$$

$$logSA(T) = C_{m1}(T)M_W + C_{m2}(T)(M_o - M_W)^2 + C_h(T)H_C - log(X_{eq} + C(T)) - (C_d(T) + C_{dh}(T)H_C)X_{eq} + C_o(T) \quad (M_o = 5.0, M_W > 5.0) \cdots 式-Ⅳ.4.3.2$$

ここで、$X_{eq}$ は断層内のアスペリティは考慮しないで算出した等価震源距離であり、その他のパラメータは式-Ⅳ.4.3.1 と同様である。等価震源距離は、断層面から発散される地震のエネルギーと等価となる仮想的な点震源とダム地点間を結ぶ直線距離であり、断層面を多数の小領域に分けた上（図-Ⅳ.4.3.4）で、式-Ⅳ.4.3.3 によって算出する。

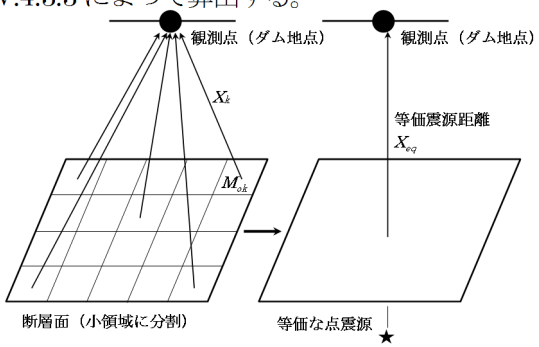



図-Ⅳ.4.3.4　等価震源距離模式図

$$X_{eq}^{-2} = \sum_k M_{ok}^2 X_k^{-2} / \sum_k M_{ok}^2 \cdots 式-Ⅳ.4.3.3$$

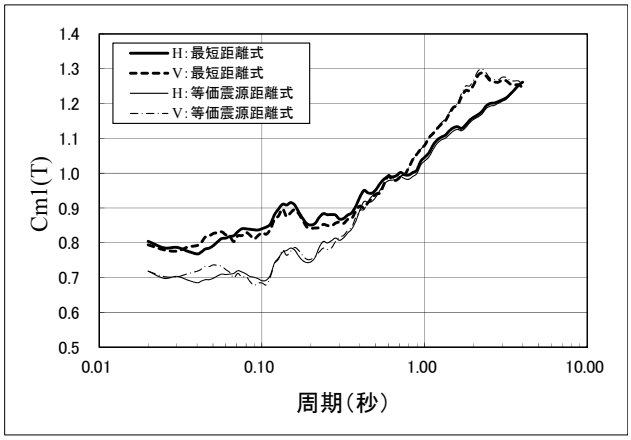
ここで、$M_{ok}$ は断層面内の小領域 k における地震モーメントを指し、$X_k$ は断層面内の小領域 k からダム地点までの距離を指す。式-Ⅳ.4.3.3 は、$M_{ok}$ を断層面全体で一様と仮定した場合には、式-Ⅳ.4.3.4 のようになる。

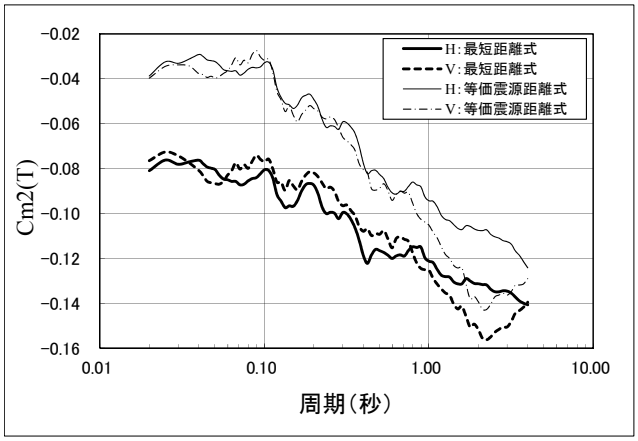
$$X_{eq}^{-2} = \frac{1}{N}\sum_k X_k^{-2} \cdots 式-Ⅳ.4.3.4$$

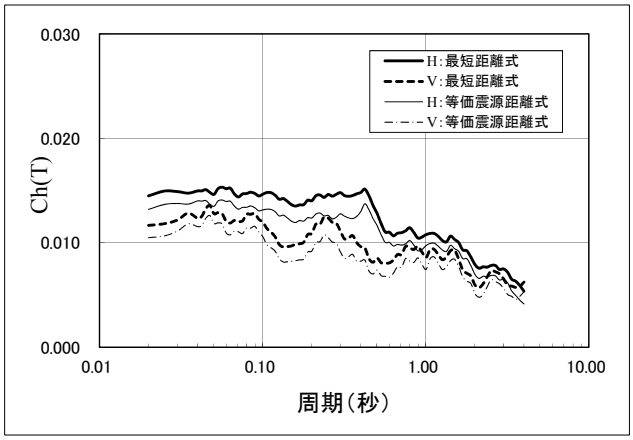
ここで、N は断層面の小領域への分割数を指す。

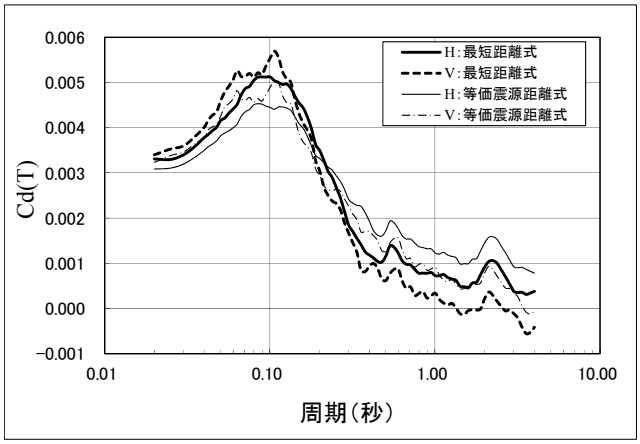
モーメントマグニチュード $M_W$ が求められていない地震については、気象庁マグニチュード $M_J$ からモーメントマグニチュード $M_W$ への変換は、武村 [11]の式に基づく地震調査推進本部で用いている方法により、表-Ⅳ.4.3.2 に示す地震種別 A（内陸地殻内地震）の場合は式-Ⅳ.4.3.5 によるものとし、その他の地震種別の場合は $M_W$=$M_J$ とする。

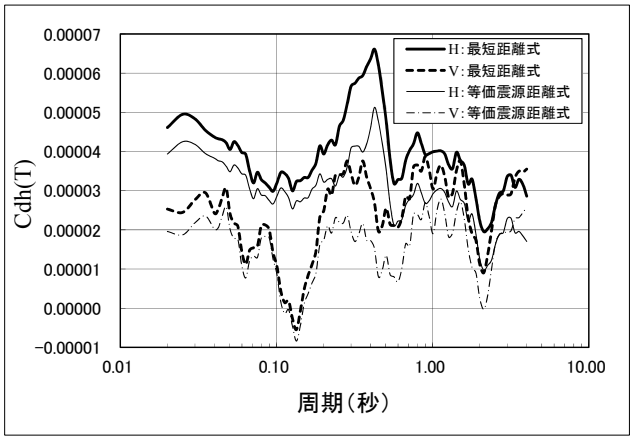
$$M_W = 0.78M_J + 1.08 \cdots 式-Ⅳ.4.3.5$$

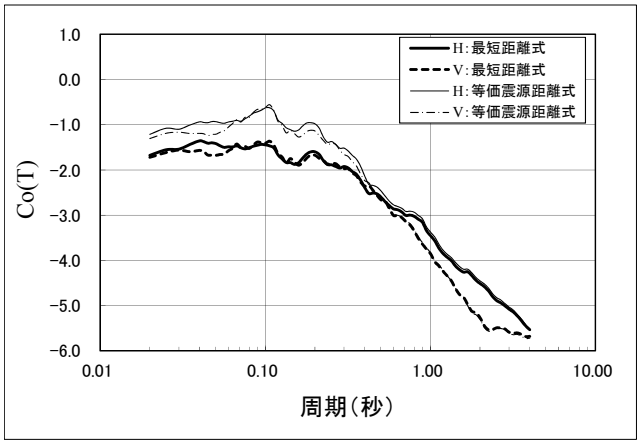


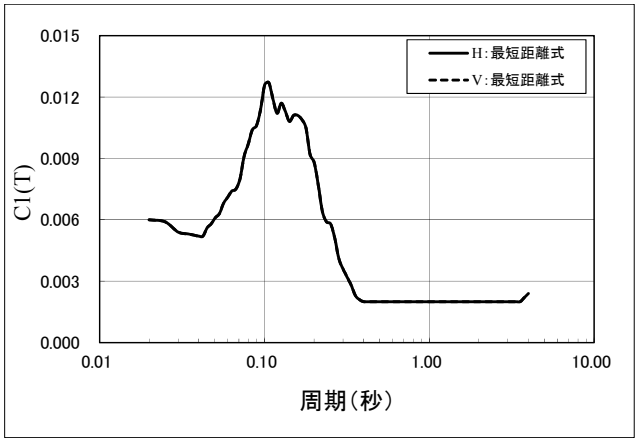



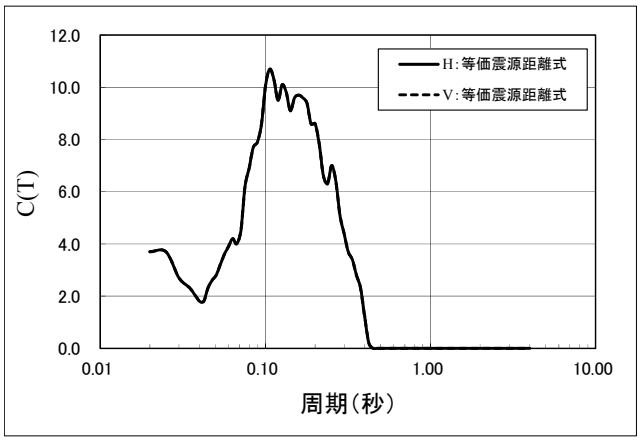
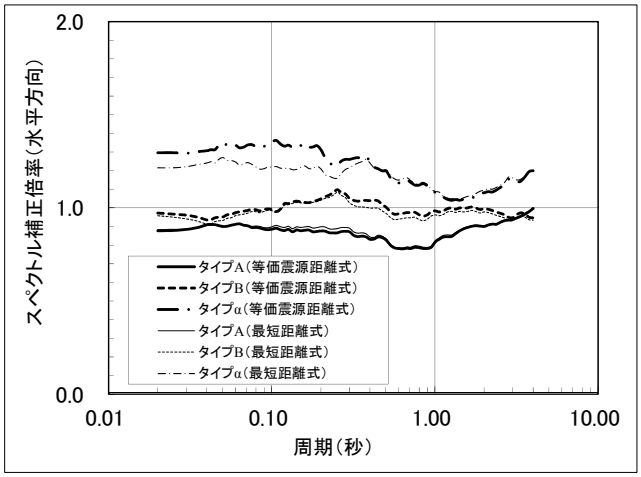
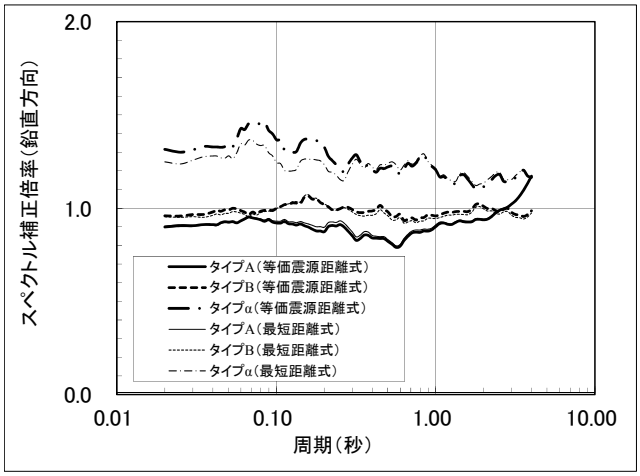




図-Ⅳ.4.3.5　ダム距離減衰式の回帰係数




(a)水平方向




(b)鉛直方向

**図-Ⅳ.4.3.6　加速度応答倍率**

式-Ⅳ.4.3.1 及び式-Ⅳ.4.3.2 の係数と周期の関係を図-Ⅳ.4.3.5 に示す。これらのパラメータは、前述の通り、地震種別によらない値として算出したものである。凡例における H および V はそれぞれ水平方向および鉛直方向を意味する。

地震種別毎に加速度応答スペクトルは異なった特徴を有するが、図-Ⅳ.4.3.6 は平均的な地震動に対する地震種別毎の割合（補正倍率）を求めた結果を示したものである。図-Ⅳ.4.3.5 に示した回帰式の係数を用いて平均的な地震動として加速度応答スペクトルを算出した後、図-Ⅳ.4.3.6 に示した補正倍率を乗じることで、地震種別毎の加速度応答スペクトルを推定できる。ここで示す補正倍率は周期毎に離散的に求められたものであり、平均値 m に相当する。なお、地震種別 E（日本海東縁部の地震）については、H20 式と同様に、個別のダム距離減衰式は作成せず、地震タイプが類似（地震発生箇所がプレート境界付近である）している地震種別 B（プレート境界地震）の補正倍率を準用することとした。

図-Ⅳ.4.3.6(a)の水平成分に対する補正係数で見てみると、地震種別 A（内陸地殻内地震）では、平均値に比較して低い値となっており、全周期範囲で平均の 80%から 100%程度となっている。一方、地震種別 B（プレート境界地震）では、全周期範囲で平均の 90%から 110%程度となっている。地震種別 α（プレート内地震）では、全周期範囲において一番大きな応答を示しており、平均の 100%から 140%程度となっている。

H23 式における地震種別 A（内陸地殻内地震）および地震種別 B（プレート境界地震）に関する補正係数の傾向は、以前発表した論文 [4)5)]あるいは、H20 式における補正係数の傾向と同様であるが、地震種別 α（プレート内地震）については断層中心深さに応じた地震種別の区分は行わないこととしたため、H20 式では浅いプレート内地震に関する補正係数は大きく深いプレート内地震に関する補正係数は小さかったが、これらを一括処理することで全体的に平準化された。

また図-Ⅳ.4.3.6 (b)に示すように、鉛直成分についても同様な傾向が見られる。

### Ⅳ.4.3.4 ダム距離減衰式による加速度応答スペクトルの推定値と実測値との比較

新しい H23 式による加速度応答スペクトルの値とダムで観測されている実測値との比較を通じて、H23 式の適合性を検証する。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（地震種別 B、Mw9.0）の震源に比較的近いダムの位

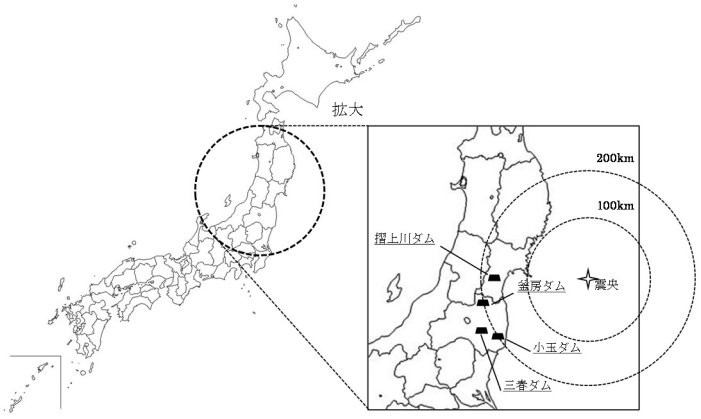



**図-Ⅳ.4.3.7　震源と代表ダムとの位置関係**

置を図-Ⅳ.4.3.7 に示し、観測された地震動（加速度応答スペクトル、水平成分）と H23 式による計算値との比較例を図-Ⅳ.4.3.8～11 に示す。 個別ダムで比較した場合、ダム距離減衰式による計算値は、平均値 m±標準偏差 s として計算値に幅を持たせた場合には、概ね計算値の閾値の間に実測値は収まるが、バラツキが多く、周期帯によっては逸脱することもある。

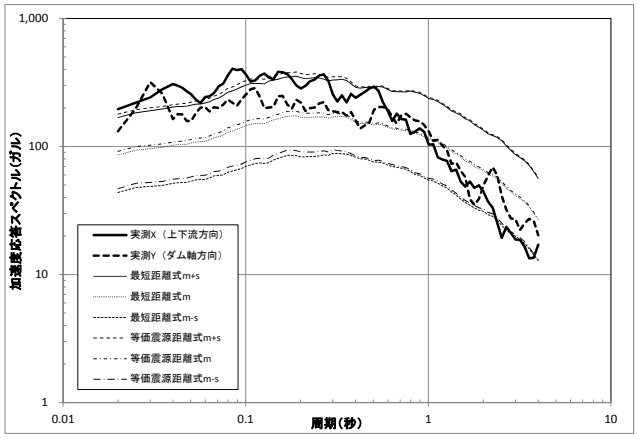



図-Ⅳ. 4. 3. 8　三春ダムでの観測記録との適合性

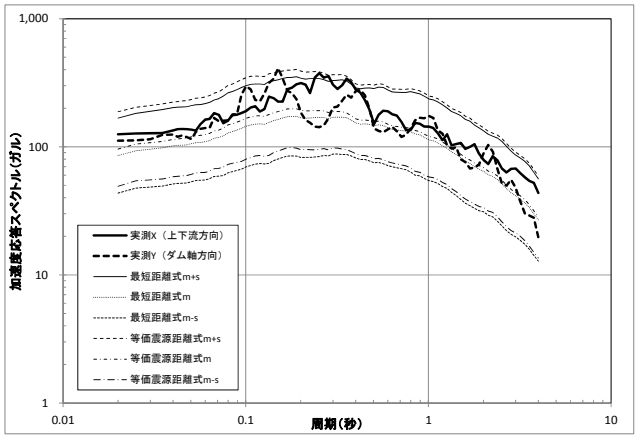



図-Ⅳ. 4. 3. 9　釜房ダムでの観測記録との適合性

Ⅳ.4.3.14 には各ダムのデータを全て示したグラフ（計算値は平均値 m）と各ダムデータの、周期毎の平均値 m 及び平均値 m±標準偏差 s を示したグラフを併記して示す。平均値が 1 に近い程、式全体として計算値に偏りが少なく適合度が高いということになる。標準偏差については、式全体として計算値がどの程度のバラツキを示すか概観するため付することとした。なお、

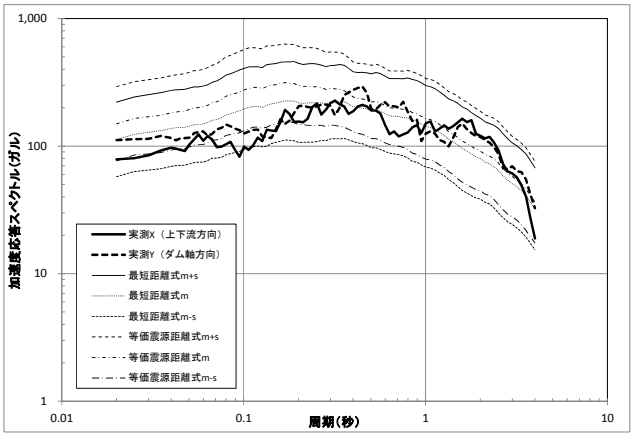



図-Ⅳ. 4. 3. 10　小玉ダムでの観測記録との適合性

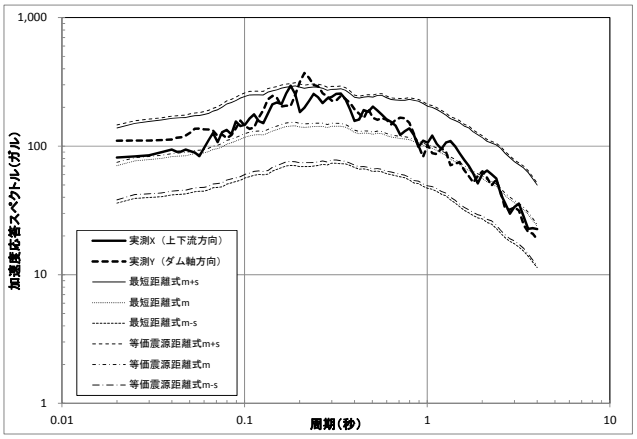



図-Ⅳ. 4. 3. 11　摺上川ダムでの観測記録との適合

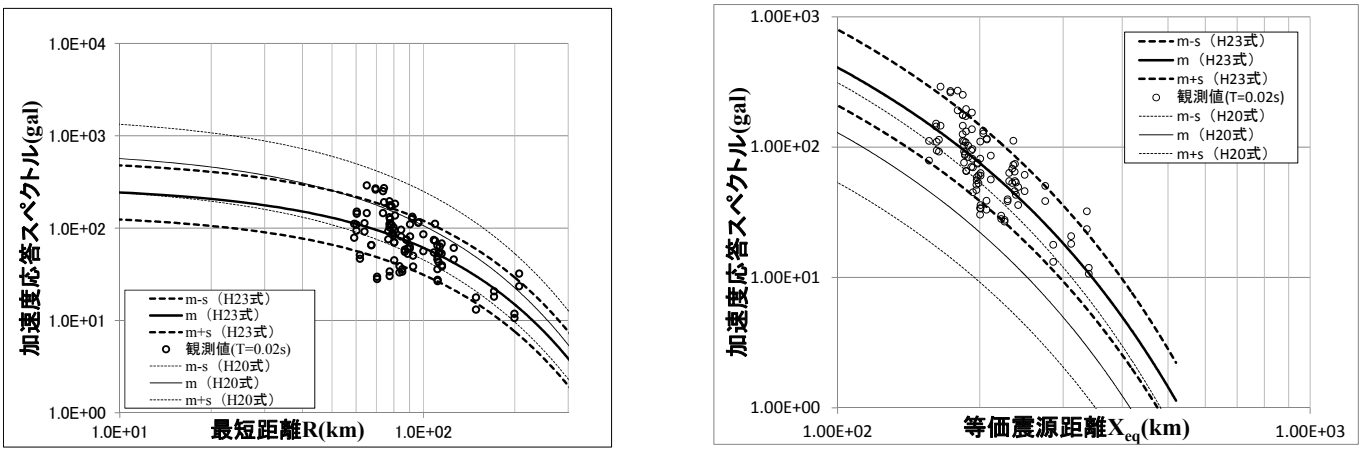
図-Ⅳ.4.3.12 に東北地方太平洋沖地震において各ダムで観測された基盤加速度（T=0.02s）を最短距離及び等価震源距離別に整理し、基盤における観測地震動の距離減衰特性を示す。東北地方太平洋沖地震による各ダムでの基盤加速度の距離減衰特性は、H20 式による計算値よりも H23 式による計算値は、いずれの式形においても、実測値との適合度は改善している。

さらに、H23 式の適合性を検証するにあたり、個別の地震に対する各ダムにおける加速度応答スペクトルの計算値と実測値との比を全周期帯に渡って計算し、これらの平均的な適合度をもって評価することとした。表-Ⅳ.4.3.3 及び図-Ⅳ.4.3.13 に著名な地震事例及び位置図を示し、図-Ⅳ.4.3.14～19 に各地震に対する H23 式による計算値と実測値との適合度を示す。図-Ⅳ.4.3.15～19 には各ダムデータの、周期毎の平均値 m 及び平均値 m±標準偏差 s のグラフのみを示す。図-Ⅳ.4.3.14～19 は、H20 式での結果との比較で示している。

図-Ⅳ.4.3.14 を見ると、東北地方太平洋沖地震による地震動評価においては、H20 式による計算値（最短距離式）は、計算値が実測値に比べて少し大きめに評価されることが分かる。一方、図-Ⅳ.4.3.15 を見ると、等価震源距離式の場合は計算値が過小に評価されることが分かる。それに対して、H23 式による計算値は、いずれの式形においても、実測値との適合度は改善している。同様に図-Ⅳ.4.3.16 及び図-Ⅳ.4.3.17 を見ると、2000 年 10 月 6 日の鳥取県西部地震による地震動評価においては、H23 式による計算値は、いずれの式形に

おいても、実測値との適合度は改善している。

図-Ⅳ.4.3.18 及び図-Ⅳ.4.3.19 には、2008 年 6 月 14 日の岩手宮城内陸地震による地震動評価を示す。この地震に対しては、H20 式による計算値は、いずれの式形においても、精度の良い評価結果を与えているが、この結果は H23 式によってもほぼ変わることは無く、H23 式が実測値との適合度を悪化させることは無い。




(a)　最短距離式　　(b)　等価震源距離式

図-Ⅳ.4.3.12　東北地方太平洋沖地震（2011.3.11、$M_W$9.0）における基盤加速度の距離減衰特性

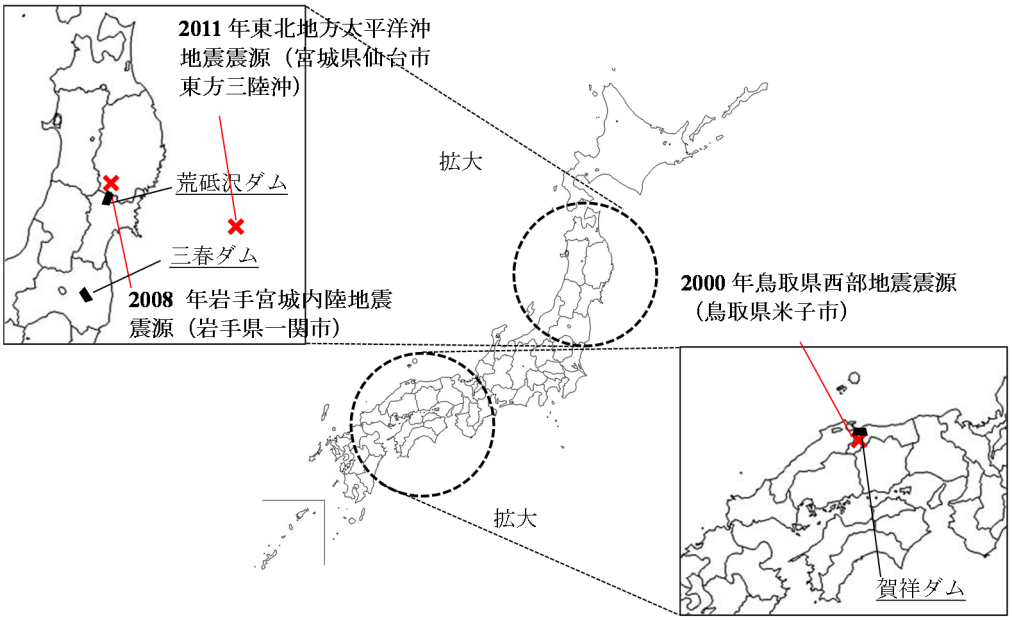
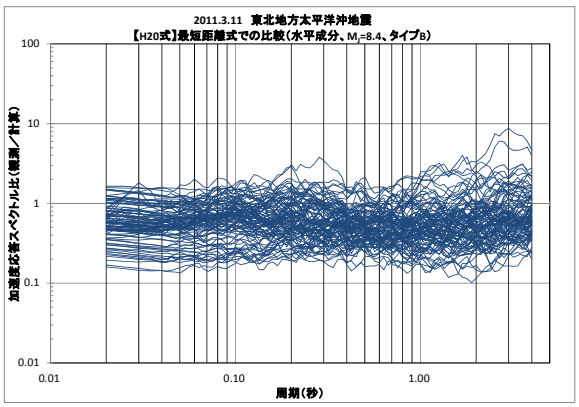
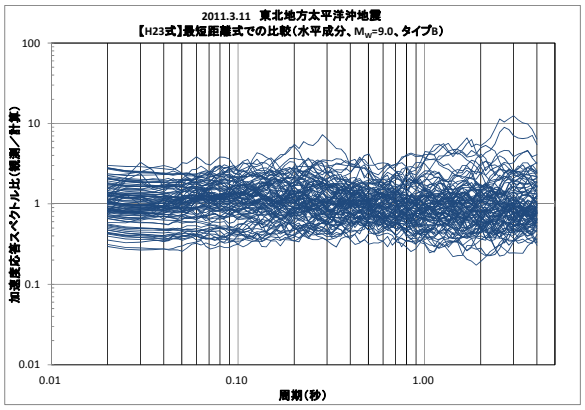


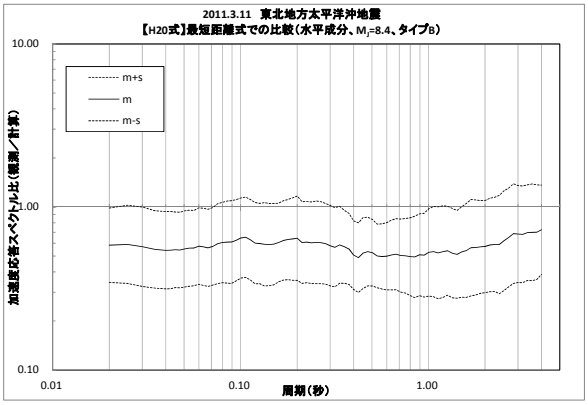

図-Ⅳ.4.3.13　著名地震位置図

表-Ⅳ.4.3.3　地震事例

| 地震名 | 地震種別 | 発震日 | 地震の特徴 |
|---|---|---|---|
| 東北地方太平洋沖地震 | プレート境界地震(B) | H23.3.11 | 三陸沖(仙台市東方)を震源とする$M_W$9.0の地震であり、最大震度7を観測。東北地整が管理する三春ダム(重力式)では、基礎で195galを観測するなど、多くのダムで強震波形を捕捉。 |
| 鳥取県西部地震 | 内陸地殻内地震(A) | H12.10.6 | 鳥取県米子市南方を震源とする$M_J$7.3($M_W$6.8)の地震であり、最大震度6強を観測。鳥取県が管理する賀祥ダム(重力式)では、基礎で531galを観測など、多くのダムで強震波形を捕捉。 |
| 岩手宮城内陸地震 | 内陸地殻内地震(A) | H20.6.14 | 岩手県内陸南部(一関市西方)を震源とする$M_J$7.2($M_W$7.0)の地震であり、最大震度6強を観測。宮城県が管理する荒砥沢ダム(中央土質遮水壁型ロックフィル)では、基礎で1024galを観測など、多くのダムで強震波形を捕捉。 |



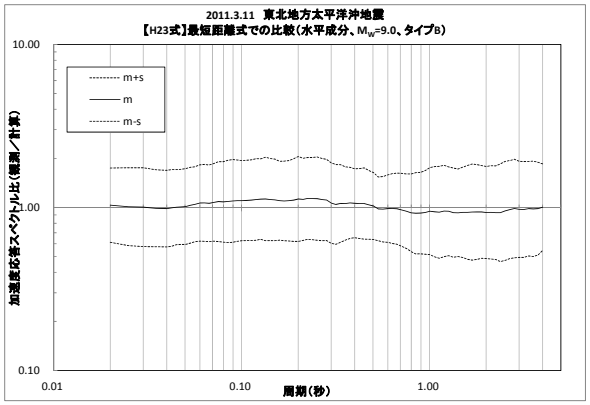
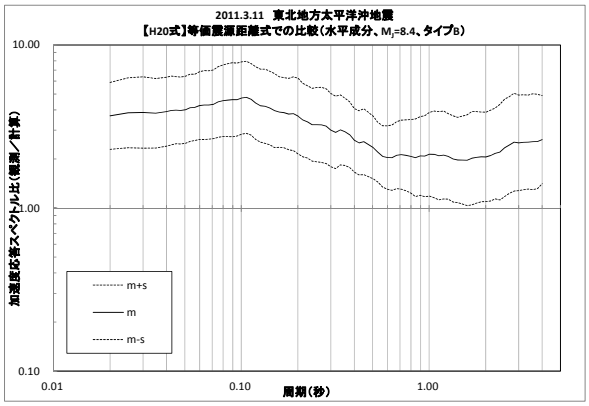




図-Ⅳ.4.3.14　東北地方太平洋沖地震（2011.3.11、$M_W$9.0）に対するダム距離減衰式（最短距離式）の適合度検討



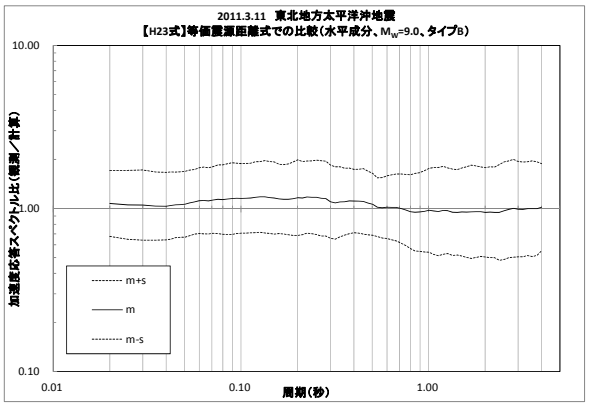
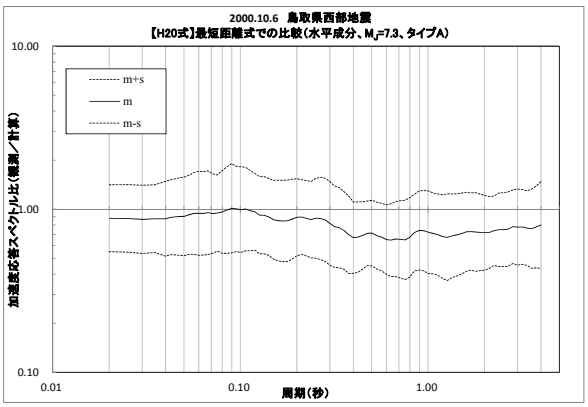




図-Ⅳ.4.3.15　東北地方太平洋沖地震（2011.3.11、$M_W$9.0）に対するダム距離減衰式（等価震源距離式）の適合度検討



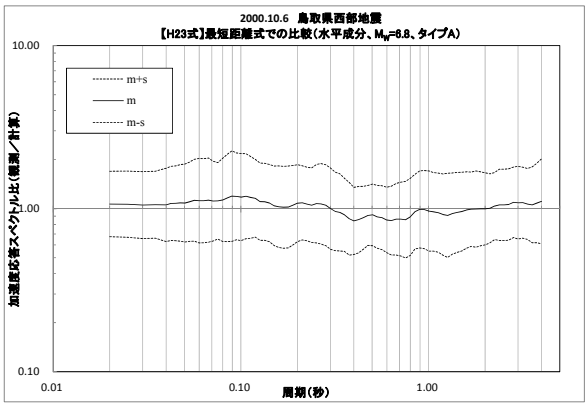
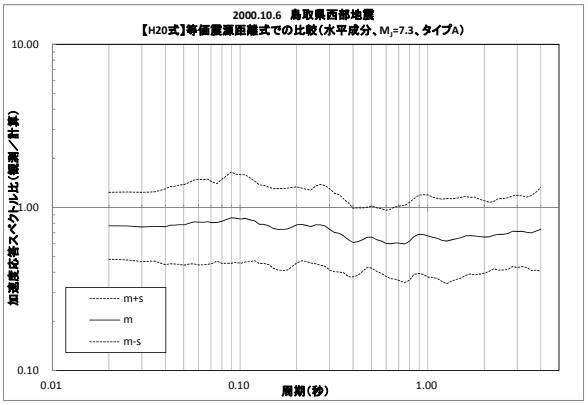




図-Ⅳ.4.3.16　鳥取県西部地震（2000.10.6、$M_W$6.8）に対するダム距離減衰式（最短距離式）の適合度検討



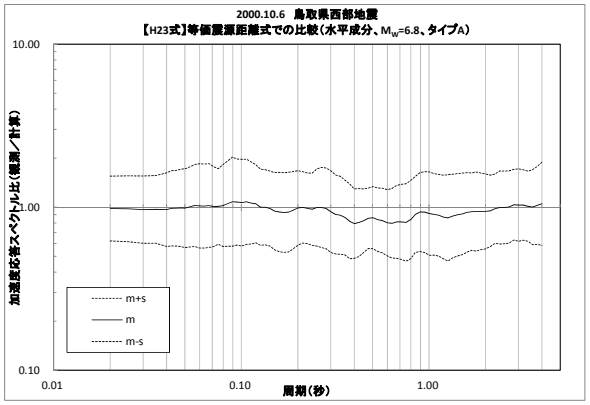
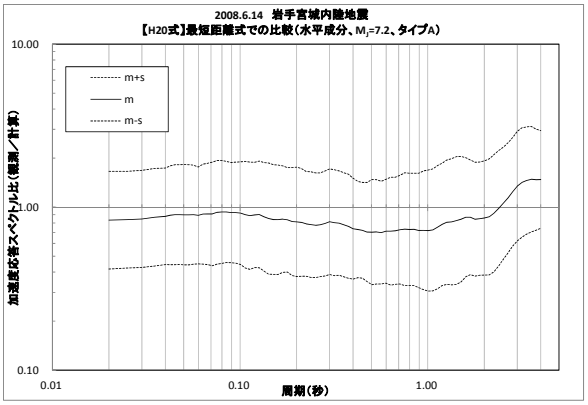




図-Ⅳ.4.3.17　鳥取県西部地震（2000.10.6、$M_W$6.8）に対するダム距離減衰式（等価震源距離式）の適合度検討



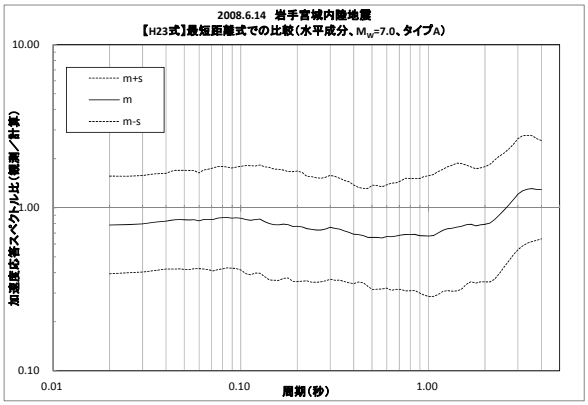
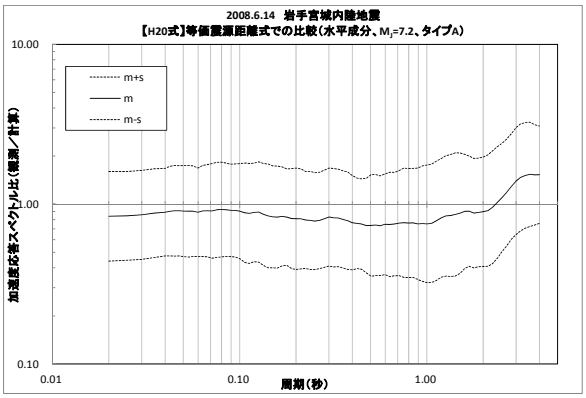




図-Ⅳ.4.3.18　岩手宮城内陸地震（2008.6.14、$M_W$7.0）に対するダム距離減衰式（最短距離式）の適合度検討



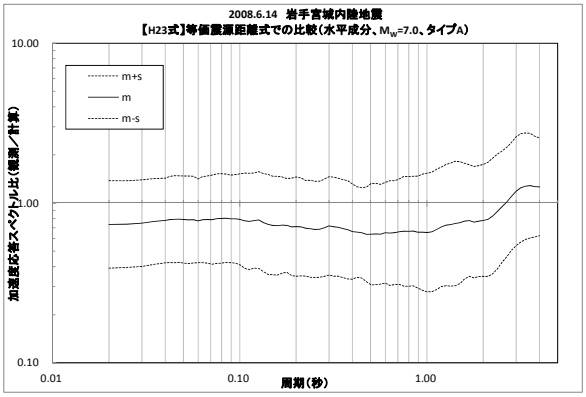




図-Ⅳ.4.3.19　岩手宮城内陸地震（2008.6.14、$M_W$7.0）に対する距離減衰式（等価震源距離式）の適合度検討

### Ⅳ.4.3.5　まとめ

以下に本研究で得られた知見を示す。

・ダム基礎における最新の距離減衰式として、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)で観測された地震動およびその余震を考慮した H23 式を提案した。

・気象庁マグニチュードの適用限界を超える巨大規模の地震にも一貫して適用できるよう、H23 式におけるマグニチュードの定義を気象庁マグニチュード $M_J$ からモーメントマグニチュード Mw に見直しを行った。

・地震種別は、内陸地殻内地震、プレート境界地震、プレート内地震、日本海東縁部の 4 つの地震に分類した。

・改良された H23 式は、Mw9.0 の東北地方太平洋沖地震での観測記録を精度良く再現でき、その他の地震での観測記録をも精度良く再現できる。

本研究で得られた成果は、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）」に基づくダムの耐震性能照査の試行において利用されている。

参照文献


1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）、2005 年 3 月

2) N.Matsumoto, H.Yoshida, T.Sasaki, T.Annaka, Response Spectra of Earthquake Motions at Dam Foundations, 21st Congress on Large Dams, Montreal, Q.83-R.35, Vol.3, pp.595-611, 2003

3) 松本徳久、吉田等、佐々木隆、安中正：ダムサイトでの地震動の応答スペクトル、大ダム、No.186、pp.69-76、2004 年

4) N. Matsumoto, T.Ohmachi, N.Yasuda, T.Sano, T.Sasaki, T.Annaka, Acceleration Response Spectra at Dam Foundations, 22st Congress on Large Dams, Barcelona, C.9, Vol.2, pp.727-745, 2006

5) 松本徳久、大町達夫、安田成夫、佐野貴之、佐々木隆、安中正：ダム基礎における加速度応答スペクトル、大ダム、No.199、pp.54-63、2007 年

6) 三石真也、島本和仁：大規模地震に対するダム耐震性能照査について、ダム技術、No.274、pp.6-35、2009 年

7) 佐々木隆、伊藤壮志：地震動の距離減衰式の改良、ダム技術第 338 号、pp.17-28、2014 年

8) 佐々木隆、伊藤壮志：東北地方太平洋沖地震およびその余震を考慮した距離減衰式の提案、土木技術資料第 56 巻、第 11 号、pp.38-41、2014 年

9) 佐々木隆、伊藤壮志、山口嘉一、安中正：東北地震を踏まえたダム基礎岩盤における地震動距離減衰式、大ダム No229、pp.99-106、2014 年

10) T. Ito, T. Sasaki, Y. Yamaguchi、T.Annaka, Attenuation Relationship of Earthquake Motion at Dam Foundation in Consideration of The 2011 Tohoku Earthquake, Icold Bali 2014 International Symposium On “Dams In Global Environmental Challenges”, pp.II-519-528, 2014

11) 武村雅之：日本列島および周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係、地震第 43 巻、pp.257-265、1990 年

## Ⅳ.4.4　津波防災・減災に関わるインフラの機能拡充

### Ⅳ.4.4.1　粘り強い海岸堤防の構造の検討

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.127~141、2016.6

中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震・津波対策に関する専門調査会」 の報告[1]で「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物」の考え方が示された。その考え方を受け、「海岸における津波対策検討委員会」がとりまとめた「平 成 23 年東北地方太平洋沖地震及び津波で被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」[2]において、海岸堤防等の構造上の工夫の方向性が示された。その中では、設計対象の津波高を超える津波が来襲し、海岸堤防等の天端を越流することにより，海岸堤防が破壊，倒壊する場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造を、以下のいずれかの減災効果を目指した構造上の工夫が施されたものとしている。

・施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする。

・施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らす

そして、そのような構造上の工夫の方向性として、裏法尻部への保護工の設置による洗掘防止や、裏法被覆工等の部材厚の確保等による流失防止などが挙げられている。

ここでは、その構造上の工夫の方向性、Ⅲ.5.8 で実施した被災分析等を踏まえ、越流に対して粘り強い構造の留意点について、記載する。なお、本研究で得られた知見は、国総研技術速報 No.1「粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第１報）」[3]、国総研技術速報 No.3「粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第２報）[4]として発出され、海岸工学論文集などにも投稿されている[5]、[6]、[7]、[8]。

本研究では、盛土により築造された台形断面を基本とし、その表面（表法、天端、裏法）を被覆した三面張り構造を対象とし、裏法尻の洗掘、裏法被覆高の安定性に着目し、対洗掘抵抗性と安定性向上のための留意点を検討した。得られた主な留意点として、下記の 7 項目が挙げられる。

(1)構造上の留意点の検討

1)裏法及び裏法尻での高流速のへの対応

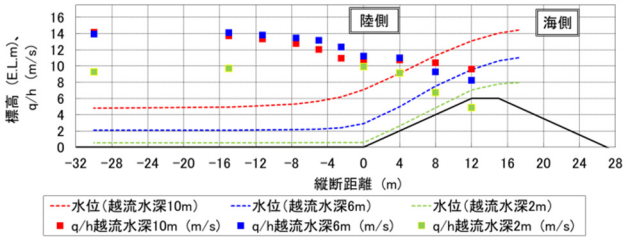



図-Ⅳ. 4. 4. 1. 1 堤防模型周辺の水位と断面平均流速（q/h）の分布（数値は現地換算値）

津波が海岸堤防を越流する際に、裏法及び裏法尻で、図-Ⅳ.4.4.1.1 に示すとおり、10m/s 以上の高流速が発生することから、裏法尻の洗掘や被覆工の流失への対応を検討する必要がある。

2)流れの中に置かれた構造物の不陸による構造物の不安定化とその対策

裏法尻被覆工に凹凸が生じると、流れによる力を大きく受け、被覆工が不安定になることから、図-Ⅳ.4.4.1.2 に示す上端と下端に切り欠きを設けたブロックをかみ合わせることで、下のブロックが上のブロックより突出しにくくする構造が有効である。

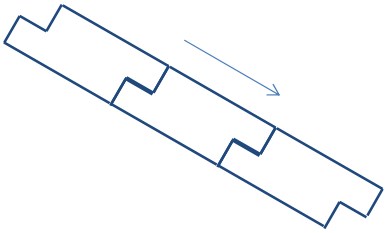


図-Ⅳ. 4. 4. 1. 2 ブロック形状の工夫案

3)裏法尻での洗掘と対策

東日本大震災で見られたように、津波の越流により、堤防陸側では洗掘が生じる。この洗掘に対処するには、図-Ⅳ.4.4.1.3 に示すように裏法尻を保護し、流れの向きを水平方向に変えることで、洗掘する場所を遠ざけることが有効である。

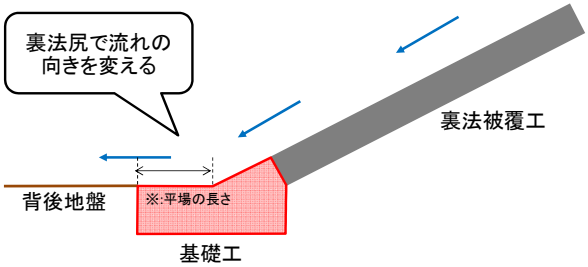



図-Ⅳ. 4. 4. 1. 3 裏法尻の工夫案

4)揚圧力への対応

津波が襲来し、海側の水位が上昇すると、その水位上昇に連動して堤体下の浸潤面が上昇を始める（図-Ⅳ.4.4.1.4）。被覆工が不透過・不透気構造となっていると、被覆工と浸潤面とに囲まれたところに空気が残留し、圧力の上昇が発生する。この圧力上昇により、被覆工の不安定化を招かないように、排気構造を設けるという工夫が有効である。

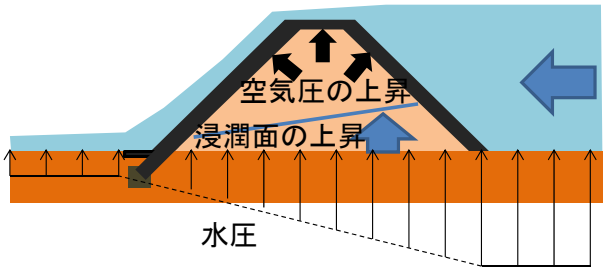



図-Ⅳ.4.4.1.4　空気による揚圧力

5)浸透水に対する堤防裏法尻での対応

津波の越流水位が堤防天端まで降下した時点において（高水位を経験した直後）、裏法尻付近の浸潤線が高くなって、浸透水が裏法尻付近から浸出する状況が起こりえる。このような状況になると、この付近が泥状になり、裏法被覆工が被災することも考えられる。例えば、構造物実験水路での実験を示した写真-Ⅳ.4.4.1.1では、図-Ⅳ.4.4.1.5のように越流が終了する前に、裏法尻付近において吸い出しが発生している。こうした現象が起こる可能性を踏まえ、矢板等により浸透を抑制し、浸潤線の上昇を低減する構造とするなどの対策の検討を行うことが必要である。

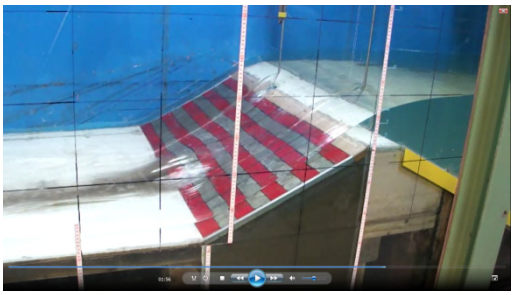


写真-Ⅳ.4.4.1.1残留水位による裏法尻からの吸い出し

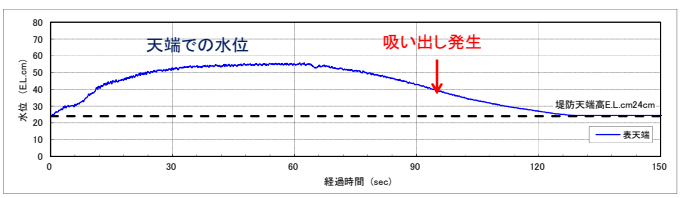



図-Ⅳ.4.4.1.5 吸い出しが発生した際の天端での水位

6)負圧への対応

越流水深が大きくなると、天端被覆工と裏法被覆工との接合部にあたる裏法肩付近で負圧が発生する。これに対応するためには、図-Ⅳ.4.4.1.6 に示すように法肩部分を天端被覆工と一体化することが有効である。

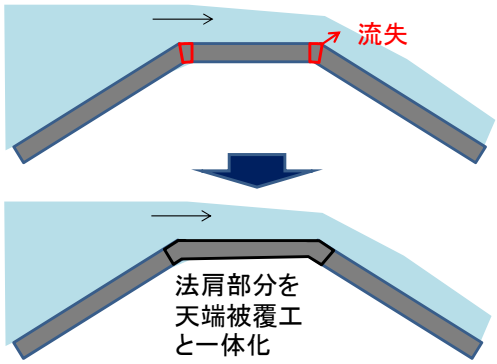



図-Ⅳ.4.4.1.6　負圧に対する法肩部分の工夫案

7)パイピングへの対応

海岸堤防の海側と陸側との間で生じる水位差が大きくなると、図-Ⅳ.4.4.1.7 のように、パイピングによって漏水や堤体の破壊が生じる恐れがある。浸透路長は法勾配が急な断面では比較的短く、裏法尻での洗掘によってさらに短くなる可能性がある。洗掘を考慮してパイピングに対する照査を行う必要がある。

なお、模型実験の諸元や検討結果の詳しいデータについては、上記の引用文献を参照されたい。

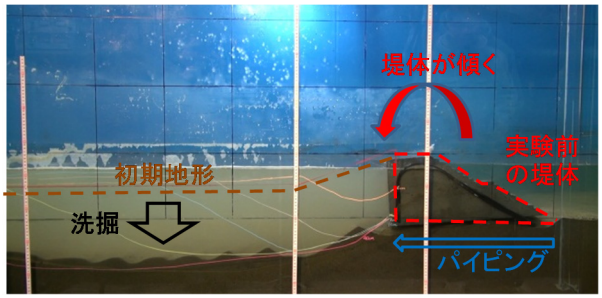



図-Ⅳ.4.4.1.7　パイピングと洗掘による堤体の傾き

(2)復旧海岸における構造の検討

（1）での留意点を考慮し、越流に対して粘り強い構造の留意点を踏まえて、仙台湾南部海岸の復旧工事に反映させるべく検討した粘り強い構造を図-Ⅳ.4.4.1.8 に示す。

裏法肩での負圧対策として、法肩部分を天端被覆工と一体化することで安定性を高める構造とした。

また、基礎工近傍での洗掘への対策として、基礎工の陸側及び下部に地盤改良を施した。本稿で紹介する仙

台湾南部海岸では、セメントを混ぜて地盤を強化する混合処理工法等がとられている。

裏法被覆工には、前項で示したように、不陸が生じても流れをまともに受ける面が生じにくいように、図-Ⅳ.4.4.1.8 のブロック諸元図に示すような流れの上流側と下流側に切り欠きを設けたブロック（現地換算値：厚さ 0.5m，質量 2t）をかみ合わせることにより、流れの下流側のブロックが上流側のブロックよりも突出しにくくする構造を採用した。

これらの検討は仙台南部海岸での復旧工事に反映された。

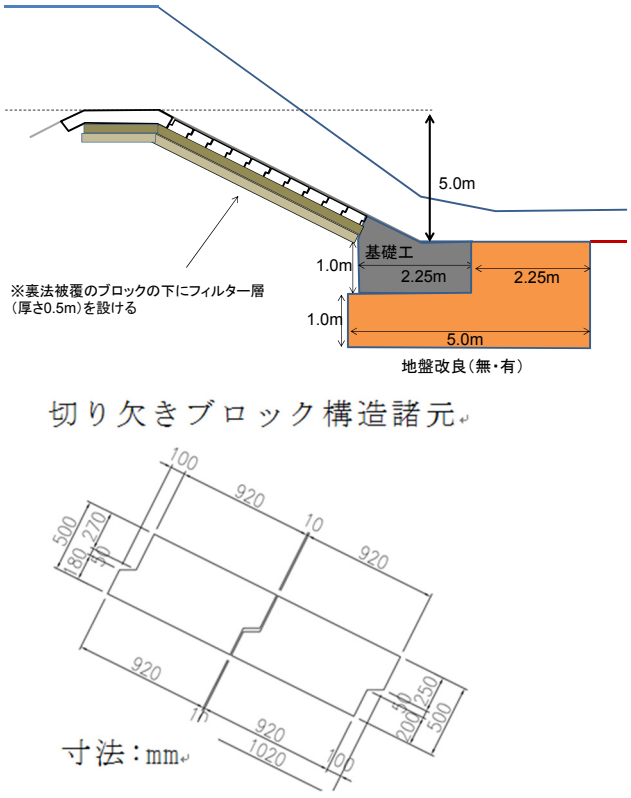



**図-Ⅳ.4.4.1.8　仙台湾南部海岸の復旧工事に反映させるべく検討した粘り強い構造**

(3)施設更新時の構造上の検討

前項では、仙台湾南部海岸の復旧工事で採用された裏法被覆工がブロック張り、裏法基礎工部分に地盤改良工を施した構造の粘り強さの効果の確認結果を示した。

一方で、既存の海岸堤防等についても、今後の更新の時期に合わせて、構造上の工夫を検討する旨が、「平成 23 年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」[2] で示されているところである。また、南海トラフの巨大地震の発生が切迫している中で、既存堤防の補強が緊急の課題となっている。そのため、前項で示した構造と違う構造の海岸堤防の補強方法についても、検討を行った。

1)コンクリート平張り構造の海岸堤防の粘り強い構造の留意点

海岸堤防の裏法被覆工については、ブロック張りの他にコンクリート平張りによるものが多く用いられている。前項で示したブロック張り構造に比べて透気性が低く、堤体内圧上昇に対する配慮が必要となると考えた。

そこで堤体内の圧力上昇に着目し、コンクリート平張りの海岸堤防を対象に津波越流時の堤体内の圧力上昇を把握するため、大規模実験（縮尺１／２）を行った。

水理実験の結果から、津波の越流によるコンクリート平張りの海岸堤防の被災メカニズムは図-Ⅳ.4.4.1.9 のように整理した。

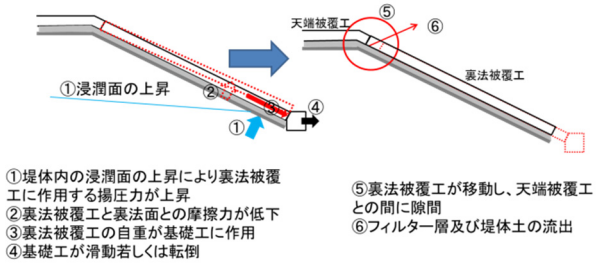



**図-Ⅳ.4.4.1.9　津波の越流によるコンクリート平張りの海岸堤防の被災メカニズム**

津波の越流によって堤体内の浸潤面が上昇することにより、裏法被覆工を持ち上げようとする力が作用する。その結果、裏法被覆工と裏法面との間の摩擦が減少し、裏法被覆工が基礎工を押す力が大きくなる。一方、津波の越流によって基礎工の陸側が洗掘されるため、裏法被覆工の自重が作用する基礎工を支える土圧が減少する。その結果、基礎工が滑動または転倒し、その後に裏法被覆工が移動して、裏法面に上部または下部に隙間が生じ、そこから堤体土の吸い出しが生じる。

2) コンクリート平張り構造の海岸堤防の粘り強い構造の留意点への対応

海岸堤防が粘り強く効果を発揮するためには、（1）で示したように裏法尻で越流水の流向を水平に変えるだけの保護工を設けることが有効である。しかし、そ

のような保護工を施す用地がない箇所では、地盤改良ほどの強さはないものの、基礎工に矢板を取り付けることで基礎工の移動を抑制することも考えられる。堤防陸側の用地の制約を考慮した構造上の工夫として、裏法基礎工に矢板を取り付けた効果を確認するため、大規模実験を行った。

また、その際、裏法被覆工が基礎工を押す力を低減するように、裏法被覆工の移動を抑制するような工夫が有効であり、堤体土の表面に捨てコンクリートを敷設してから被覆工を施工することによって堤体表面からの浸透及び吸い出しを抑制することで、津波の越流に対して有効であると考えた。

水理実験では、矢板の有無、被覆工下の条件などを変えた4ケースを実施した。実験から、堤体土との間に浸透を容易にするフィルター層設置を避けて捨てコンクリートとすることや、堤体内の圧力上昇によって増大する裏法被覆工の移動を矢板等で抑制することが有効であることが分かった。

詳細は、上記文献を参照されたい。

参照文献

1）中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011
2）海岸における津波対策検討委員会、平成２３年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方、2011
3）国土技術政策総合研究所、粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第１報）、国総研技術速報、No.1、2012
4）国土技術政策総合研究所、粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第２報）、国総研技術速報、No.3、2012
5）鳩貝ら、津波越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験、土木学会論文集Ｂ２（海岸工学）、Vol.68、No.2、I_406-I_410、2012
6）加藤ら、津波の越流に対するコンクリート平張り海岸堤防の粘り強い構造、土木学会論文集Ｂ２（海岸工学）、Vol.69、No.2、I_1021-I_1025、2013
7）加藤ら、津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討、土木学会論文集Ｂ２（海岸工学）、Vol.70、No.1、31-49、2014
8）加藤ら、津波越流時の海岸堤防の被覆工下面に作用する圧力に関する気液二相流解析、土木学会論文集Ｂ２（海岸工学）、Vol.70、No.2、I_971-I_975、2014

### Ⅳ.4.4.2　海岸堤防の粘り強さ向上による減災効果

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第52号）、pp.127~141、2016.6

東北地方太平洋沖地震で多くの海岸保全施設が被災したことを受けて、「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく」とする方針が中央防災会議等[1)]から示された。しかし、堤防が粘り強くなることで、どれほどの減災効果が生じるかという研究は未だなされていない。

そこで、本研究では、堤防の粘り強さと、二線堤による減災効果を評価することを目的とした。堤防の粘り強さは、越流開始からの破堤時間が遅延することを想定した計算と堤防の残存率が低減すると想定した計算を実施した。具体的な計算条件を表-Ⅳ.4.4.2.1 に示す。津波の設定外力ごとに、破堤時間の遅延は、６ケース、堤防の残存率が低減するパターンは５～７ケース実施した。

また、最大越流水深のケースでは、破堤の遅れ時間に二線堤の効果を追加した効果を検証した。

表-Ⅳ. 4. 4. 2. 1　津波の浸水計算のケース

| X 地点における越流水深 | 破堤遅れ時間（分） | 残存率（%） |
|---|---|---|
| 2.0m | 0, 1.5, 3, 4.5, 5, 7 | 96, 80, 50, 46, 40, 20, 11 |
| 4.0m | 0, 1.5, 3, 4.5, 5, 7 | 80, 60, 40, 30, 24 |
| 6.9m | 0, 1.5, 3, 4.5, 5, 7 | 60, 50, 48, 30, 24, 7, 4 |
| 6.9m +二線堤有 | 0, 1.5, 3, 4.5, 5, 7 | - |

津波浸水計算は津波浸水想定の設定の手引き[2)]に従い、減災効果は、図-Ⅳ.4.4.2.1 に示す緑の枠内の範囲で評価した。

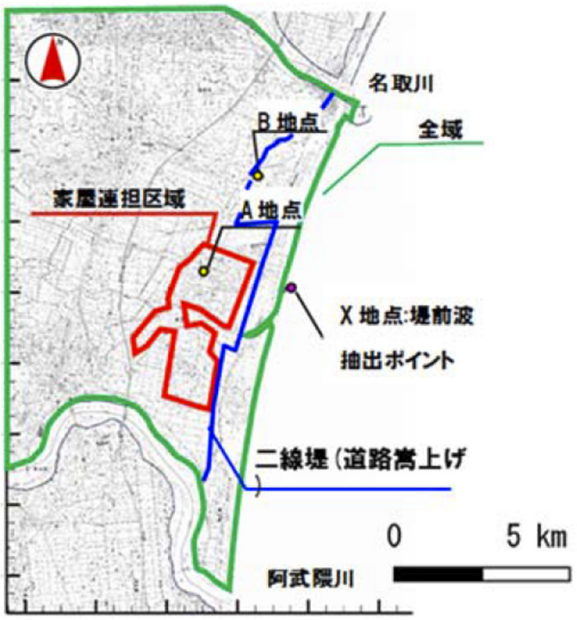



図-Ⅳ.4.4.2.1 減災効果評価した領域

結果を（1）から（3）に示す

（1）破堤時間の遅延による減災効果の試算

越流開始から破堤時間遅れを複数あたえることにより、減災効果を試算した（表-Ⅳ.4.4.2.2）。試算結果では、越流後、破堤時間遅れが長くなるほど、浸水面積、最大浸水深２ｍ、１ｍ以上となる浸水面積は低減した。３分破堤が遅れた場合では、越流直後に破堤する場合と比べて、全浸水面積、最大浸水深２ｍ、１ｍ以上の浸水面積はそれぞれ、4%、6%、9%低減した。なお、この一連の検討内容については、仙台湾南部海岸における事業再評価において、粘り強い堤防構造の減災効果の試算に活用された。

表-Ⅳ.4.4.2.2 破堤時間の遅延による減災効果

| 浸水深区分 | 越流直後破堤 | 越流3分後破堤 | 越流5分後破堤 | 破堤を免れた場合 |
|---|---|---|---|---|
| 最大浸水深2m以上 | 0ha減少 | 394ha減少（9%減少） | 974ha減少（22%減少） | 1,460ha減少（33%減少） |
| 最大浸水深1m以上 | 0ha減少 | 277ha減少（6%減少） | 472ha減少（10%減少） | 658ha減少（13%減少） |
| 浸水面積 | 0ha減少 | 231ha減少（4%減少） | 361ha減少（7%減少） | 424ha減少（8%減少） |

（2）破堤延長の違いによる減災効果の試算

試算の結果（表-Ⅳ.4.4.2.3）を見ると、破堤延長が短くなるほど、浸水深や浸水面積は小さくなることが分かる。実際は破堤時間遅れの効果と相まって減災効果が発揮されることから、粘り強い堤防構造の工夫が促進されることにより、陸上における減災効果が期待される

表-Ⅳ.4.4.2.3 破堤延長の違いによる減災効果

| 浸水深区分 | 全て破堤 | 7割破堤 | 4割破堤 | 破堤を免れた場合 |
|---|---|---|---|---|
| 最大浸水深2m以上 | 0ha減少 | 91ha減少（2%減少） | 377ha減少（8%減少） | 1,634ha減少（34%減少） |
| 最大浸水深1m以上 | 0ha減少 | 91ha減少（1.5%減少） | 309ha減少（5%減少） | 1,088ha減少（18%減少） |
| 浸水面積 | 0ha減少 | 65ha減少（1%減少） | 223ha減少（3%減少） | 807ha減少（12%減少） |

（3）二線堤による減災効果の試算

海岸堤防の破堤時間遅れの計算に、二線堤効果も考慮したケースを加えて比較したところ、家屋被害の指標として大部分の木造家屋が全壊する浸水深 2m 以上の面積に着目すると、どの規模の津波に対しても破堤遅延時間が長くなるに従い、面積が減少する傾向が見られた。越流水深 6.9m の規模の津波に対しては破堤が 5 分遅れた場合は 3,727ha となり、越流直後に破堤する場合の 4,503ha と比べて面積が 17.2%減少した。（図-Ⅳ.4.4.2.2）

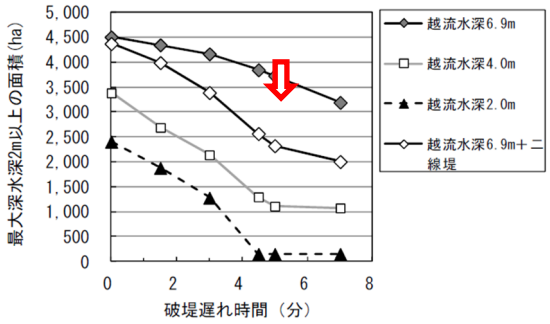



図-Ⅳ.4.4.2.2 二線堤による減災効果の違い

なお、この一連の検討内容については、仙台湾南部海岸における事業再評価において、粘り強い堤防構造の減災効果の試算に活用された。また、本研究の内容をまとめた論文[3]が海岸工学論文賞を受賞した。

参照文献

1） 中央防災会議、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011
2） 国土交通省水管理・国土保全局海岸室ら、津波浸水想定の設定の手引き、平成 24 年 10 月
3） 渡辺ら、海岸堤防の粘り強さ向上による減災効果の感度分析、土木学会論文集Ｂ２（海岸工学）、Vol.71、No.2、I_1597-I_1602、2015

## Ⅳ.4.4.3　自然・地域インフラの活用

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第 52 号）、pp.127~141、2016.6

ハリケーンサンディの高潮災害を受けた米国ニューヨーク州が作成したアフター・アクション・レビュー NYS2100 では、５つの主要な自然インフラ（Natural infrastructure）について港のレジリエンス戦略の役割の一部としての活用に関するフィージビリティ調査を行うように提言している[1) 2)]。５つのシステムとは、沿岸洲、砂丘システム、干潟、カキ礁、近自然海岸（仮訳）、自然の浜堤と土堤が挙げられている。

沿岸洲・砂丘システムや、自然の浜堤・土堤は、東日本大震災の津波において、津波の高さが高い岩手、宮城、福島の被災 3 県では明瞭ではなかったが、津波の高さが比較的低かった青森や茨城、千葉では砂丘が津波の遡上を食い止めたと考えられる事例が見られた。本研究では、このように津波減災効果を有すると考えられる自然の地形や地物を自然インフラとした。

また、近自然海岸として挙げられるような海岸保安林や、ラグーン地形を利用した宮城県の貞山運河、または道路盛土のような半自然班人工物、および人工物を自然インフラと区別して地域インフラとした。また、津波の事実や教訓を伝承する施設や史跡も地域インフラとした。

しかし、津波に対して減災効果を有する地物や自然地形についてまとめた研究や、それら有する減災効果や効果の発揮限界を定量的に評価する研究は行われていない。

そこで本研究では自然インフラと地域インフラを合わせて自然・地域インフラと位置づけ、積極的に保全していくために、自然・地域インフラの事例収集を行った。また海岸砂丘に着目し、それらの減災効果と効果の発揮限界について調べた。

（1）事例収集について

「自然・地域インフラ」として減災効果が発揮できるものがどの程度あるかを把握するために事例整理を行った。津波に対する減災効果として「津波減勢（津波の域大炊を低減し、被害を小さくする）」、「避難場所の提供（津波来襲時に避難場所となる）」、「居住制限（海岸付近など、津波の被害が大きな地区に人が住まないようにする）」、「浸水範囲の明示（浸水域を示し、津波の避難を促進する）」、「リスク・教訓の伝承（津波の被害を後世に伝え、避難を促進する）」、「避難行動支援（避難を促進し、人的被害を軽減する）」に着目し、これらに該当する効果を有すると判断されたものを学術論文、書籍や雑誌記事等の文献、WEB 等の公開資料等から収集・整理した。

これらの結果は、事例集として国総研海岸研究室のホームページで公開する予定である。

（2）砂丘等による津波減災効果の分析

自然・地域インフラの中でも砂丘・浜堤は自然の海岸堤防として減災効果が見込まれる。

東日本大震災では、大きな津波が来襲した地域において砂浜が流出した地域が存在した。また、津波の高さが大きくない地域では、海岸砂丘による減災効果が見受けられた一方、そのような地域においても、浜堤が局所的に被災している箇所が存在した。津波による砂丘等の地形変化を把握するために、被災前後の空中写真の判読及び LP 測量データ（航空レーザ測量）の分析をおこなった。

解析例として、千葉県旭市を紹介する（図-Ⅳ.4.4.3.1）。旭市では、海岸近くに護岸と人工的に構築された浜堤が存在し、その背後には複数の砂丘列が残されていた。しかし、浜堤と第１砂丘、第２砂丘が津波によってほとんど侵食されて岸沖方向の起伏が消失したことがわかる。一方、第３砂丘については海側の斜面の一部を除いてほとんど地形変化が見られなかった。

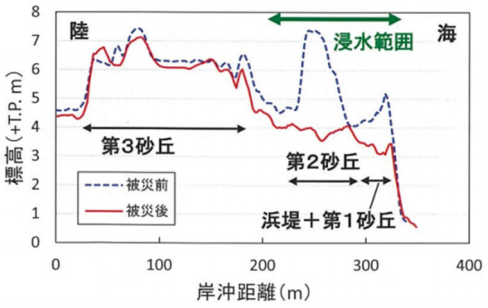



図-Ⅳ. 4. 4. 3. 1 千葉県旭市における津波による侵食

（3）津波を想定した砂丘などの侵食実験

海岸砂丘に着目し、それらの減災効果と効果の発揮限界について検証するために、本研究では河川堤防の植生が、堤外側の法面の侵食に与える影響を調べる水理実験（土木研究所資料 3489 号）[3)] と同様の方法を用いて、実物大の樹木の根系が砂丘表面の侵食過程に与える影響に着目して実験を進めている。

今回は、人工広葉樹林の供試体例を紹介する。実験

では、樹木の根系を含んだままの現地地盤を乱さないように採取した供試体を用いた。(写真-Ⅳ.4.4.3.1(左))

供試体を高流速実験水路内に設置し、写真-Ⅳ.4.4.3.1(右)のように津波を想定した最大約7m/sの高流速を繰り返し作用させ、地盤表面の侵食深さの計測を行った。




**写真-Ⅳ.4.4.3.1(左)供試体採取時と(右)通水実験時**

供試体表面を格子状に分け、各格子の侵食深の経時変化を測定し、侵食深と根毛量の鉛直分布を比較した。

侵食の速度（折線グラフの傾き）は地表面に近い層では小さく、その後急激に侵食が進む傾向が見られた（図-Ⅳ.4.4.3.2）。根毛量（棒グラフ）が急激に減少する深さで侵食が進む状況が読み取れ、河川堤防のり面を対象とした既往の侵食実験の結果と同じ傾向を示した。

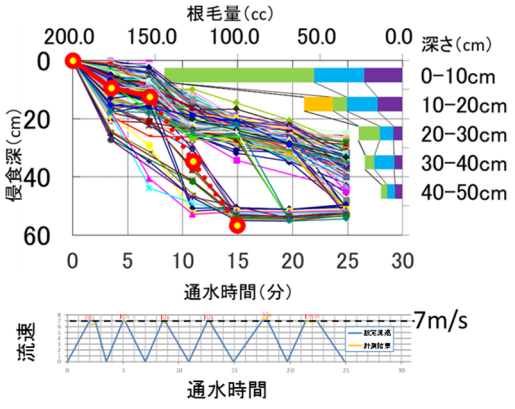



**図-Ⅳ.4.4.3.2　地盤侵食実験結果。図の赤線は全格子の平均で、侵食限界後は、侵食限界を迎えた際の格子の傾きを平均している。**

実験サンプル数をさらに増やし、砂丘・浜堤の津波に対する効果と限界を明らかにしていきたい。

（3）分野横断の勉強会の開催

自然・地域インフラには、様々なスケール・質のものが含まれるため、研究者が所属する学術集団も多様である。

津波防災地域づくりにあたっては、各分野で進められている研究成果を地域の計画の中に総合化していく必要があり、「津波防災」に関係する多様な学術分野間、民産学官間の情報交換が重要となっている。

このため、平成 26 年度は、分野間連携の取り組みのスタートとして、津波災害の伝承に取り組む民学官を集めた「津波災害伝承に関する勉強会」を開催した。平成 27 年度は農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所において、「巨大浸水災害に対する面的防御のあり方に関する研究会」と題しての研究会が行われ、国総研も発表を行った。

参照文献

1)NYS2100 Commission 、 Recommendations to Improve the Strength and Resilience of the Empire State's Infrastructure, 2012

2)諏訪、自然・地域インフラとは何か、RIVER FRONT、Vol.79、11-15、2015

3)宇多ら、洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動　ー流水に対する安定性・耐侵食性を判断するためにー、土木研究所資料 3489 号、1997

**参考文献**

1) 福島雅紀、松浦達郎、服部敦、河川津波の特性把握に関する実験的検討、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol. 69、I_261-I_265、平成 25 年 11 月.

2) 福島雅紀、松浦達郎、服部敦、河川津波の特徴を考慮した水位・氾濫状況に関する解析条件の検討、河川、Vol.812、pp.31-34、平成 26 年 3 月.

3) 中村賢人、森啓年、鈴木宏幸、服部敦、津波遡上の最大水位に河川流量が与える影響に関する実験、土木学会第 70 回年次学術講演会　講演会概要集、Ⅱ-152、平成 27 年 9 月.

4) 河田恵昭、自然災害の新しい脅威と災害対応の課題、減災、Vol.3、pp.14-20、2008 年 5 月.

5) 松浦達郎、板垣修、服部敦、地震と洪水の複合災害による被害試算と被害特性の分析、河川技術論文集、第 20 巻、pp.385-390、平成 26 年 6 月.

6) 板垣修、松浦達郎、服部敦、地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析、第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集、平成 26 年 12 月.

7) 福原直樹、板垣修、松浦達郎、服部敦、地震と洪水の複合災害対策による被害低減効果の検討、河川技術論文集、第 21 巻、pp.449-454、平成 27 年 6 月.

8) 庄司学、高橋大、築地拓哉、那波悟志、2011 年東北地方太平洋沖地震における 1 都 5 県の停電分析、土木学会論文集 A1、Vol.68, No.4、I_1210-I_1223、

2012 年 7 月.
9) Gaku Shoji and Ayumi Toyota 、 Function of emergency road networks during the post-earthquake process of lifeline systems restoration、Journal of Disaster Research、Vol.7, No.2、pp.173-183、2012 年 2 月.
10) Gaku Shoji and Tomoharu Nakamura 、 Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake、Journal of Disaster Research、Vol.9, No.2、pp.121-127、2014 年 3 月.
11) 川上英二、震度、被害率、断水率の関係、土木学会第 53 回年次学術講演会、pp.646-647、1998 年 10 月.
12) Shigeru Nagata, Kohei Kageyama, Kinya Yamamoto、An emergency restoration model for water supply network damage due to earthquakes、Journal of Disaster Research、Vol.3, No.6、pp.390-399、2008 年 12 月.
13) N.Matsumoto, H.Yoshida, T.Sasaki, T.Annaka、esponse Spectra of Earthquake Motions at Dam Foundations 、21st Congress on Large Dams, Montreal、Q.83-R.35,Vol.3、pp.595-611、2003 年.
14) 松本徳久、吉田等、佐々木隆、安中正、ダムサイトでの地震動の応答スペクトル、大ダム、No.186、pp.69-76、2004 年.
15) N. Matsumoto, T.Ohmachi, N.Yasuda, T.Sano, T.Sasaki, T.Annaka 、 Acceleration Response Spectra at Dam Foundations、22st Congress on Large Dams, Barcelona、C.9,Vol.2、pp.727-745、2006 年.
16) 松本徳久、大町達夫、安田成夫、佐野貴之、佐々木隆、安中正、ダム基礎における加速度応答スペクトル、大ダム、 No.199、pp.54-63、2007 年.
17) 三石真也、島本和仁、大規模地震に対するダム耐震性能照査について、ダム技術、 No.274、6-35、2009 年.
18) 松浦達郎、板垣修、服部敦、地震と洪水の複合災害に係る被害低減対策効果の特性の分析、日本地震工学会論文集、第 16 号第 5 号（特集号)、平成 28 年 4 月.
19) 佐々木隆、伊藤壮志、東北地方太平洋沖地震及びその余震を考慮した距離減衰式の提案、土木技術資料、Vol.56. No.11、pp. 38-41、平成 26 年 11 月.
20) 佐々木隆、伊藤壮志、地震動の距離減衰式の改良、ダム技術、No.338、pp.17-28、平成 26 年 11 月.
21) 佐々木隆、伊藤壮志、山口嘉一、安中正、東北地震を踏まえたダム基礎岩盤における地震動距離減衰式、大ダム、No.229、pp.99-106、平成 26 年 10 月.
22) T. Ito, T. Sasaki, Y. Yamaguchi、T.Annaka、Attenuation Relationship of Earthquake Motion at Dam Foundation in Consideration of The 2011 Tohoku Earthquake 、 ICOLD BALI 2014 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON “DAMS IN GLOBAL ENVIRONMENTAL CHALLENGES”、 II-519-528、平成 26 年 6 月.
23) 武村雅之、日本列島および周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係、地震、第 43 巻、pp.257-265、1990 年.
24) 鳩貝ら、津波越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する水理模型実験、土木学会論文集 B2（海岸工学)、Vol.68, No.2、I_406-I_410、2012 年.
25) 加藤ら、津波の越流に対するコンクリート平張り海岸堤防の粘り強い構造、土木学会論文集 B2（海岸工学)、Vol.69, No.2、I_1021-I_1025、2013 年.
26) 加藤ら、津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討、土木学会論文集 B2（海岸工学)、Vol.70, No.1、pp.31-49、2014 年.
27) 加藤ら、波越流時の海岸堤防の被覆工下面に作用する圧力に関する気液二相流解析、土木学会論文集 B2（海岸工学)、Vol.70, No.2、I_971-I_975、2014 年.
28) 渡辺ら、海岸堤防の粘り強さ向上による減災効果の感度分析、土木学会論文集 B2（海岸工学)、Vol.71, No.2、I_1597-I_1602、2015 年.
29) 諏訪、自然・地域インフラとは何か、RIVER FRONT、Vol.79、pp.11-15、2015 年.
30) 宇多ら、洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動 －流水に対する安定性・耐侵食性を判断するために－、土木研究所資料、3489 号、1997 年.

## Ⅳ.5　道路インフラに関わる震災対応能力の向上

いわゆるハード対策とソフト対策は減災を図るうえでの両輪であり、道路の震災対策として道路施設の強化が重要であることは言うまでもないが、被害の発生を早期に把握し交通機能を速やかに回復する能力を向上させることも重要である。

東日本大震災では地震動と液状化による広域被害が発生し、また、橋台背面盛土部の段差や津波来襲後の道路啓開に関しても、様々な課題が認識されたところである。これらの経験を踏まえ、道路インフラに関わる震災対応能力を如何に向上させるべきか、ハード対策とソフト対策の両面から調査研究が進められた。

ハード対策としては道路橋示方書の設計地震動の改定と液状化に対する舗装構造の検討が行われている。ソフト対策としては道路橋の被害を早期に把握するための自動通行障害把握システムの開発に加え、道路啓開に着目し、道路啓開の効果や震災時に優先的に啓開すべき路線の評価手法、道路啓開計画の前提となるガレキ量を予測する手法等の検討が行われている。以下ではこれらの取り組みを順に紹介していく。

### Ⅳ.5.1　道路橋示方書の設計地震動の改定および津波に対する配慮事項の規定

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.46~49、2013.1

道路橋の耐震設計では、レベル２地震動として、プレート境界型の大規模な地震による地震動（タイプⅠの地震動）と内陸直下型地震による地震動（タイプⅡの地震動）の２種類を考慮している。平成 23 年東北地方太平洋沖地震と同じプレート境界型の地震である東海地震、東南海地震、南海地震等が近い将来に発生すると考えられていることや近年の研究成果を踏まえ、道路橋示方書全体の改定にあわせ、これらプレート境界型の大地震による地震動を推定した結果をもとに、レベル２地震動（タイプⅠ）を見直した[1)]。

道路橋の設計地震動は、地盤種別ごとに設定された標準加速度応答スペクトルに、減衰定数別補正係数と地域別補正係数を乗じることで設定される。今回の改定では、国総研で開発した距離減衰式を用いて、大正 12 年関東地震の際の東京周辺での地震動を推定した結果に基づき、レベル２地震動（タイプⅠ）の標準加速度応答スペクトルを改定した（図-Ⅳ.5.1.1　）。

それにあわせて、従来の地域別補正係数とは別に、レベル２地震動（タイプⅠ）に対して適用する地域別補正係数を新たに設定した。その際、北海道太平洋沖の４地震が連動する場合、東海・東南海・南海地震及び日向灘地震が連動する場合など、東北地方太平洋沖地震も含め震源域が連動する影響を考慮した上で、大正 12 年関東地震において東京周辺で生じた地震動よりも強い影響を受けると推定される地域では地域別補正係数を 1.2 とした（図-Ⅳ.5.1.2）。

また、動的解析による耐震性能の照査に用いるため、改定した標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振幅調整した加速度波形を地盤種別ごとに 3 波形ずつ示した。これらは平成 15 年十勝沖地震と平成 23 年東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震記録をもとに作成しており、従来よりも大幅に継続時間が長い特徴を有している。

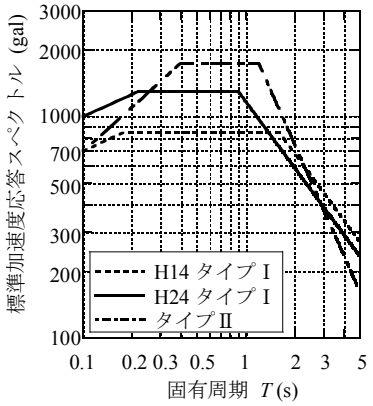



図-Ⅳ.5.1.1　標準加速度応答スペクトル（Ⅱ種地盤）

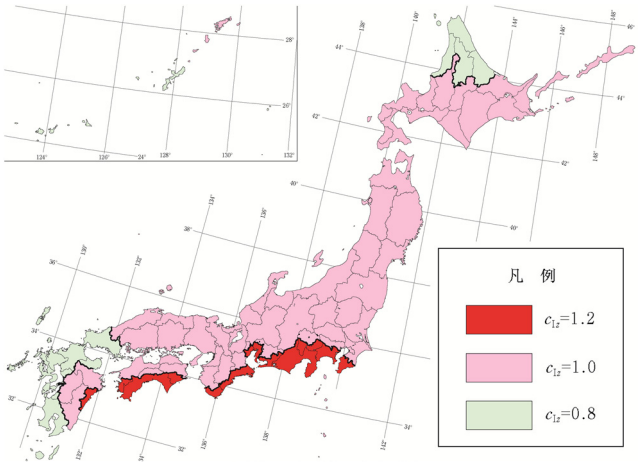



図-Ⅳ.5.1.2 レベル２地震動タイプⅠの地域別補正係数

一方、平成 23 年東北地方太平洋沖地震では、地震動だけでなく津波の影響によっても広い範囲で道路橋に被害が発生し、特に上部構造が流出したものは、交通機能の回復に時間を要したものがあった。

これを教訓として、平成 24 年に改定された道路橋示方書Ⅴ耐震設計編では、津波に関する地域の防災計画を考慮した構造計画を行うことが新たに規定された。これは、津波の影響を受ける可能性がある地域内の路線に求められる性能は、基本的に、その地域の防災計画等に基づいて設定されることになるため、道路橋の設計においてはその性能に応じた適切な構造計画を検討することが重要となるためである。同解説 [1)]には、津波の高さに対して桁下空間を確保する、津波の影響を受けにくいような構造的工夫を施す、上部構造が流出しても復旧しやすいように構造的な配慮をすることが構造計画の例として挙げられている。

1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編, 2012.

## Ⅳ.5.2　道路平面部の液状化による被害の影響要因に関する検討

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、関東地方を中心に広い範囲で液状化の発生が確認された。これにより一時的に道路の通行に支障が生じた区間が発生した。

このため国総研及び土研では、道路平面部の液状化に伴う被害について、道路の諸条件（舗装構成、地盤条件等）を踏まえた対策手法の確立のための検討を行ってきた。

本節では、道路平面部の液状化被災状況に関する情報を収集し、被災状況等と道路構造、道路下の埋設物、地盤条件等との相関関係を分析した成果を記載する。

表-Ⅳ.5.2.1　関東地方において液状化の発生が報告された自治体

| | |
|---|---|
| 茨城県 | 水戸市、日立市、土浦市、古河市、石岡市、結城市、龍ヶ崎市、下妻市、常総市、常陸太田市、北茨城市、取手市、つくば市、ひたちなか市、鹿嶋市、潮来市、守谷市、那珂市、筑西市、坂東市、稲敷市、かすみがうら市、神栖市、行方市、鉾田市、つくばみらい市、茨城町、大洗町、東海村、美浦村、阿見町、河内町、八千代町、五霞町、境町、利根町 |
| 栃木県 | 栃木市、真岡市、大田原市 |
| 群馬県 | 館林市、板倉町、邑楽町 |
| 埼玉県 | さいたま市、熊谷市、川口市、行田市、加須市、春日部市、羽生市、越谷市、戸田市、鳩ヶ谷市、和光市、久喜市、八潮市、幸手市、吉川市、宮代町 |
| 千葉県 | 千葉市、銚子市、市川市、船橋市、木更津市、松戸市、野田市、成田市、東金市、旭市、習志野市、柏市、八千代市、我孫子市、浦安市、袖ヶ浦市、印西市、南房総市、匝瑳市、香取市、山武市、栄町、神崎町、東庄町、九十九里町 |
| 東京都 | 中央区、港区、墨田区、江東区、品川区、大田区、北区、板橋区、足立区、葛飾区、江戸川区 |
| 神奈川県 | 横浜市、川崎市 |

※　枠内は今回検討対象とした自治体

### Ⅳ.5.2.1　東日本大震災における道路平面部の液状化被災状況

ここでは、本検討の対象とした地区（自治体）における道路平面部の液状化の被災状況について記載する。

(1)国道 245 号（茨城県日立市）の被災状況

国道 245 号は、茨城県水戸市と日立市を結ぶ主要な幹線道路であり、周辺には重要港湾である茨城港日立港区や、原子力関係事業所、工場等が立地しており重要な路線である。東日本大震災では、図-Ⅳ.5.2.1.1、図-Ⅳ.5.2.1.2 及び写真-Ⅳ.5.2.1.1 に示すとおり、陥没、路面の波打ち、上層路盤まで達するクラック、街渠と




茨城県茨城県高萩工事事務所　提供

図-Ⅳ.5.2.1.1　被害路線（国道 245 号線）

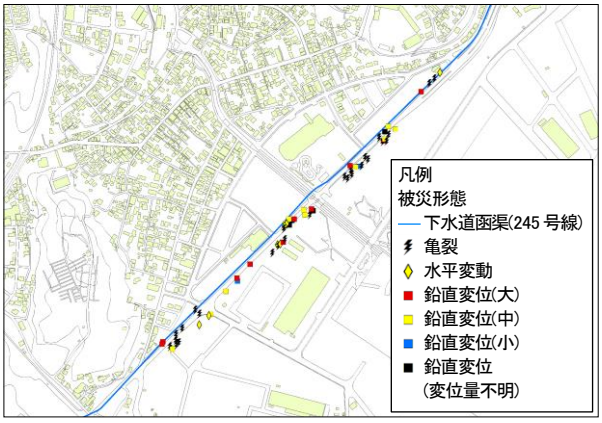



図-Ⅳ.5.2.1.2　被害位置（国道 245 号線）




茨城県茨城県高萩工事事務所　提供

写真-Ⅳ.5.2.1.1　被害状況（国道 245 号日立市）

舗装面間に生じた空隙、路面の大きな沈下、噴砂等が確認された。当該区間は久慈川の旧河道を埋め立てた地盤上に構築されているが、上り線側（海側）が下り線に比べて被害が顕著であり、上記の被害も上り線に多く確認された。

(2)千葉県香取市の被災状況

千葉県香取市の佐原地区及び小見川地区は、明治期には利根川の水域や湿地が多く、昭和初期に埋め立て干拓が始まっており、昭和 40 年代には現在の地形が形成されるに至っている。この干拓によって形成された市街地の生活道路及び利根川河岸の国道 356 号において、液状化に伴う噴砂、地盤の側方移動による路面の変状等が確認されている（図-Ⅳ.5.2.1.3、図-Ⅳ.5.2.1.4、写真-Ⅳ.5.2.1.2）。

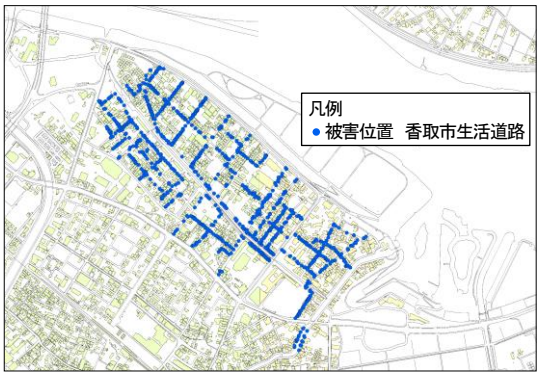



図-Ⅳ.5.2.1.3(a)　被害位置（佐原市街地、生活道路）

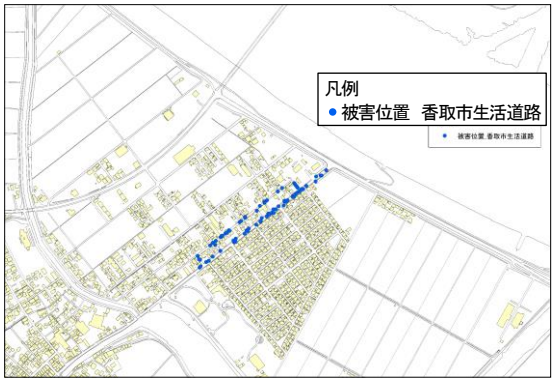



図-Ⅳ.5.2.1.3(b)　被害位置（小見川地区、生活道路）

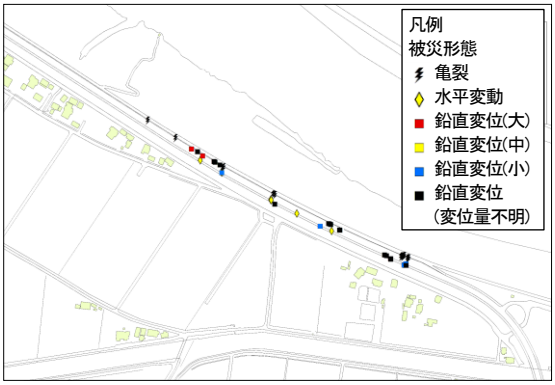



図-Ⅳ.5.2.1.4　被害位置（国道 356 号線香取市）



写真-Ⅳ.5.2.1.2　周辺道路の通行状況 [12)]
（平成 23 年 3 月 11 日　香取市撮影）

(3)千葉県千葉市の被災状況

千葉市北西部の東京湾岸に面する美浜区は、多くが昭和 36～55 年頃までに造成された埋め立て地盤である。図-Ⅳ.5.2.1.5 及び写真-Ⅳ.5.2.1.3 に示すとおり、噴砂、亀裂、鉛直変位（沈下による段差等）等された。

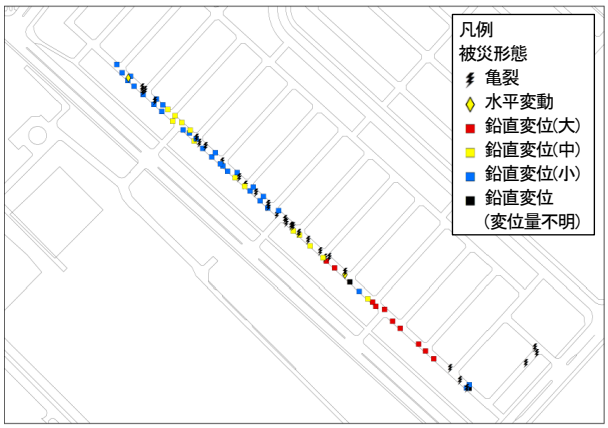



図-Ⅳ.5.2.1.5　被害位置（千葉市市道磯辺 132 号線）



写真-Ⅳ.5.2.1.3（a）　真砂磯部２号線の被災状況
（千葉市提供）




写真-Ⅳ.5.2.1.3(b)　市道 72 号線（生活用道路）の被災状況（千葉市提供）

(4)神栖市の被災状況

神栖市は、昭和 40 年代からの鹿島臨海工業地帯の開発に伴い、鰐川の一部及び神之池を埋め立てて造成された地区が存在する。これらの地域において、液状化が発生し、路面の亀裂、鉛直変位（主に陥没、波状変形、舗装のせり上がり）等が発生した。




図-Ⅳ.5.2.1.6　路線位置図　（神栖市）

(5)千葉県浦安市の被災状況

1960 年代から浚渫によって造成した区域（中町、新町地域）のほぼ全域において液状化現象が発生した。図-Ⅳ.5.2.1.8 及び写真-Ⅳ.5.2.1.4～写真-Ⅳ.5.2.1.6 のとおり、道路については、舗装部や歩・車道境界部からの土砂噴出により通行障害が発生するとともに、ひび割れ、せり上がり、陥没など路面に変状が生じた。

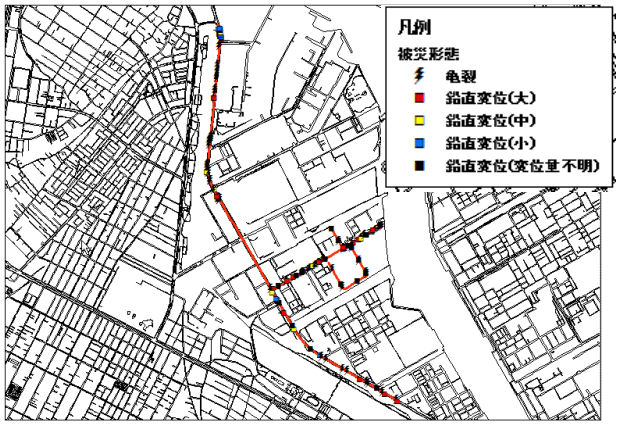



図-Ⅳ.5.2.1.7　被害位置（神栖市）

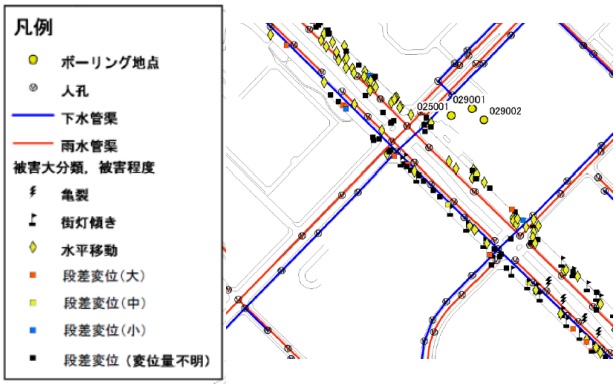



図-Ⅳ.5.2.1.8　被災位置図(浦安市幹線 9 号)



(浦安市提供)

写真-Ⅳ.5.2.1.4　被害状況(路面の亀裂)



(浦安市提供)

写真-Ⅳ.5.2.1.5 被害状況(段差)



（浦安市提供）

写真-Ⅳ.5.2.1.6 被害状況（舗装のせり上がり）

### Ⅳ.5.2.2　道路平面部の液状化被害と諸条件の関係に関する検討

(1)検討方法概要

1)検討の流れ

液状化に伴い被災した道路を対象として、各自治体から収集した①液状化被害の箇所及び被害状況、②道路構造・埋設管等の諸条件、③地盤条件（ボーリング柱状図､液状化判定結果）に関するデータを整理した。整理対象地域を表-Ⅳ.5.2.2.1 に示す。整理にあたっては、被害に関する相関分析を効果的に行うことを念頭に置き、一元的にデータを管理できるよう地理情報システム（以下、GIS という）を活用した。

表-Ⅳ.5.2.2.1　整理対象地域一覧

| | 地域名または路線名 |
|---|---|
| 1 | 日立市(国道 245 号線) |
| 2 | 香取市(国道 356 号線、生活道路) |
| 3 | 千葉市 |
| 4 | 神栖市 |
| 5 | 浦安市 |

GIS に構築した各種データをもとに、液状化被害状況（被害形態、被災程度等)、道路構造等・埋設管等の諸条件、地盤条件との関連性について重ね合わせによる整理を行うとともに、各種パラメタ（被災状況、地盤条件、道路諸元、埋設管情報等）を道路延長 100ｍ区間毎の整理表に集計し、被害と各条件との相関について分析した。

以下に、液状化被害の箇所及び被害状況、道路構造等・埋設管等の諸条件、地盤条件の整理方法について詳述する。

2)液状化被害の箇所及び被害状況に関する整理

整理対象となる路線（延べ140路線、延長約80km）に対して、車道で発生した液状化による道路地表面部の被災発生箇所について整理を行い､被害形態(噴砂、亀裂、段差、陥没、占用物件の突出等）、被災程度については、平面図に図示した。また、あわせて被災時の交通機能への影響について整理を行った。

3)道路構造等・埋設管等の諸条件に関する整理

対象路線の標準断面などの資料から舗装構成（路床改良も含む）を整理するとともに、下水道管路の位置情報を平面図上に整理した。

4)地盤条件の整理

検討対象箇所周辺のボーリングデータおよび土地造成の履歴等について整理するとともに、各ボーリング地点で、東日本大震災発生時の地震動強度に基づき液状化判定を行い液状化層厚、$P_L$値等を求めた。

更に、地下水位や液状化層厚等を、最適化原理法によるコンター処理を行うことによって各検討箇所直下（100m区間毎に分割）の地盤条件として割り当てた。

(2)液状化被害の箇所及び被害状況に関する整理

1)液状化被害状況の整理

東日本大震災後の調査資料、災害査定資料、被災直後の緊急工事や復旧工事等の記録を用いて、車道で発生した液状化による道路地表面部の被災(噴砂､段差、クラック、隆起、陥没および付帯構造物・占用物件の損傷等）の発生箇所について整理を行った。

被害箇所の位置については、平面図上に被害箇所が記されている場合はその位置を読み取り、被害写真のみ資料がある場合は Google マップのストリートビュー等を用いて、写真から位置を推定し整理した。

また、段差が生じた相対変位量やクラックの長さ等の定量的な被害の指標については、各資料、平面図上および写真内に被害程度の記載がある場合はそれを読み取り整理した。写真があってもスケール等がなく定量的な指標が判断できない場合は不明とした。

被災形態の代表的な写真を写真-Ⅳ.5.2.2.1 に示す。噴砂が発生した場合は噴砂量が多いと地震直後は一時的に通行が困難となる場合があるだけでなく、車道部の土砂の除去作業のため一時的でも通行規制が発生したと考えられる。また、段差・隆起・陥没などの鉛直変位が発生した場合は、変位量等の程度が大きいとその箇所の通行が困難になることが想定される。

2)被害ランクの整理

被害ランクは、対象とした被害箇所について、道路の通行に着目した場合と構造的な変形に着目した場合の 2 パターンでそれぞれ整理を行った。

道路通行に着目した被害ランクは、東日本大震災直




(a)噴砂




(b)段差



(c)クラック



(d)隆起

写真-Ⅳ.5.2.2.1　被災事例

後における緊急工事や通行止めの実施、中長期的な何らかの復旧工事の実施の有無に着目し、表-Ⅳ.5.2.2.2の3つのランクに区分した。

また、構造的な変形に着目した被害ランクは、表-Ⅳ.5.2.2.3のとおり車道部の舗装において段差・隆起・



(e)陥没



(f)付帯構造物の損傷

写真-Ⅳ.5.2.2.1　被災事例

沈下等の鉛直変位が生じ、かつその変位量が資料等から判明している被害箇所について、変位量5cm単位でランク分けを行った。

表-Ⅳ.5.2.2.2　道路の通行に着目した被害ランク

| ランク | 定義 |
|---|---|
| 大 | 緊急工事、通行止めがあった |
| 中 | 中長期的に復旧を行った路線 |
| 小 | 上記以外の路線 |

表-Ⅳ.5.2.2.3　構造的な変形に着目した被害ランク

| ランク | 定義 |
|---|---|
| 大 | 鉛直変位10cm以上 |
| 中 | 鉛直変位5～10cm |
| 小 | 鉛直変位0～5cm |

(3)道路構造、埋設管、埋立履歴、交通規制情報等の諸条件の整理方法

1)道路構造の整理

検討した液状化被害が生じた路線を対象とし、道路構造の整理を行った。道路構造は、資料等から路線の代表断面の路盤材料、横断構成、舗装構成、設計CBR、路床改良の有無等を読み取り整理を行った。また、平面図から路線位置、路線区間を確認し、GIS上に路線のラインデータとして作成した。

2)埋設管の整理

埋設管については、比較的管径が大きく道路平面部

の変状に影響が大きいと考えられる下水道管の占用位置について整理した。占用位置は、下水道台帳等により位置を確認し、GIS 上にラインデータとして作成した。

なお、今回収集できた資料では埋設管の平面的な位置しか確認できず、埋設深さ、施工方法、埋戻し材等の情報が得られなかったため、平面的な位置関係のみを GIS 上で整理した。

3)埋立履歴の整理

埋立造成履歴の資料等を用いて、検討対象地域における埋立範囲および埋立年の整理を行った。埋立範囲は資料内の平面図や過去の航空写真から読み取り整理した。また、埋立年は資料内の記述があればそれを整理し、記述がない場合は、資料内における過去の航空写真または平面図から埋立てたことが確認できた時点を埋立年として整理した。

なお、地盤材料、施工方法、地盤改良の有無等の情報は得られなかったため、埋立範囲と埋立年のみについて整理した。

4)交通規制情報の整理

対象とした路線の被災後の交通規制情報の整理を行った。東日本大震災直後の混乱した状況の中で、交通規制状況や被災直後の緊急工事の実施状況などについては、情報が錯綜しており正確な情報がとりまとめられていない地区が多かったが、規制区間等が資料から把握可能な区間については、その規制内容を読み取り GIS 上に整理した。

5)道路周辺状況の把握

対象とした路線の道路周辺状況の整理を行った。道路周辺状況は、地形図や Google マップ等から道路周辺の地形や土地利用状況(平地、住宅地、工業地帯等)、近接する構造物や各種施設(立体交差、河川堤防、河川護岸、商業施設等)を読み取り整理した。

(4)地盤条件の整理、液状化判定、(非)液状化層厚、液状化指数 $P_L$ 算定等の方法

1)地盤条件の整理

各地区の地盤情報(ボーリング柱状図、土質試験結果、地質断面図)を収集整理した。表-Ⅳ.5.2.2.4 に地域毎に収集したボーリングデータ数と収集資料の一覧を示す。ボーリングデータについては、地盤情報データベース(G-Cube)に整理した。

2)液状化判定

ボーリング柱状図、土質試験結果、地質断面図に基づき、液状化判定を行った。本検討では、「道路橋示方書(平成24年)[1)]」、「建築基礎構造設計指針[2)]」の2つの基準類に基づき液状化判定を行った。

なお、道路橋示方書による液状化判定では、表-Ⅳ.5.2.2.5 に示すように地震動タイプの補正を行う。今回は、東日本大震災を想定しているため、プレート境界型(タイプⅠ)地震動として液状化判定を行った。

**表-Ⅳ.5.2.2.4 整理したボーリングデータ数**

| 地区名称(路線等) | ボーリング数 | 収集資料 |
|---|---|---|
| 日立市(国道 245 号線) | 10 | ・県単道修 第101号 災害復旧査定設計業務委託報告書<br>・「新・関東の地盤(2014 版)」(地盤工学会関東支部) |
| 香取市(国道 356 号) | 21 | ・千葉県インフォメーションバンク<br>・国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」 |
| 香取市(生活道路) | 41 | ・香取市 液状化対策検討委員会<br>・千葉県インフォメーションバンク<br>・国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」 |
| 千葉市(美浜区) | 64 | ・千葉市 液状化対策推進委員会 |
| 浦安市 | 214 | ・浦安市液状化対策技術検討調査委員会 |
| **合計** | **350** | |

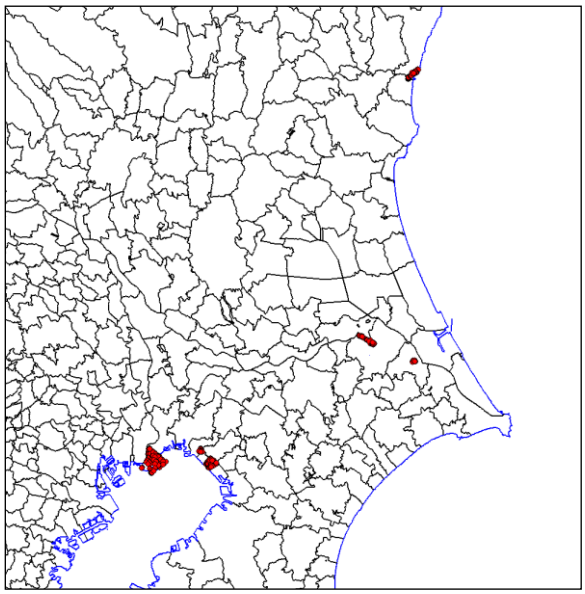


**図-Ⅳ.5.2.2.1 データベースに整理したボーリング位置図**

**表-Ⅳ.5.2.2.5 道路橋示方書における地震動タイプ**

| 地震動レベル | タイプ | 道路橋示方書における定義 ・特徴 |
|---|---|---|
| 1 | — | ・橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動<br>・比較的生じる可能性の高い中規模程度の地震 |
| 2 | Ⅰ | ・橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動<br>・発生頻度が低いプレート境界型の大規模な地震<br>・大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動 |
| | Ⅱ | ・橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動<br>・発生頻度が極めて低い内陸直下型地震<br>・継続時間は短いが極めて大きな強度を有する地震動 |

3)$P_L$値の計算方法

$P_L$値は、地下水位（地下水位が地表面と一致する場合は、地表面）より深度 G.L.-20m の間で、式(1)を用いて求めた。式(1)の積分は、$F_L$値が連続的で無いために式(2)に示したように矩形法で行なった。なお、矩形法による積分を行なうに際し、後述のように土層境界深度や $F_L$ 計算深度を考慮した計算を行なった。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_{L,Z})(10 - 0.5z) d_z \qquad (1)$$

$F_{L,Z}$ ：深度 $Z$における液状化抵抗率（ただし、$F_{L,Z} \geqq 1$ の場合は、$F_{L,Z}=1$ とする）

$z$ ：深度（m）

$$P_L = \sum_{i=1}^{n} (1 - F_{L,i})(10 - 0.5z_i)\Delta h_i \qquad (2)$$

$F_{L,i}$ ：矩形 $i$ における液状化抵抗率（ただし、$F_{L,i} \geqq 1$ の場合は、$F_{L,i}=1$ とする）

$z_i$ ：$F_{Li}$の計算深度

$\Delta h_i$ ：矩形 $i$ の深度方向の長さ

$n$ ：矩形の総数

4)シルト層の取り扱い

建築基礎構造設計指針によると、「埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分（0.005 ㎜以下の粒径を持つ土粒子）含有率が 10%以下、または塑性指数が 15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。」となっていることから、シルト層については、原則、液状化計算対象とした。

ただし、明らかに細粒分含有率が高いと想定できる粘土質シルトや土質試験で Ip＞15 が確認されている場合は、液状化計算対象外とした。

5)土質物性値の取り扱い

液状化検討に使用する土質物性値は、土質試験結果を入手できた土層に対しては土質試験結果を使用し、土質試験結果がない場合は、浦安市については土質試験結果に基づく N 値と細粒分含有率及び塑性指数の関係式[14]を用いて物性値を設定し、浦安市以外の地区については「道路橋示方書 V 耐震設計編（平成 14 年）」に記載されている土質物性値の概略値等を参考に、表-Ⅳ.5.2.2.6 に示す値を使用した。

(5)舗装厚、液状化層厚、非液状化層厚の算出方法

液状化層厚および非液状化層厚は、独立行政法人都市再生機構「宅地耐震設計マニュアル（案）」（平成 20 年）を基本に設定した。なお、浦安市の液状化層厚については、埋立土層（Fs 層）の層厚から算出した。

**表-Ⅳ.5.2.2.6　土質試験結果がない場合に使用した土質物性値**

| 土質分類 | 地下水位面下の単位重量 $\gamma_{t2}$ (kN/m³) | 地下水位面上の単位重量 $\gamma_{t1}$ (kN/m³) | 平均粒径 $D_{50}$ (mm) | 細粒分含有率 Fc (%) | 液状化判定の対象 |
|---|---|---|---|---|---|
| 表土 | 17.0 | 15.0 | 0.02 | 80 | 対象 |
| シルト | 17.5 | 15.5 | 0.025 | 75 | 対象 |
| 砂質シルト | 18.0 | 16.0 | 0.04 | 65 | 対象 |
| シルト質細砂 | 18.0 | 16.0 | 0.07 | 50 | 対象 |
| 微細砂 | 18.5 | 16.5 | 0.1 | 40 | 対象 |
| 細砂 | 19.5 | 17.5 | 0.15 | 30 | 対象 |
| 中砂 | 20.0 | 18.0 | 0.35 | 10 | 対象 |
| 粗砂 | 20.0 | 18.0 | 0.6 | 0 | 対象 |
| 砂れき | 21.0 | 19.0 | 2.0 | 0 | 対象 |
| 素掘り | 18.0 | 16.0 | 0.07 | 50 | 対象外 |
| 粘土 | 16.5 | 15.5 | 0.002 | 100 | 対象外 |
| 粘土質シルト | 17.5 | 15.5 | 0.025 | 75 | 対象外 |
| 基岩盤 | 21.0 | 19.0 | － | 0 | 対象外 |

1)舗装厚の算出方法

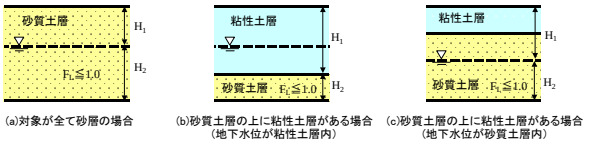
舗装厚は、アスファルト混合物層（表層・中間層・基層）及び路盤の厚さに加えて、路床に何らかの改良が施されている箇所についてはその改良厚さを加えて算出した。

2)非液状化層厚の算出方法

非液状化層厚は、図-Ⅳ.5.2.2.3 のとおり地盤面から

**表-Ⅳ.5.2.2.7　非液状化層厚（$H_1$）の定義**

| | 地下水位より浅い層 | 地下水位より深い層 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 液状化の安全率（FL値）が1.0より大きい層 | N値がより大きい粘性土層（埋立土・盛土） | 細粒分含有率35%を超える層（沖積層・埋立土・盛土） | | 平均粒径10mm以上で、または10%粒径が1mm以上の土層（沖積層・埋立土・盛土） |
| | | | | 粘土分含有率が10%以上の層 | 塑性指数15以上の層 | |
| 「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ---------- |
| 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 を基本とする場合 | ○ | ○ | ○ | ---------- | ○ | ○ |




(a)対象が全て砂層の場合　(b)砂質土層の上に粘性土層がある場合（地下水位が粘性土層内）　(c)砂質土層の上に粘性土層がある場合（地下水位が砂質土層内）

**図-Ⅳ.5.2.2.3　非液状化層厚の設定**

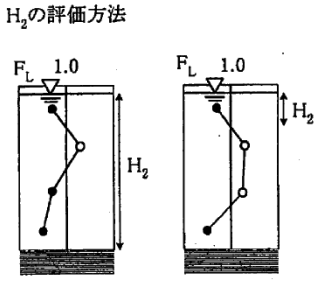



**図-Ⅳ.5.2.2.4　液状化層厚の設定**

連続する液状化しないと判定された土層に、舗装厚や路床改良厚を加えた層とした。

3)液状化層厚の算出方法

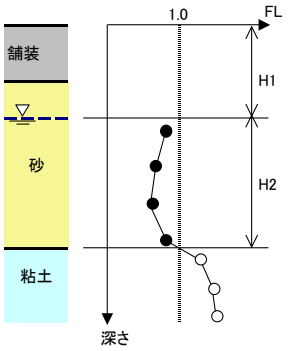
液状化層厚は、図-Ⅳ.5.2.2.4 のとおり $F_L$ が 1.0 以下の層とし、1m毎の計算深度において $F_L$>1.0 が 2 回（2.0m 以上）連続する層の上面までの層とした。

図-Ⅳ.5.2.2.5 に、非液状化層厚、液状化層厚の設定例を３パターン示す。

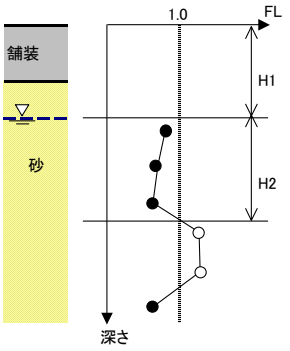
① 最も単純な 2 層パターン

② 液状化層の途中に $F_L$>1 が 2m 以上存在し非液状化層が挟まっていると判断したパターン

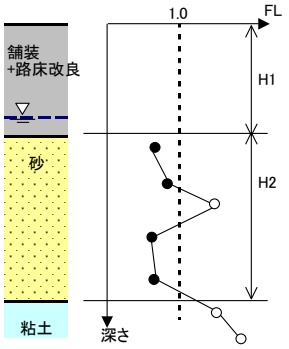
③ 液状化層の途中に $F_L$>1 が存在するが 2m 以内なので液状化層が続くと判断したパターン




(a) パターン①の例




(b) パターン②の例




(c) パターン③の例

図-Ⅳ.5.2.2.5　非液状化層厚・液状化層厚の設定例

(6)コンター計算

整理した地盤条件（$P_L$ 値、地下水位、液状化層厚、非液状化層厚）については、各地盤条件の値のコンター図を作成し、コンター図から分割した路線中心地点の地盤条件を読み取った。コンター図の作成計算は、地層の境界面を推定する際に一般的に用いられている「最適化原理法 3)」を採用した。

最適化原理とは、$f_{ij}$ で曲面 $f$ を近似的に表現した場合、最も滑らかな曲面を与える $f_{ij}$ を解とする手法である。最適化原理では原データを薄板のような弾性体に作用する質点力とみなし、それによって形成された曲面 $f$ を汎用係数 $J(f)$によって評価する。

最適化原理を数式で表すと、以下のようになる。

$$J(f)=m_1J_1(f)+m_2J_2(f)$$

$$J_1(f)=\iint_R\left\{(\partial f/\partial x)^2+(\partial f/\partial y)^2\right\}dxdy/S$$

$$J_2(f)=\iint_R\left\{(\partial^2 f/\partial x^2)^2+2(\partial^2 f/\partial x\partial y)^2+(\partial^2 f/\partial y^2)^2\right\}dxdy$$

ここで、積分の範囲は設定した格子の領域 $R$ である。$m_1$ と $m_2$ は $J_1(f)$ と $J_2(f)$ のバランスを指定する定数であり、 $S$ は領域 $R$ の面積として $J_1(f)$ と $J_2(f)$ の次元を一致させるために含まれるものである。

この式を用い、不規則に分布する $N$ 個の地点 $(x_k, y_k)$ で測定した値を $z_k$ とすると、関数 $f(x, y)$ が満たさなければならない制約条件は、

$$f(x_k,y_k)-z_k=0$$

となる。

最適化原理は、曲面が滑らかであるとともに測定データの空間的分布則が反映された曲面を形成するものであり、不規則な配置をもった測定データから地層境界面を推定補間する場合などに用いることができる。

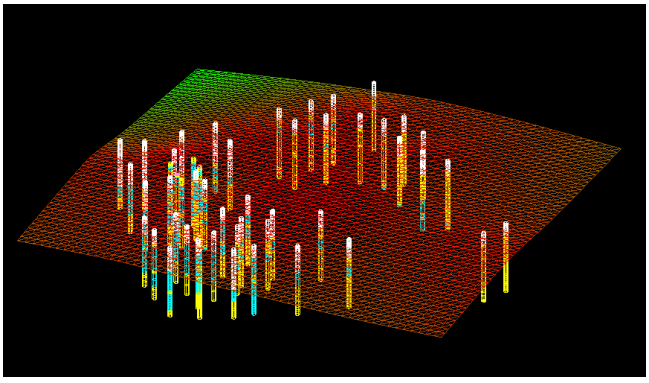


図-Ⅳ.5.2.2.6　最適化原理法を用いた地下水位面の推定例

ただし、地形境界など地層構成が急変する箇所では誤差が大きくなる傾向がある。

(7)液状化被害、道路諸条件、地盤条件等の重ね合わせによる整理

GIS 上に構築したデータの位置情報に基づき重ね合わせを行うことで、それぞれの関連性について整理を行った。整理単位は道路延長を 100m で分割した区間毎とし、分割区間毎に液状化被害状況、道路状況、埋設管情報、埋立履歴、交通規制情報、地盤状況の整理

を行った。

1)液状化被害状況の整理

図-Ⅳ.5.2.2.7 のように、分割区間毎に被害数、被害程度、噴砂発生の有無、被害ランク、最大水平変位、最大鉛直変位を整理した。ここで、最大水平変位は区間内で認められたひび割れ、クラックの被害のうち、生じた変位量の最大値とした。また、最大鉛直変位は区間内で認められた隆起、段差、沈下の被害のうち、

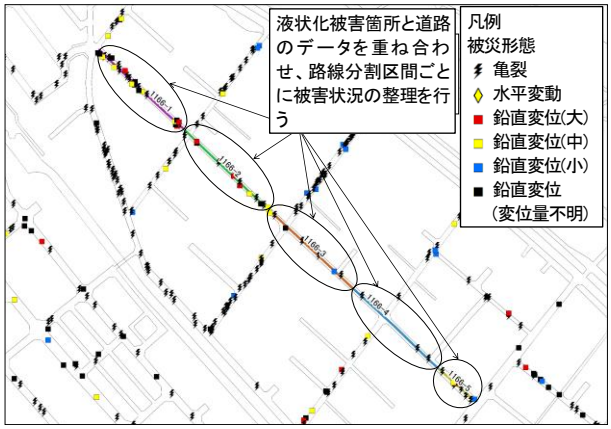



図-Ⅳ.5.2.2.7　重ね合わせによる整理イメージ
（液状化被害状況）

生じた変位量の最大値とした。

2)道路状況の整理

分割区間毎に舗装構成、舗装厚、路床改良の有無を整理した。

3)埋設管情報の整理

図-Ⅳ.5.2.2.8 のように、分割区間毎に埋設管（下水道管）の直上の被害の有無、被害数、最大水平変位、最大鉛直変位を整理した。ここで、下水道管の直上被害の有無は、下水道管と被害位置の平面的な位置関係から判断した。具体的には、GIS 上で作成した下水道管のラインデータから 0.5m のバッファ内にある被害箇所について、その下に下水道管が埋設されている（下水道管有り）として整理を行った。

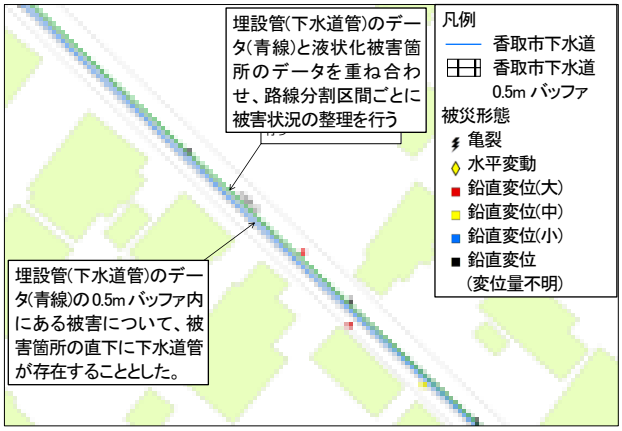



図-Ⅳ.5.2.2.8　重ね合わせによる整理イメージ
（埋設管情報）

また、最大水平変位および最大鉛直変位は、直上被害と判断した被害箇所について(1)と同様の整理を行った。

4)埋立履歴の整理

分割区間毎に埋立地かどうか、および埋立造成年を整理した。

5)交通規制情報の整理

分割区間毎に交通規制区間や通行止め等の実施について整理し、通行止め等を実施していれば道路の通行に着目した被害ランクに反映させることとした。

6)地盤状況の整理

図-Ⅳ.5.2.2.9 のように、整理区間毎に地盤状況の整理を行った。地盤状況は液状化層厚、非液状化層厚、地下水位、$P_L$値についてコンターを作成し、分割区間の中心位置におけるそれぞれの値をコンターから読み

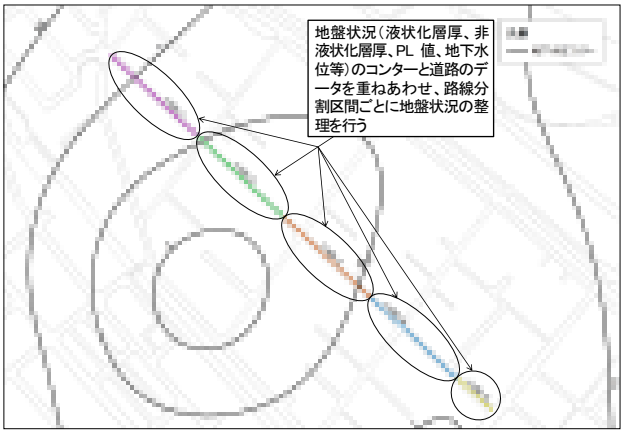
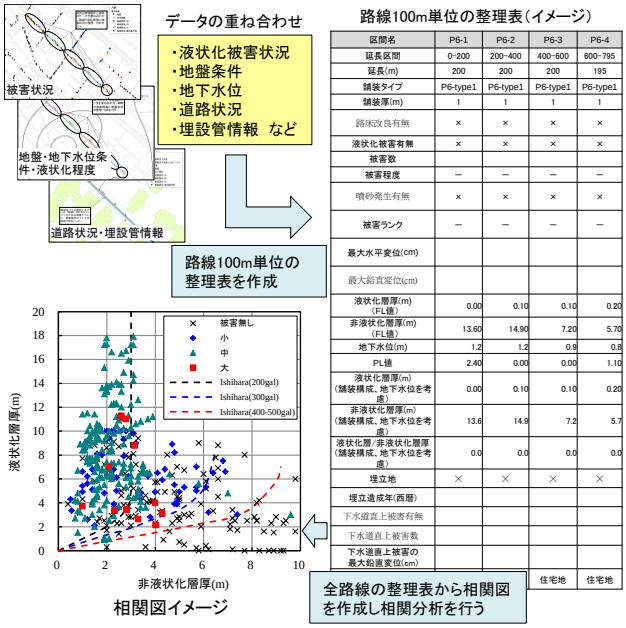



図-Ⅳ.5.2.2.9　重ね合わせによる整理イメージ
（地盤状況）




| 区間名 | P6-1 | P6-2 | P6-3 | P6-4 |
|---|---|---|---|---|
| 延長区間 | 0-200 | 200-400 | 400-600 | 600-795 |
| 延長(m) | 200 | 200 | 200 | 195 |
| 舗装タイプ | P6-type1 | P6-type1 | P6-type1 | P6-type1 |
| 舗装厚(m) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 路床改良有無 | × | × | × | × |
| 液状化被害有無 | × | × | × | × |
| 被害数 | | | | |
| 被害程度 | – | – | – | – |
| 噴砂発生有無 | × | × | × | × |
| 被害ランク | – | – | – | – |
| 最大水平変位(cm) | | | | |
| 最大鉛直変位(cm) | | | | |
| 液状化層厚(m)（FL値） | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.20 |
| 非液状化層厚(m)（FL値） | 13.60 | 14.90 | 7.20 | 5.70 |
| 地下水位(m) | 1.2 | 1.2 | 0.9 | 0.8 |
| PL値 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 1.10 |
| 液状化層厚(m)（舗装構成、地下水位を考慮） | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.20 |
| 非液状化層厚(m)（舗装構成、地下水位を考慮） | 13.6 | 14.9 | 7.2 | 5.7 |
| 液状化層/非液状化層厚（舗装構成、地下水位を考慮） | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 埋立地 | × | × | × | × |
| 埋立造成年(西暦) | | | | |
| 下水道直上被害有無 | | | | |
| 下水道直上被害数 | | | | |
| 下水道直上被害の最大鉛直変位(cm) | | | | |
| | | | 住宅地 | 住宅地 |

図-Ⅳ.5.2.2.10　データ整理および相関分析方法

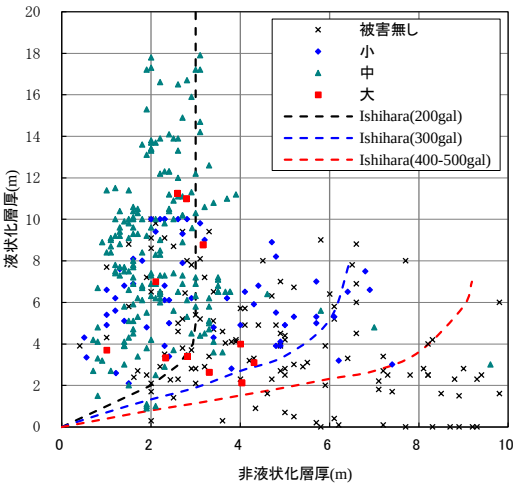
取り整理した。

重ね合わせによるデータ整理の結果、図-Ⅳ.5.2.2.10 に示すとおり 100m に分割した路線ごとに液状化被害状況、地盤条件、地下水位、道路状況、埋設管情報などについて整理表を作成した。これを基に各要因と液状化被害状況の相関図を作成し、各要因が液状化被害状況に及ぼす影響について、(8)に示すとおり相関分析を行った。

(8)液状化被害の程度と道路諸条件、地盤条件との相関分析

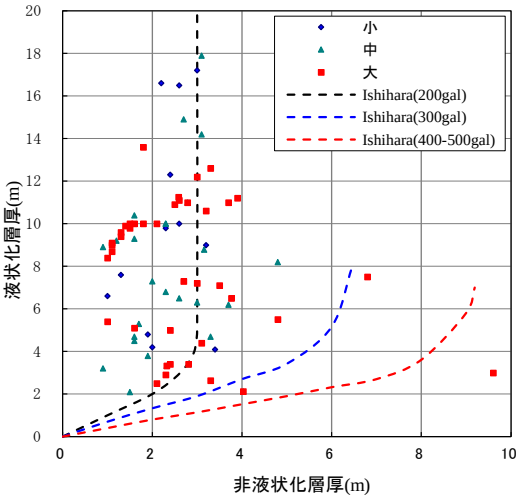
1)液状化層厚・非液状化層厚

非液状化層厚と液状化層厚の関係を、道路の通行に着目した被害ランクごとにプロットすると、図-Ⅳ.5.2.2.11、構造的な変形に着目した被害ランクごとにプロットすると図-Ⅳ.5.2.2.12 のとおりとなる。図には、参照文献 15)に記載されている、Ishihara が提案した最大加速度 200gal、300gal、400～500gal において液状化が発生する液状化層厚及び非液状化層厚のしきい値を併記した。ただし、(6)で述べたとおり、地盤条件の推定には誤差が含まれていることに注意が必要である。




※被害なし：分割した 100m 区間内に被害なし、小：右記以外の路線、中：復旧を行った路線、大：緊急工事、通行止めがあった

図-Ⅳ.5.2.2.11　液状化層厚と非液状化層厚との関係（通行機能に着目した被害ランク）



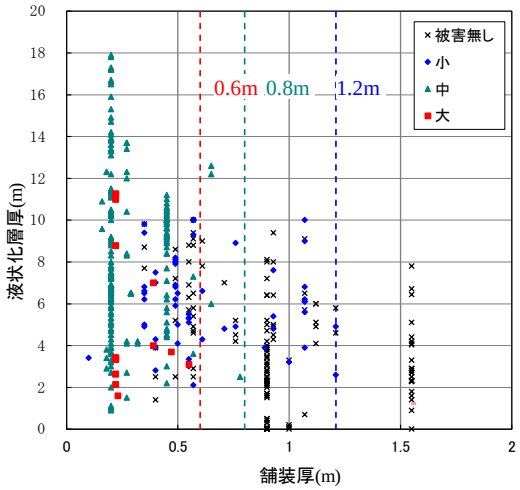

※小：鉛直変位 0～5cm、中：鉛直変位 5～10cm、大：鉛直変位 15cm 以上

図-Ⅳ.5.2.2.12　液状化層厚と非液状化層厚との関係（構造的な被害ランク）

これによると、非液状化層厚が概ね 3m 以上になると、液状化被害ランクの「中」および「大」の被害が減少する傾向がみられる。

2)液状化層厚・舗装厚

車道部の路床改良を含む舗装厚と液状化層厚の関係を、道路の通行に着目した被害ランクごとにプロットすると、図-Ⅳ.5.2.2.13 のとおりとなる。今回の調査結果では、舗装厚が 0.6m 以上で被害ランク「大」、0.8m 以上で被害ランク「中」が生じておらず、舗装厚が 1.2m 以上では液状化被害が生じていないことがわかる。



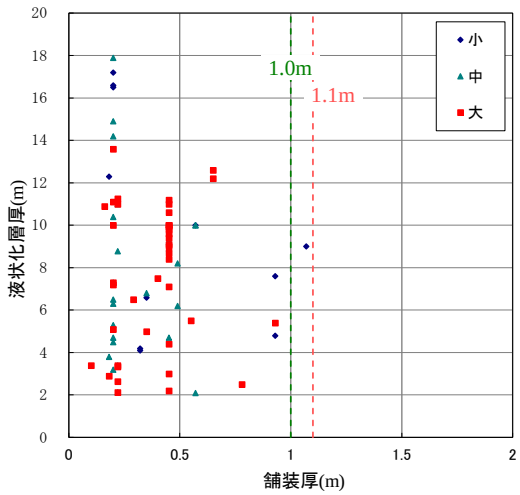

※小：右記以外の路線、中：復旧を行った路線、大：緊急工事、通行止めがあった

図-Ⅳ.5.2.2.13 液状化層厚と舗装厚（路床改良を含む）との関係（通行機能に着目した被害ランク）

また、構造的な変形に着目した被害ランクごとにプロットした図-Ⅳ.5.2.2.14 によれば、舗装厚が 0.95m 以上では鉛直変位 10cm 以上となる被害ランク「大」が生じておらず、舗装厚が概ね 1.1m 以上で液状化による被害（鉛直変位）が生じていなかった。

また、液状化層厚によらず舗装厚が薄い箇所で被害ランクの高い液状化被害が生じており、道路平面部での液状化被害の程度は、液状化層厚だけでなく舗装厚の影響も受けることが分かる。

以上の結果から、道路平面部における液状化被害を軽微に抑えるためには舗装厚を概ね 0.8m～0.95m 以




小：鉛直変位 0～5cm、中：鉛直変位 5～10cm、大：鉛直変位 15cm 以上

図-Ⅳ.5.2.2.14　液状化層厚と路床改良を含む舗装厚との関係（構造的な被害ランク）

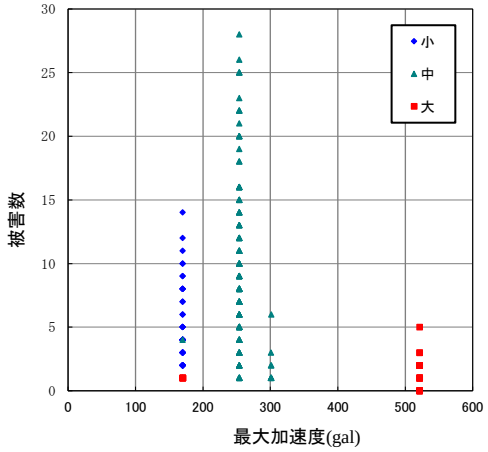
上、液状化被害を発生させないためには舗装厚を概ね 1.1m～1.2m 以上確保することが必要であることが示唆された。

3)被害数に関する分析

地震動の最大加速度と被害数（分割した 100m ごとの区間内において発生した被害の数）の関係を図-Ⅳ.5.2.2.15 に示す。この図のとおり両者の関係については、路線や自治体ごとに被害調査の整理結果が異なることから、有意な相関関係は得られなかった。

また、非液状化層厚と被害数の関係を図-Ⅳ.5.2.2.16 に示す。これについても両者に有意な関係は見られないが、非液状化層厚が概ね 3m 以上になると、被害数が減少する傾向が見られ、図-Ⅳ.5.2.2.11 や図-Ⅳ.5.2.2.12 と同様の結果となった。

図-Ⅳ.5.2.2.17 に、被害数と舗装厚との関係を示す。概ね、舗装厚が厚くなると被害数が減少する傾向があり、舗装厚 0.3m 程度以上で被害数の減少が顕著であり、舗装厚 1.1m 以上では被害が確認されなかった。




※小：道路被害あり、中：道路被害あり＋噴砂発生、大：交通規制あり

図-Ⅳ.5.2.2.15　被害数と最大加速度との関係（通行機能に着目した被害ランク）

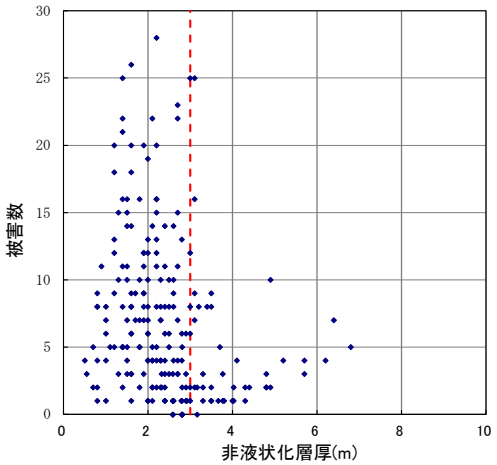



図-Ⅳ.5.2.2.16　被害数と非液状化層厚との関係

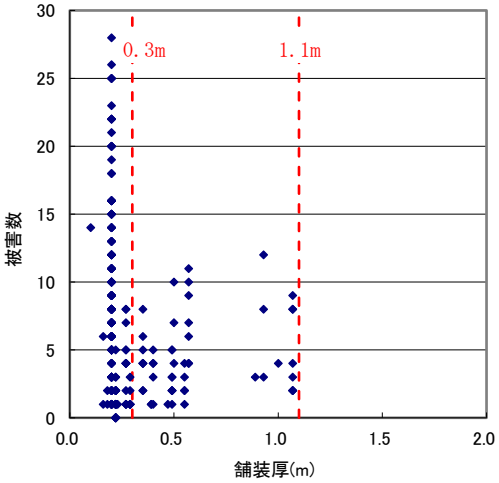



図-Ⅳ.5.2.2.17　被害数と舗装厚との関係

4)地震動の最大加速度

図-Ⅳ.5.2.2.18 に、各地区に最も近い観測点における地震動の最大加速度と、液状化に伴う最大鉛直変位の関係を示す。これによると、最大加速度が大きい箇所において鉛直変位量も大きくなる傾向が見受けられる。

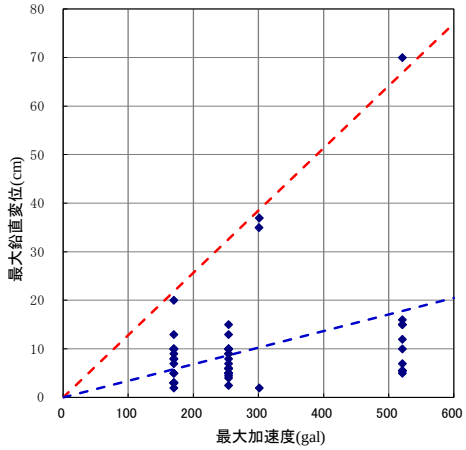
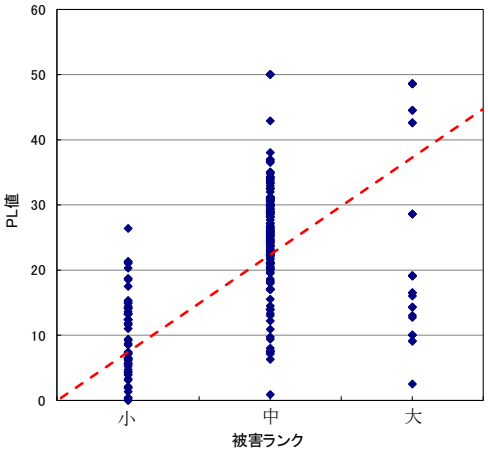



図-Ⅳ.5.2.2.18　最大鉛直変位と最大加速度との関係

5)$P_L$値と液状化被害の関係について

液状化被害の程度と $P_L$ 値との相関関係について検討を行った。図-Ⅳ.5.2.2.19 に $P_L$値と道路の通行に着目した液状化被害ランクの関係を、図-Ⅳ.5.2.2.20 に $P_L$値と最大鉛直変位の関係をそれぞれ示す。

全体的に $P_L$ が大きくなると道路の通行に着目した液状化被害ランク「小」よりも「中」が増加する傾向が見られるが、「大」については $P_L$ が低い（$P_L$ <30 程度）箇所でも発生している。これは通行規制が液状化以外の要因でも発生している影響（例えば津波等の影響）や地盤条件推定の誤差などの影響と考えられる。また、$P_L$ と鉛直変位には有意な相関関係はみられなかった。




※右記以外の路線、中：復旧を行った路線、大：緊急工事、通行止めがあった

図-Ⅳ. 5. 2. 2. 19　$P_L$ 値と液状化被害ランクの関係

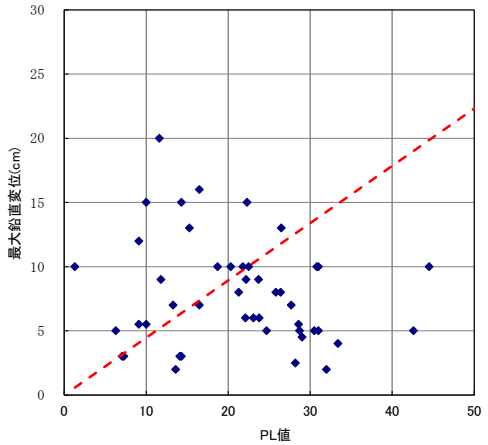


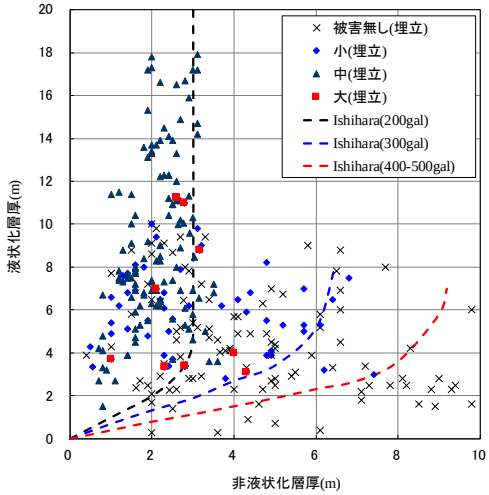

図-Ⅳ. 5. 2. 2. 20　$P_L$ 値と最大鉛直変位の関係

6)埋立履歴と液状化被害の関係について

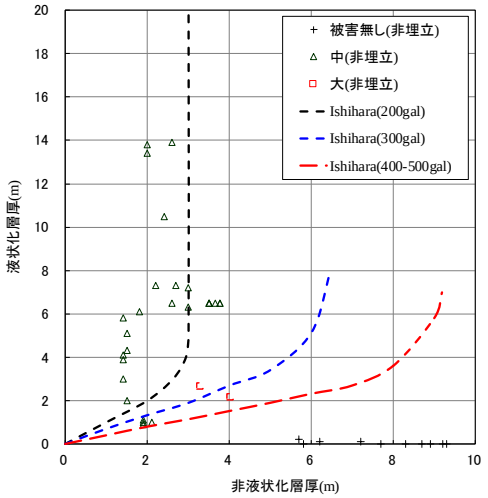
埋立造成履歴の資料等を用いて、液状化被害の程度と埋立履歴との関係について検討を行った。図-Ⅳ.5.2.2.21 に被害ランクを埋立・非埋立で細分した非液状化層厚と液状化層厚の関係のグラフを示す。

今回対象とした被害箇所は、埋立造成を実施した場所が多く、非埋立地点は Ishihara(200gal)のラインに概ね沿った結果となった。なお、非埋立の被害ランク「大」の地点は、最大加速度が 500gal の場所である。

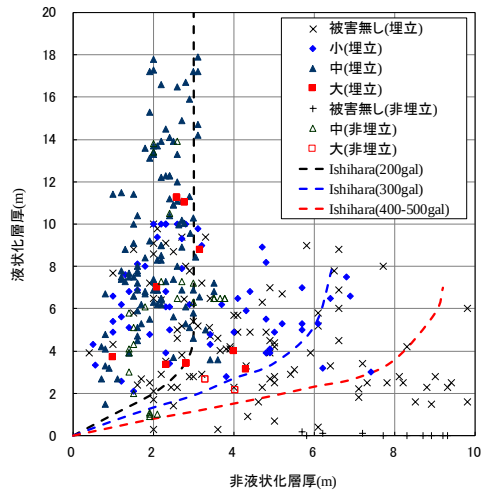
また、液状化層厚と最大鉛直変位の関係を埋立・非




(a) 埋立地盤のみ




(b) 非埋立地盤のみ




(c) 埋立地盤＋非埋立地盤

※右記以外の路線、中：復旧を行った路線、大：緊急工事、通行止めがあった

図-Ⅳ. 5. 2. 2. 21　液状化層厚と非液状化層厚との関係（埋立・非埋立を区分）

埋立で分類した図-Ⅳ.5.2.2.22 によると、有意な相関関係はみられなかった。

埋立年と液状化による被害ランクの関係を示す図-Ⅳ.5.2.2.23 によると、埋立年が新しい方が液状化による被害が生じやすいことが確認できる。

7)下水道管位置と液状化被害の関係について

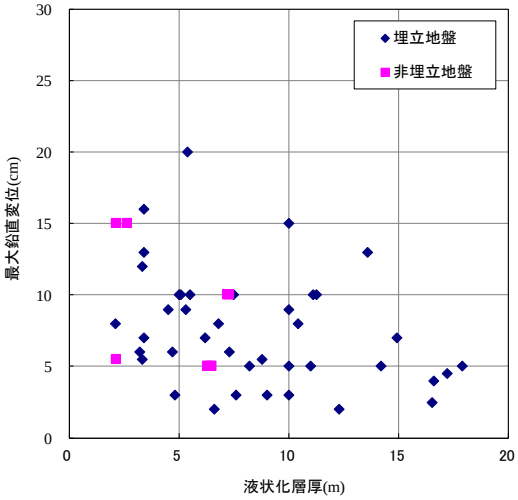



図-Ⅳ. 5. 2. 2. 22　液状化層厚と最大鉛直変位の関係
（埋立・非埋立で区分）

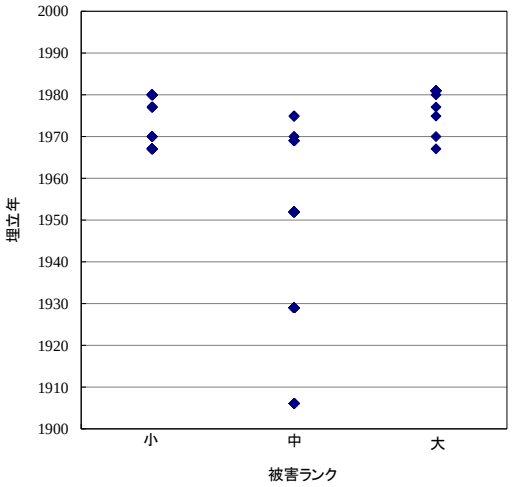
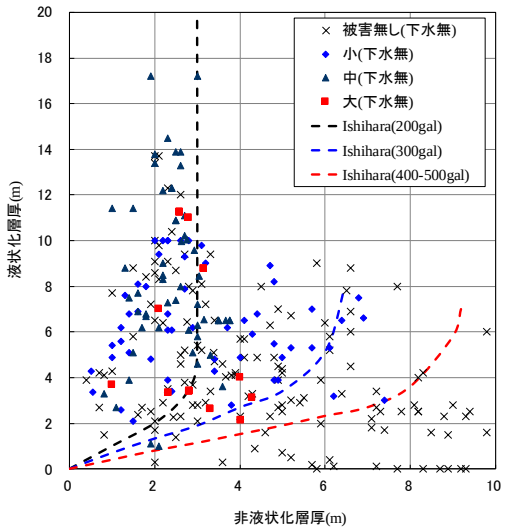



図-Ⅳ. 5. 2. 2. 23　埋立年と液状化被害ランクの関係

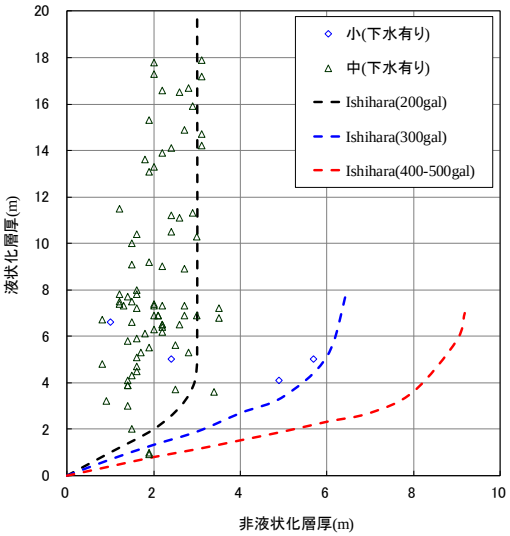
下水道管埋設の有無と液状化被害の関係について検討を行った。以下に被害ランクを下水道管の有無で細分した非液状化層厚と液状化層厚の関係のグラフを図-Ⅳ.5.2.2.24～図-Ⅳ.5.2.2.26 に示す。

分析結果より、下水道管が埋設されている地点の方が、液状化被害ランクの「中」被害が多く生じていることが分かった。

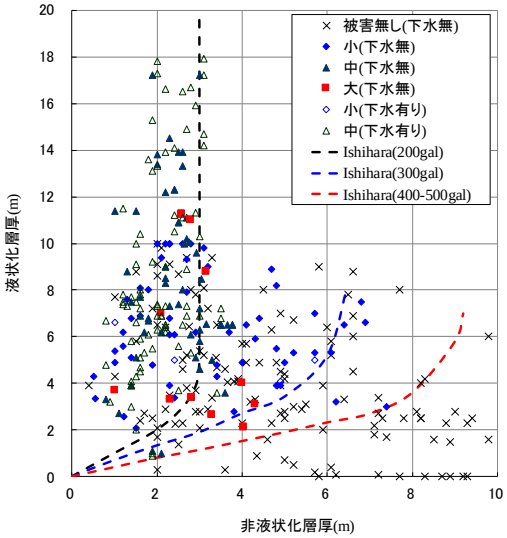
今回収集した資料は平面的な配置しか確認できず、設置深さや埋戻し材等の情報が得られなかった。設置深さや埋戻し材等の情報を得られれば、より進んだ検




(a)下水道無し




(b) 下水道あり




(c) 下水道無し＋下水道あり

小：右記以外の路線、中：復旧を行った路線、大：緊急工事、通行止めがあった

図-Ⅳ. 5. 2. 2. 24　液状化層厚と非液状化層厚との関係
（下水道無・下水道有を区分）

討を行うことができるものと考えられる。

また、非液状化層厚と最大鉛直変位の関係について下水道管の有無で区分を行ったが、有意な相関関係は得られなかった。

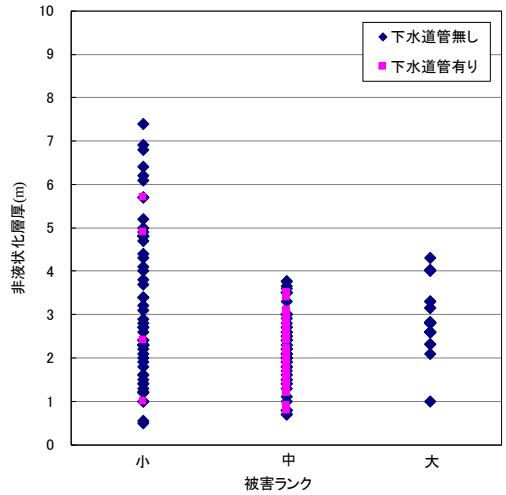



図-Ⅳ.5.2.2.25　非液状化層厚と液状化被害ランクの関係（下水道無・下水道有を区分）

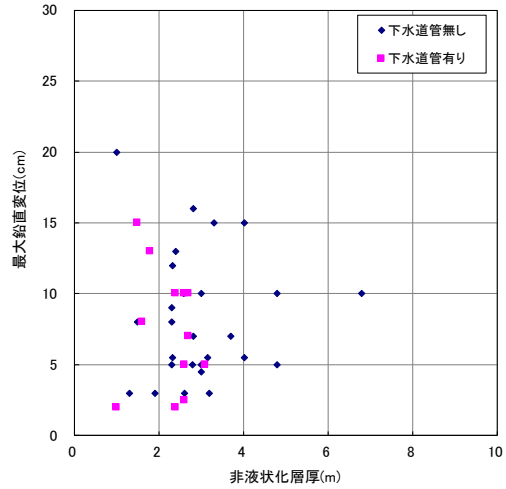



図-Ⅳ.5.2.2.26　非液状化層厚と最大鉛直変位の関係（下水道無・下水道有を区分）

8)道路周辺状況の影響について

道路周辺状況の影響について検討を行った。以下に周辺状況で細分した被害ランクと被害数および最大鉛直変位の関係のグラフを図-Ⅳ.5.2.2.27～図-Ⅳ.5.2.2.28に示す。

分析結果より、「中」分類の被害が生じた場所は住宅地および河川護岸の周辺環境が多いことが分かる。また、工業地帯では「小」分類の被害のみであった。

「大」分類の被害は平地でのみ発生している結果となっているが、これは国道245号線（日立市）のものであり、国道245号線は液状化による噴砂以外にも、津波による浸水の影響で通行止めになった区間があることに留意する必要がある。

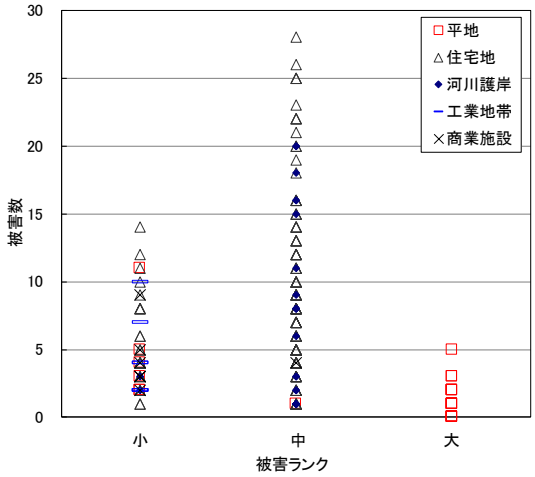



図-Ⅳ.5.2.2.27　被害ランクと被害数の関係（周辺環境で細分）

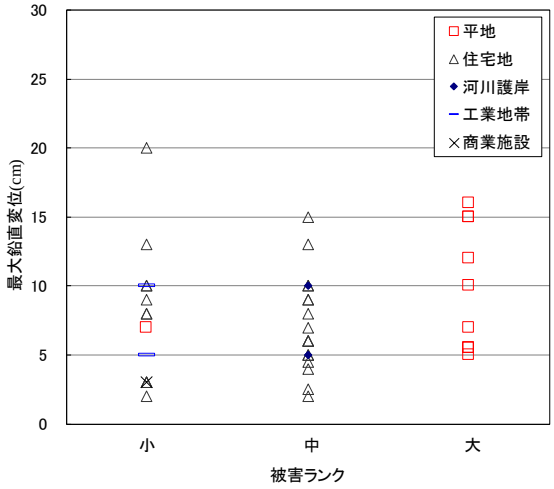



図-Ⅳ.5.2.2.28　被害ランクと最大鉛直変位の関係（周辺環境で細分）

### Ⅳ.5.2.3　まとめ

道路平面部の液状化被災状況に関する情報を収集し、被災状況等と道路構造、道路下の埋設物、地盤条件等との関係を整理し、各パラメタ間の相関分析した。今回の調査では、以下のような傾向が見られた。

- 非液状化層厚が概ね3m以上になると、液状化被害ランクの「中」および「大」の被害が減少する傾向がみられる。
- 舗装厚が0.6m以上で被害ランク「大」、0.8m以上で被害ランク「中」が生じておらず、舗装厚が1.2m以上では液状化被害が生じていなかった。
- 舗装厚が0.95m以上では鉛直変位10cm以上となる被害ランク「大」が生じておらず、舗装厚が概ね1.1m以上で液状化による被害（鉛直変位）が生じていな

かった。

- 100m に分割した区間内の被害数に着目すると、舗装厚が 0.3m 以上になると液状化による被害数が低減し、1.1m を超える区間では被害が確認されなかった。
- 地震動の最大加速度が大きい箇所においては、液状化に伴う路面の鉛直変位量も大きくなる傾向が見られた。
- 液状化指数 $P_L$ が大きくなると、道路の通行に着目した液状化被害ランク「小」よりも「中」が増加する傾向が見られるが、鉛直変位の発生との明確な相関は見られなかった。
- 埋立地盤・非埋立地盤の違い、下水道管埋設の有無、道路周辺状況の影響にも着目したが、液状化被害との明確な相関は確認できなかった。

参照文献


1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)、2012
2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、 2001
3) 独立行政法人都市再生機構：宅地耐震設計マニュアル(案), 2008
4) 塩野清治、弘原海晴、升本眞二：最適化原理による地層断面の推定、情報地質（11)、1986
5) 地盤工学会関東支部：新・関東の地盤、2014
6) 千葉県：千葉県地質環境インフォメーションバンク (http://wwwp.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index)
7) 国土交通省：国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」 (http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/)
8) 香取市：液状化対策検討委員会資料 (http://www.city.katori.lg.jp/03government/section/soumu/news/saigai-20110311.html)
9) 千葉市：千葉市液状化対策推進委員会資料 (http://www.city.chiba.jp/toshi/toshi/shigaichi/ekijoukaiinnkai.html)
10) 大川 浩志：国道 245 号災害復旧工事における液状化対策について、国土交通省関東地方整備局　平成 25 年度スキルアップセミナー関東 (http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000080075.pdf)
11) 千葉県：一般国道３５６号バイパスの復旧工事 (http://www.pref.chiba.lg.jp/gikan/kikaku/documents/08_01_3.pdf)
12) 香取市：-東日本大震災-香取市災害復興計画 (http://www.city.katori.lg.jp/02profile/plan/pdf/023/hukkou-keikaku.pdf)
13) 農業環境技術研究所：歴史的農業環境 WMS 配信サービス(http://habs.dc.affrc.go.jp/)
14) 浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査委員会 (http://www.city.urayasu.lg.jp/shisei/johokoukai/shingikai/shichoukoushotsu/1002796/1004688.html)
15) 地盤工学会：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル、1998
16) 千葉県香取土木事務所：一級河川小野川の復旧工事 (http://www.pref.chiba.lg.jp/gikan/kikaku/documents/08_02_3.pdf)
17) 国土交通省：ハザードマップポータルサイト（土地条件図）(http://disaportal.gsi.go.jp/totijouken/)
18) 浦安市：浦安市液状化対策技術検討調査報告書 第 3 編公共土木施設の被害・液状化対策 (http://www.city.urayasu.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/002/934/lasthoukoku03-1.pdf)

## Ⅳ.5.3　センサーを用いた道路橋の自動通行障害把握システムの開発

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識され、確実な緊急輸送道路の確保、整備が強く求められている。また、現在、国土交通省では災害復旧等の迅速化・効率化に関する ICT やロボット技術の活用へ向け、調査研究を行っている。そこで、センサー技術を活用し、道路における災害復旧等の迅速化・効率化を目指している。その内容を紹介する。

### Ⅳ.5.3.1　はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では多くの橋梁が被災し[1)、2)]、緊急輸送道路の早急な交通確保の重要性が再認識された[3)]。また、今後発生が懸念されている南海トラフ地震等の大規模地震に備え、確実な緊急輸送道路の確保、整備が強く求められている。特に大規模地震による損傷の恐れのある道路橋についてはハード対策だけでなく、迅速かつ効率的な道路啓開を可能にするためのソフト対策として地震後の道路橋の早急な被災状況把握が重要である。

そこで、大規模地震発生後に迅速かつ効率的に道路啓開を行うことを目的として、東日本大震災での道路橋の被災状況を分析し、地震後の道路橋の被災状況把握手法を検討してきている[4)~8)]。道路橋の通行障害を把握する計測手法については、実物大実験や長期観測を通して、具体的な仕様及び手法を検討した。また、試行フィールドとして構造形式等の異なる道路橋を抽出し、各橋梁の構造特性に応じた計測方法を具体化した。実際にそれらの橋梁に計測装置を設置して実験的観測を行うとともに取得データを分析し、計測技術の信頼性を検証した。

### Ⅳ.5.3.2　被災状況と通行障害の整理

東日本大震災後の東北地方整備局による緊急点検結果（直轄国道の本線橋 1,504 橋）を基に被災橋梁の構造特性や被災要因、通行障害等に着目して、被災状況との関連性について整理した。①「走行性に関する被災度」の被害があった 450 橋と②「耐荷力に関する被災度」の被害があった 153 橋の内訳を**表**Ⅳ.5.3.2.1 に示し、被災原因別の内訳を**図**-Ⅳ.5.3.2.2 に示す。なお、①と②の重複は 118 橋であり、①、あるいは②の全数は 485 橋である。**図**-Ⅳ.5.3.2.2 は、この 485 橋についての内訳を整理したものである。

**表-Ⅳ. 5. 3. 2. 1　被災橋梁の走行性に関する被災度と耐荷性に関する被災度の関係**

| 緊急橋梁点検 1,504橋 | | ②耐荷力に関する被災度 落橋 As | 大被害 A | 中被害 B | 小被害 C | 被害なし D | 合　計 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ①走行性に関する被災度 | 通行不可a | 11橋 | 1橋 | 5橋 | 3橋 | 9橋 | 29橋 | 450橋 |
| | 通行注意b | 1橋※1 | 12橋 | 15橋 | 70橋 | 323橋 | 421橋 | |
| | 被害なしc | 0橋 | 0橋 | 10橋 | 25橋 | 1,019橋 | 1,054橋 | |
| 合　計 | | 12橋 | 13橋 | 30橋 | 98橋 | 1,351橋 | 1,504橋 | |
| | | 153橋 | | | | | | |

※1：仮橋を設置後、「通行注意b」となっています。

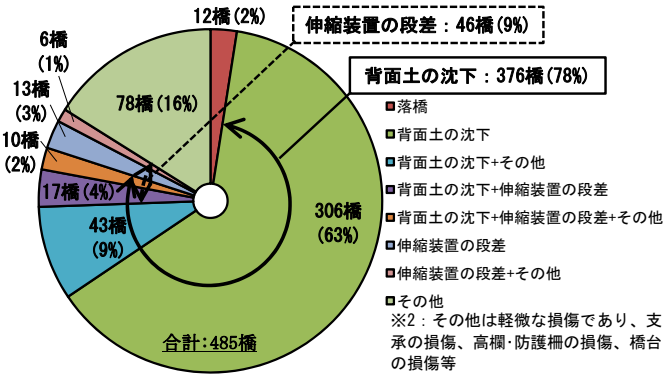



**図-Ⅳ. 5. 3. 2. 1　道路橋の被災原因別の内訳**

上記①の通行障害となった 450 橋のうち、「通行不可」となったものが 29 橋（落橋 11 橋、瓦礫の存置 10 橋、その他 8 橋）であり、「通行注意」となったものが 421 橋であった。「通行注意」のうち、「路面段差による通行注意」は 376 橋であり、「落橋による通行不可」は 1 橋、付属物等の損傷による「その他の通行障害」は 44 橋であった。「路面段差による通行注意」の 376 橋（図-Ⅳ.5.3.2.1 の※印より延べ数は 397 橋）は通行障害となっている 450 橋の 84%を占めている。

図-Ⅳ.5.3.2.1 より約 8 割が桁端支点部付近で変状が発生していることが分かり、東日本大震災では桁端支点部の変状（段差量等）を把握することで道路橋の殆どの通行障害を把握することにつながるという結果となった。

また、今回は通行障害の中でも「路面段差による通行注意」の 376 橋に着目し、これらについてフォールトツリー分析（以下「FTA」という。FTA は Fault Tree Analysis の略である。）を行い、被災要因を整理し、通行への影響度を分析した。なお、FTA は JIS C 5750-4-4 で故障の木解析といい、設定した頂上事象の発生原因、潜在的に発生の可能性がある原因又は発生要因を抽出し、頂上事象の発生条件及び要因の識別及び解析を行う手法である。FTA の結果、約 90%が橋台

背面アプローチ部で発生し、その要因は「橋台背面土の沈下･流出」であった。残り約 10%は桁端支点部で発生し、その要因は「伸縮装置の損傷」や「支承本体の損傷」であった。その内訳を図-Ⅳ.5.3.2.3 に示す。

以上を踏まえ、計測位置を絞り、経済性や効率化を図った道路橋の地震被災把握手法、システムの検討を行った。

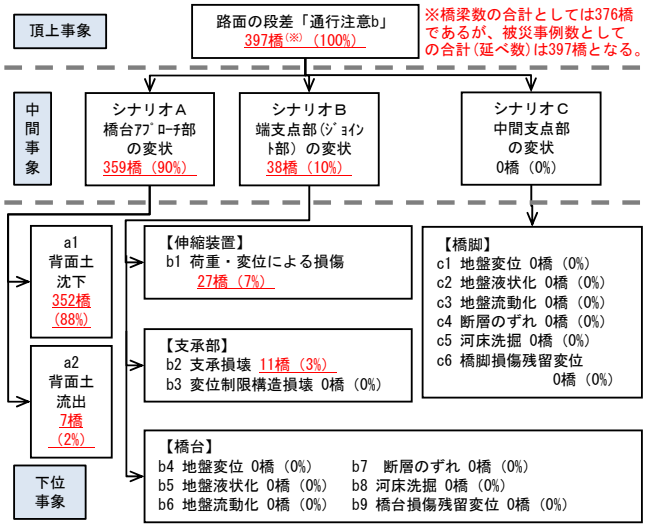



図-Ⅳ.5.3.2.3「路面段差による通行注意」の FTA 結果

### Ⅳ.5.3.3 地震被害による通行障害への影響

「路面段差による通行注意」の被災要因について、その変位量を整理し、橋梁被災による通行障害への影響を分析した。橋台背面土の車道部の段差量と舗装摺り付けの有無の関係について、表-Ⅳ.5.3.3.1 に整理した。その結果、橋台背面土の沈下において段差量 100mm 未満の場合で舗装摺り付け（応急復旧）をせずに車両が通行可能であったと推察される。これから、実際に通行可能であった段差量は 100mm 未満であったと推定できる。

次に、橋台背面盛土の沈下量と踏掛版の有無の関係について整理し、その結果を図-Ⅳ.5.3.3.1 に示す。こ

表-Ⅳ.5.3.3.1 車道部橋台背面土の沈下量と舗装摺り付けの有無

| | 舗装摺り付けの有無 | | |
|---|---|---|---|
| 背面土の段差量 | 有り | 無し | 合　計 |
| 50mm未満 | 22 橋 | 64 橋 | 86 橋 |
| 50mm以上～100mm未満 | 14 橋 | 17 橋 | 31 橋 |
| 100mm以上～150mm未満 | 3 橋 | 0 橋 | 3 橋 |
| 150mm以上～200mm未満 | 2 橋 | 0 橋 | 2 橋 |
| 200mm以上 | 3 橋 | 0 橋 | 3 橋 |
| 合　計 | 44 橋 | 81 橋 | 125 橋 |

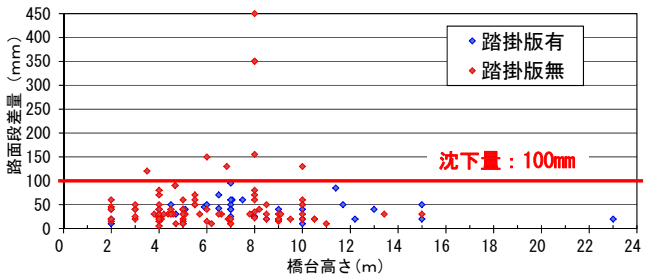



図-Ⅳ.5.3.3.1 橋台背面土の沈下量と踏掛版の有無

れより、踏掛版が設置されている橋梁では 100mm 以上の段差が発生しておらず、踏掛版設置による段差量の低減効果と考えられる。なお、表-Ⅳ.5.3.3.1 及び図-Ⅳ.5.3.3.1 は、表-Ⅳ.5.3.3.1 の①b の 323 橋のうち、車道部に段差が発生し、沈下量が明らかな橋梁 125 橋を対象としている。

### Ⅳ.5.3.4 被災把握技術の検討

本研究で開発している計測技術にて取得する計測値は、災害発生後の道路管理に活用するため、有効かつ確実な情報を取得することが必要である。道路橋の橋台背面アプローチ部の沈下量（段差量）は、地震被害で最も多く発生する可能性がある被害であるが、その計測方法は確立されたものがない。また、桁端部の変位量は環境条件に応じて、理論値により算定できるものが殆どであるが、車両荷重のように積載重量が規定値以上となることで予測困難なこともあり、その影響を把握する必要がある。そこで、これらを検証するために、本節では実大実験、あるいは実橋による実験を行った結果を説明する。

#### (1) 橋台背面アプローチ部の計測技術検証

本研究で開発した道路橋の被災状況把握手法に用いた計測装置は、経済性に優れ、確実に計測できる接触型のワイヤー式変位計とした。しかし、桁端支点部（桁端部）に設置する変位計とは違い、橋台背面アプローチ部の計測については道路交通の影響を避けるために盛土内に計測装置を設置する必要がある。その計測精度等の確認が必要であるため、図-Ⅳ.5.3.4.1 のように盛土内に設置した橋台背面アプローチ部の計測装置の沈下板が地盤の沈下に追従し、正確に道路面の段差量（沈下量）を計測できるかを構内での実物大実験により検証した。その結果、図-Ⅳ.5.3.4.2 に示すように計測装置の沈下板の地盤沈下に対する追従性を確認できた。その沈下板の形状の違いによる沈下追従性の大き

な差異は発生しなかった。検証結果を踏まえ、後述する試行設置にて用いた橋台背面アプローチ部の計測装置の仕様を表-Ⅳ.5.3.4.1 に示す。

(2)　道路橋の桁端支点部(桁端部)の計測精度検証

実際に設置された計測装置は、外部環境条件（電力、温度、湿度、風、紫外線、雨水、車両荷重、動植物及びその排泄物、凍結、粉塵、塩分、材料特性（コンクリートのクリープ、乾燥収縮））の影響を受けることにより計測誤差の発生が考えられる。本研究ではこれらの外部環境条件のうち、特に影響が大きいと想定される温度変化や車両荷重、雨水、電力について検証を実施した。その検証内容と結果は、表-Ⅳ.5.3.4.2 の通りである。なお、温度変化や車両荷重の検証は、影響が大きくなると考えられる鋼橋であり、一般的な橋梁形式（2 径間連続鋼非剛性鈑桁橋、橋長 89m）の道路橋で行った。電力については、Ⅳ.5.3.5 にて詳述する。

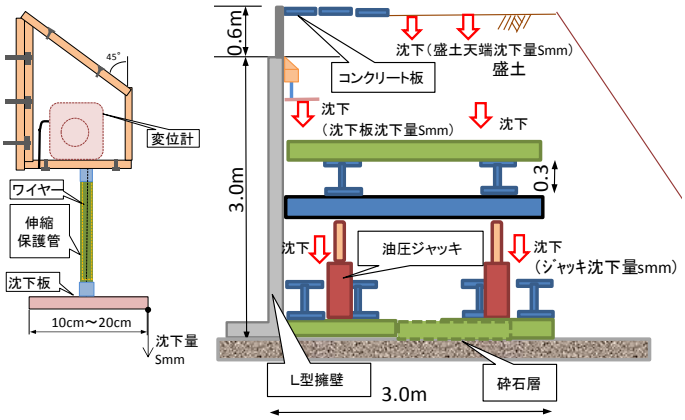



図-Ⅳ.5.3.4.1　橋台背面アプローチ部の計測装置概要図（左）と実物大実験概要図（右）

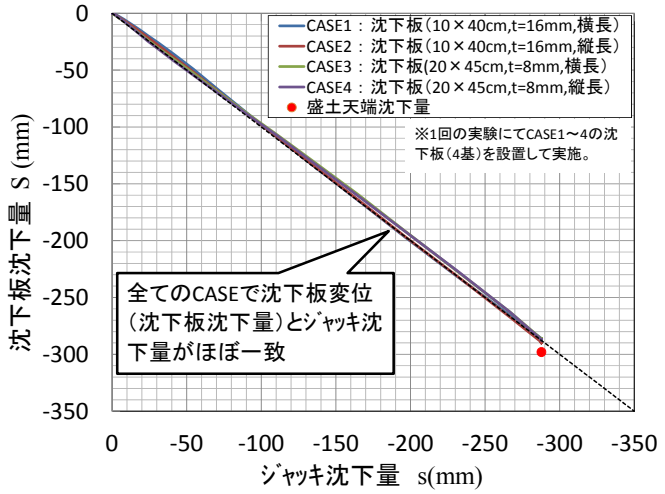



図-Ⅳ.5.3.4.2　実物大実験結果

表-Ⅳ.5.3.4.1 橋台背面アプローチ部の計測装置仕様

| | |
|---|---|
| 特　長 | 大容量，可変抵抗式 |
| 取付方法 | 橋台背面の保護BOXに固定 |
| ワイヤー長 | 0～1000mm |
| 出力抵抗 | 0～10kΩ |
| 精　度 | 1mm |
| 沈下板形状 | □200mm、t＝16mm |
| 沈下板重量 | 5kg以上 |

まず、桁の温度変化による変位量（橋軸方向）と理論値（計算値）の誤差は殆どなく、その結果は図-Ⅳ.5.3.4.3 の通りである。この理論値である温度変化による桁の伸縮量$\Delta l_t$は道路橋示方書 [9]の式(1)により算定した値である。

$$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l \qquad (1)$$

ここで、$\Delta T$は気温の変化量、$\alpha$は鋼の線膨張係数（$1.2\times10^{-5}$）、$l$は伸縮桁長（89m）である。

次に、交通荷重による水平変位量（橋軸方向）については図-Ⅳ.5.3.4.4 に示すように実測値は 2mm 程度であり、軸方向の閾値 100mm 程度及び理論値（計算値）6mm 程度に対して小さいことが確認できた。なお、理論値（計算値）とは活荷重たわみによる移動量$\Delta l_r$を式(2)により算定した値である。

$$\Delta l_r = \frac{1}{2} \cdot h \cdot \theta \qquad (2)$$

ここで、$h$は桁高（1,900mm）、$\theta$は桁の回転角（道路橋支承便覧 [10]の表-3.4.7.より 1/150 とした。）である。

雨水に対する防水機能については、計測装置の変位計内に浸水しないかを確認した。通常の降雨を想定した散水試験では浸水は確認されず、特に問題はなかったが、水中に浸した場合では変位計内への浸水が確認された。これより設置時の防水対策の必要性を再確認することができた。

表-Ⅳ.5.3.4.2　計測装置の検証内容と検証結果

| 対象項目 | 環境条件 | 検証内容 | 検証結果 |
|---|---|---|---|
| ①桁変位 | 温度 | 温度変化による変位量 | 橋軸：最大 9mm（理論値は 10mm）<br>理論値と整合している<br>鉛直：1mm 未満 |
| | 車両荷重 | たわみ（桁端回転）による水平変位 | 最大換算値 3mm（理論値は 6mm） |
| | | たわみ（桁端回転）による鉛直変位 | 最大 0.1mm程度 |
| ②計測装置の作動 | 常時 | 恒温・同変位による値の変化 | 変化は生じない |
| | 温度 | 温度による影響 | -5℃～50℃：問題ない |
| ③計測装置の防水 | 雨水 | 計器内への水の浸入<br>（散水試験・水中試験） | 散水試験：問題ない<br>水中試験：ｾﾝｻｰ内に浸水確認 |
| ④太陽光パネルの妥当性 | 太陽光 | 電圧低下量 | 12.5V 以上を確保<br>（使用限界電圧：11.5V） |

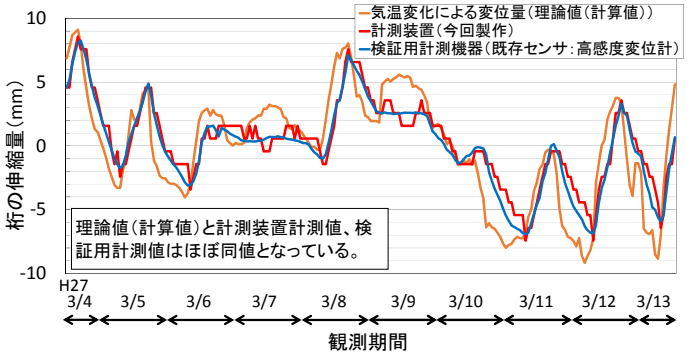



図-Ⅳ.5.3.4.3　温度変化による計測誤差の検証結果

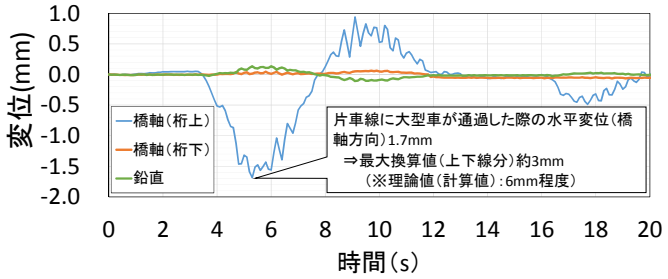



図-Ⅳ.5.3.4.4　交通荷重による計測誤差の検証結果

### Ⅳ.5.3.5　道路橋被災把握システムの構築

前述した検討結果を踏まえ、道路橋の地震被害や通行障害を面的情報としてリアルタイムに把握し、その情報を道路管理者等へ発信するシステム（図-Ⅳ.5.3.5.1）の構築を行った。また、道路橋の被災状況把握装置を試行フィールド（5 橋、図-Ⅳ.5.3.5.2）に実装して試行運用を開始した。

(3) 被災状況把握の信頼性確保のための対応

東日本大震災時には停電や光ケーブルの断線、電話回線の不通・混線等が発生し、情報収集機能が麻痺し、被災状況把握に時間を要した。地震等の災害時にリアルタイムで情報を入手するためには、地震発生時の計測手法・計測値の確実性だけでなく、電源確保、通信確保といった基本的な機能が重要となる。

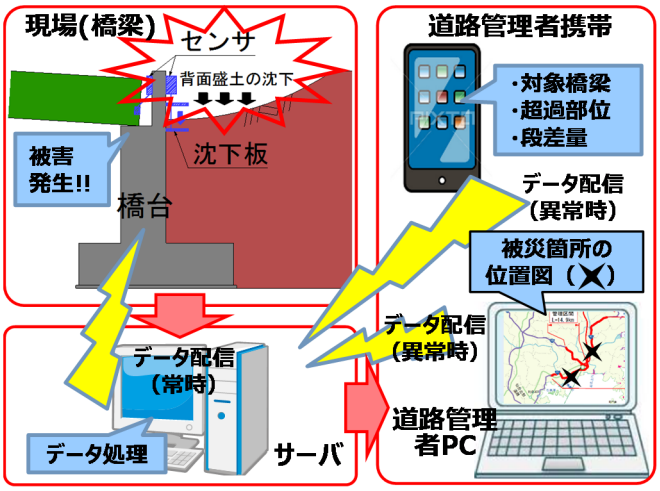



図-Ⅳ.5.3.5.1　システム概要

これを踏まえ、災害時の電源・通信確保の具体策としてシステムを確実に稼動させるために必要な電源確保（太陽光発電及び風力発電）について、国総研構内及び試行フィールドにおいて検証した。その結果、日照時間・発電量との関係は図-Ⅳ.5.3.5.3 の通りとなり、6w の太陽光パネルでは必要な使用電圧 12V を下回り、60w であれば大きく上回る。風力発電の場合は発電をしない場合とほぼ同様の電圧低下の状況となった。これより本研究で構築したシステムに必要な電力は約 30W であることを確認した。また、風力発電ではシステム稼働時に必要な発電量が得られず、太陽光発電の方が確実かつ十分な発電量が得られることを確認した。通信確保については、東日本大震災時の被災事例を踏まえ、携帯電話網だけでなく光回線も利用できるシステム仕様としてリスク低減を図った。




図-Ⅳ.5.3.5.2　試行フィールドでの設置事例（上段：計測装置設置状況、下段：各試行フィールドの遠景）

(4) 被災情報の可視化

震後対応は、入手した被災情報を容易に理解できるように分かりやすく表示することが重要となる。本システムでは、道路管理者が被災情報を容易に理解できるように各部材･部位での変位量に対して閾値を設け、その入手情報を基に、①津波による被害（落橋）、②通行不可（警告）、③通行注意の 3 段階にランク分けして表示することとした。被災情報（変位量）については、橋梁のどの部材や方向に対して発生したのかを容易に理解できるように、一般図や定期点検結果等と照らし合わせて被災情報を確認できる画面構成とした。具体のイメージを図-Ⅳ.5.3.5.4 に示す。

また、大規模地震発生後には地震被害や渋滞等の影響で震後点検等を迅速にできないことが想定され、被災発生から道路利用者への情報提供までに空白時間が生じることが考えられる。そこで、図-Ⅳ.5.3.5.5 のように地震発生後の被災状況をリアルタイム情報として迅速に道路利用者へ知らせるための路側警報装置（標示板）も提案した。

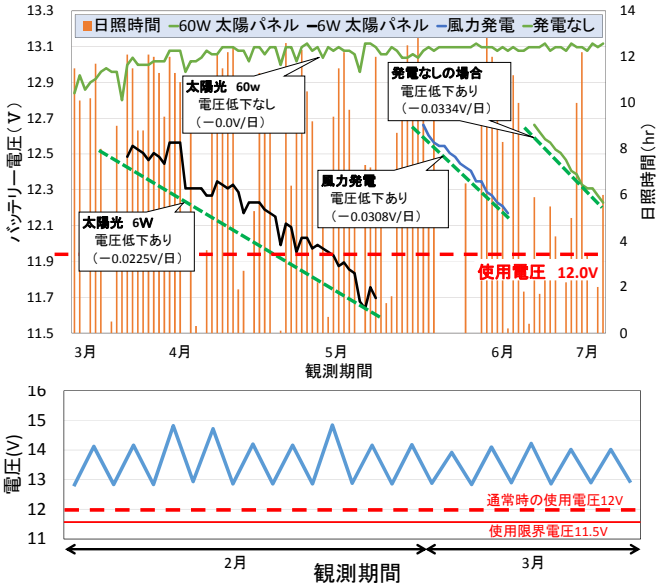



図-Ⅳ.5.3.5.3　風力発電と太陽光発電の検証結果（上図：構内実験、下図：試行フィールドでの太陽光パネル発電（32W）の実証実験）

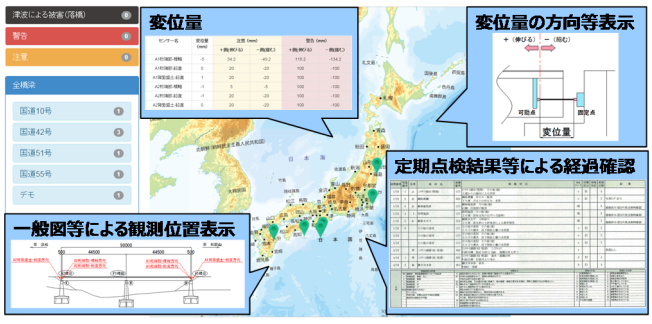



図-Ⅳ.5.3.5.4　被災状況の表示画面イメージ




図-Ⅳ.5.3.5.5　標示板設置事例

## Ⅳ.5.3.6　まとめ

今回、地震による橋梁の通行障害を把握するには橋台背面アプローチ部と桁端支点部に着目した変位計測が有効であると確認でき、その結果を踏まえ、地震後の橋梁における被災の発生部位・部材に着目して道路橋の被災状況把握装置を試行フィールドに実装して試行運用を開始した。今後も試行フィールドでの観測を継続して計測状況等を整理・分析し、改良を重ねながら確実性及び信頼性の高い道路橋の地震被災把握技術を確立していきたいと考えている。

その上で、本成果を現場での地震災害時の対応に活用させていきたいと考えている。ただし、この被災状況把握装置を全国の橋梁に設置することは無理である。そこで、耐震補強を実施しなければならない橋梁のうち施工条件や予算上の制約から耐震補強の実施時期が見通せない橋梁や、被災橋梁のうち本復旧までに長期間を要する橋梁等に対し、道路橋被災把握システムは有効であると考えられるため、引き続き、技術向上を図っていきたい。

また、ICT 技術の普及や新技術･新材料の開発が日々進んでいるため、新たな技術を取り入れることも検討し、道路管理者が緊急点検で得る情報と同等の情報を入手できるように研究を進めていきたい。さらには、今後、各方面において、それらの新技術・新材料を道路管理の場に取り入れられることも想定できるため、その際の検証方法の確立に資する検討をしていきたいと考えている。

謝辞：本研究での被災調査に関する資料収集やヒアリング、試行フィールドへの計測装置の設置等にあたっては、国土交通省北海道開発局、東北地方整備局、関東地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

参照文献


1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報、国総研資料 No.646、土研資料 No.4202、2011.7
2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告、国総研資料 No.514、土研資料 No.4295、2014.12
3) 国土交通省東北地方整備局：東日本大震災の実体験に基づく災害初動期指揮心得、2013
4) 梶尾辰史、金子正洋、長屋和宏：地震後の道路橋の通行障害に関する調査、第 30 回日本道路会議論文集、No.2037、2013.10
5) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司：地震発生時の道路橋の被災状況把握技術の開発、国総研レポート、pp.76、2015
6) 松本幸司、長屋和宏、梶尾辰史：道路橋の地震被害計測技術の研究、土木技術資料、pp.44-45、2015.5
7) 伊藤茂也、貴志豊、梶尾辰史：道路橋の地震被災状況把握技術の研究事例、第 31 回日本道路会議論文集、No.2P05、2015.10
8) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司：変位計による道路橋地震被災把握システムの開発に関する考察、第 6 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集、pp.118-123、2016.1
9) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説　I 共通編、2012
10) 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧、2004

## Ⅳ.5.4　道路啓開優先路線の選定法に関する検討

東北地方太平洋沖地震では，地震及びその後の津波により道路機能が大きな範囲（ネットワーク全体）で被害を受けた。津波により運ばれた大量のガレキが道路上を覆ったため、救急車等の緊急車両が被災地域内を走行できるよう、ガレキを除去する「道路啓開」がクローズアップされ、その必要性が再認識された。

道路は消火活動や負傷者の救出といった災害時の対応行動を行う各機関にとって、連絡、輸送、移動等に無くてはならないインフラであり、道路管理者にはこれら災害時に対応する機関等の要求に応じた迅速な啓開・復旧が求められる。

しかしながら、災害時対応する各機関の要求は様々であり、道路啓開・復旧が要求に即したものである必要がある。

Ⅳ.5.4.1では、東北地方太平洋沖地震において実際に対応した各機関の状況と道路啓開状況を時系列で比較することにより道路啓開作業を検証し、課題の抽出を試みた[1)]。

Ⅳ.5.4.2では、地震時において緊急に必要とされる機能に着目して、道路ネットワークの区間の重要度についての評価手法を検討した。また、それを応用し道路啓開の優先路線(区間)を抽出するための手法の開発を行った[2),3)]。

Ⅳ.5.4.3では、首都直下地震等の都市部での大規模地震で大量のガレキが発生することが想定されるため、既往のガレキ発生量の予測式を改良すると共に、放置車両の発生台数の予測式を作成した[4)]。

### Ⅳ.5.4.1 現地調査に基づく道路啓開状況と避難所物資供給状況の関係分析

本項では、避難所において避難者に供給される、水・食料に注目して、道路啓開状況と物資供給量の関係について調査の説明を行う。

(1) 調査の進め方

まず、東北地方太平洋沖地震により開設した避難所へのヒアリング調査により避難者数及び、供給物資量（水・食料）の充足した時期と道路啓開状況を確認し、道路の啓開状況と，避難所における供給物資量（水・食料）の充足期の間に何らかの関係があるか確認した。(図-Ⅳ.5.4.1.1参照)

次に、より詳細に道路啓開と供給状況を確認するため、時間フェーズで確認出来る物資の需要（計画）と供給の図 (図-Ⅳ.5.4.1.1調査イメージ) を作成し道路啓開の各段階でどのように、需給バランスに影響を与えたか確認した。

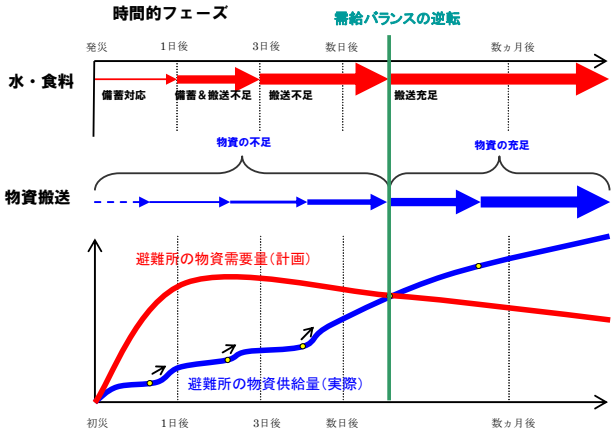



図-Ⅳ.5.4.1.1　調査イメージ

(2) 調査対象避難所

発災直後から開設された避難所を調査対象とし、収容人員の大きいもののうち地形区分、道路啓開時期の違うものとして山田町（山田高校)、女川町（総合体育館)、山元町（中央公民館）の３箇所を選定した。図－Ⅳ.5.4.1.2に選定した避難所の位置図及び一覧表を示す。




国土交通省東北地方整備局 HP より抜粋

図-Ⅳ.5.4.1.2　避難所位置図

表-Ⅳ. 5.4.1.1 避難所一覧表

◆調査対象避難場所

| 県名 | 市町村 | 避難所 | 収容人数 | 地域区分 | 道路啓開時期 |
|---|---|---|---|---|---|
| 岩手県 | 山田町 | 山田高校 | 1267名 (3/20) | リアス式 | 3/15(臨時搬入路開設) |
| 宮城県 | 女川町 | 総合体育館 | 779名 (5/11) | リアス式 | 3/18(R398) |
| 宮城県 | 山元町 | 山元町中央公民館 | 500名 (5/11) | 平野部 | 3/11(仙台方面) |

(3) 道路啓開時期と供給量（水・食料）充足時期の関係

選定された避難所の運営者、特に支援物資管理者に対してヒアリングをおこない、物資の充足時期の確認を行った。ヒアリング結果をまとめたものを表-Ⅳ.5.4.1.2に示す。

表-Ⅳ．5.4.1.2　ヒアリング結果

| | | 山田町<br>山田高校 | 女川町<br>総合体育館 | 山元町<br>中央公民館 |
|---|---|---|---|---|
| 道路啓開時期 | | 3/15頃～<br>臨時搬入路開設 | 3/18頃～<br>R398啓開 | 仙台方面<br>交通遮断なし |
| 避難者数 | 被災直後 | 1,100人 | 1,600人 | 1,500人 |
| | 最大 | 1,277人(3/14) | 2,500人(3/12) | 1,500人(3/11)※ |
| | 物資充足期(食料) | 4/7 | 4/12 | 4/10 |
| | 避難者数 | 662人(4/7) | 750人(4/12) | 900人(4/7) |
| | 物資充足期(水) | 3/28に通水 | 3/25に通水 | 4/6に通水 |
| | 避難者数 | 693人(3/31) | 750人(4/12) | 900人(4/7) |

※資料では1500人だが、ヒアリングでは4,000人近くいたとの発言もあった。

表-Ⅳ.5.4.1.1より、食料の充足期については啓開の必要のなかった山元町（中央公民館）と道路啓開が一番遅れた女川町（総合体育館）では、大きな差はない結果となっている。これは、山元町では避難所に入らず食事だけ支援を受けていた方が、被災直後で4,000人以上いたということもあり、交通が遮断されなかったことにより食料を求めて人が集まり、避難者数と食料を供給した人数が一致していないことが考えられる。山田町と女川町の比較では道路啓開が早かった山田町の方が若干充足時期は早くなっていることが確認できる。

水については、上水道の損害の程度が把握できていないこと、各避難所の条件が違うことがあり、また井戸水で対応していたという人もいる。以上の要因から、通水時期と啓開時期の関係について統一的に比較することは出来なかった。

(4) 需給バランスと道路啓開との関係

道路啓開状況の細かい事項が比較的確認出来た山田町について、食料に対する需要と供給の時間的な連関図に道路啓開作業の進捗とを重ねたものを図-Ⅳ.5.4.1.3に、道路の啓開状況を図－Ⅳ.5.4.1.4に示す。図-Ⅳ.5.4.1.3の作成においてはヒアリング及び資料収集により避難者数、避難所での食料供給量を確認した。また、需要（計画）については避難者数に岩手県の地域防災計画に記述されている「被災者：1食当たり精米200ｇ」から、一日当り朝夕2食として400ｇ/日・人で換算して入力した。

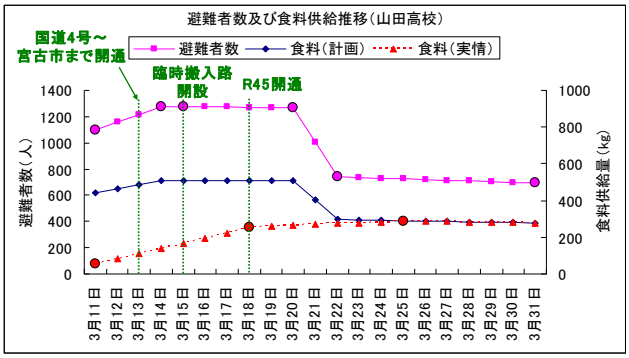



図-Ⅳ．5．4．1．3　道路啓開と食糧の需給との関係




図-Ⅳ．5．4．1．4　道路の啓開状況

図-Ⅳ.5.4.1.3より，啓開が3/11～3/18頃の間でほぼ終了しており、その間に需要（計画）と供給のギャップは少しずつ縮小していることが確認できた。また、避難者の数もそれぞれの輸送ルートの道路啓開が完了後、減少に転じている。

以上のことから道路啓開によって、本格的な輸送が行われ供給が回復するとともに、移動困難だった避難者の退所によって需要も減少し、需給ギャップの解消がなされた可能性が指摘できる。ただし、避難者の退所のきっかけには、移動先の確保など種々の理由が考えられ、道路啓開の完了がどの程度避難者の移動を促したのは不明である。

(5) 調査の課題

効率的に道路啓開・復旧を行うには、各災害対応機関の行動について十分な把握が必要である。

この調査において、道路の啓開状況と避難所での食料の供給状況を中心に調べたが、輸送手段は道路を利用した車両だけでなく船舶、航空機、ヘリ等多数存在する。

避難所では当然ありとあらゆる手段で物資輸送、情報収集等を行うので道路啓開が直接避難所の機能に影響していたかは確認が難しかった。また災害対応活動を行うのは自衛隊から各行政機関、各ボランティア等多くの機関、団体が関係しており。そこから避難所のように受け手の施設に物資が供給される。このため供給の受け手の施設のみの調査では物資の流れの真相の究明は難しいことが解った。

## Ⅳ.5.4.2　災害対応行動に基づいた道路ネットワーク重要度評価と啓開優先路線選定に関する検討

前項では、避難先の観点から道路ネットワークに求められる機能を検討しようとした。本項では、地震後の被災者支援のために実施される活動を地域防災計画等の公的な防災関連計画をもとに整理した上で、それらの活動を実施するために、どの様な人・物質がどの様に移動するかを把握し、その移動のために地震後、道路ネットワークに求められる内容を検討した。

また、その検討をベースに地震時において緊急に必要とされる機能に着目した道路ネットワークの路線・区間の重要度についての評価手法の検討について説明する。

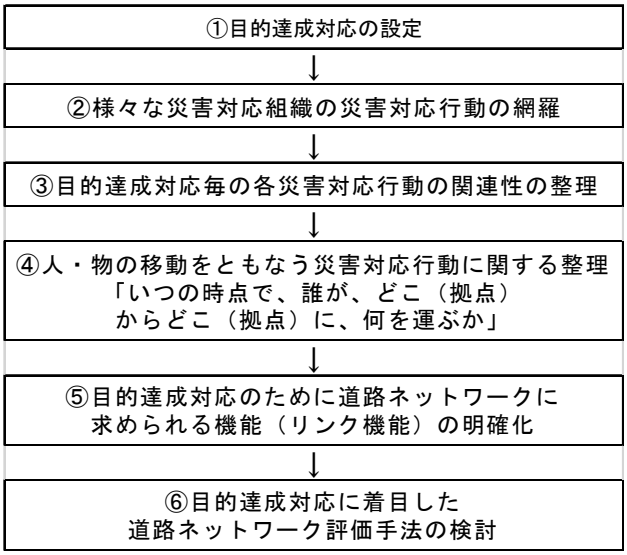
(1) 研究の進め方

最初に、地震発生時に被災した人を援助するための目的を達成するための対応（以下「目的達成対応」という。）について設定した。次に、援助を行う組織(災害対応組織)を抽出し、各組織の地震発生時の行動(災害対応行動)を網羅して書き出した。そして、災害対応行動を目的達成対応毎に集約し、各災害対応行動の関連性を時間的、空間的に整理した。さらに、災害対応行動のうち、人・物の移動をともなうものを抽出し、抽出された各災害対応行動について、「いつの時点で、誰が、どこ（拠点）からどこ（拠点）に、何を運ぶか」について整理した。

続けて、具体的な地域において、人・物の移動をともなう災害対応行動の拠点を道路ネットワーク上におとし、拠点と拠点を結ぶために必要な道路を整理することで、目的達成対応のために、地震後の各時点において道路ネットワークに求められる機能（リンク機能）について明らかにした。

この道路ネットワークに求められる機能は、目的達成対応毎に整理させることになり、各目的達成対応に求められる機能（リンク機能）を重ね合わせることにより、重なりが多い道路ネットワークの区間ほど重要度が高い等、道路ネットワークの各区間の重要度の評価に用いることができる。

研究の進め方のフロー図を図-Ⅳ.5.4.2.１に示す。




図－Ⅳ.5.4.2.１　研究の進め方のフロー図

(2)目的達成対応の設定

災害対応行動は、多数の災害対応組織によって多種多様に実施されるが、各災害対応行動は被災した人を援助するという目的のために実施される。ここでは、多数の災害対応行動を目的に着目して分類・整理するために、目的達成対応を設定した。

この目的達成対応は、災害対応行動の整理をするときに基本となる単位であり、一つの目的達成対応に複数の災害対応行動が存在する。災害対応行動の関連性の時間的、空間的な整理は、目的達成対応毎に行うこととしている。この様に整理することにより、各々の災害対応行動が、被災した人を援助する目的のために、それぞれどの様に貢献しているかが、わかりやすく整理される。

以下、目的達成対応の設定を示す。

まず、災害対応を実施する国、都道府県、市町村、防災関係機関等の１２４機関の災害対応行動の概要を、防災業務計画、地域防災計画、任意の計画及び公開文献（東日本大震災の対応実績等）から収集した。ここでは、幅広い機関から情報を収集することを主目的とし、災害対応行動に関する情報は概要にとどめた。

次に、収集した災害対応行動の概要を、防災基本計画に災害応急対策として記される９分類を用いて整理をした。整理は、９分類をさらに細分類した２０細分類について、１２４機関毎に災害対応行動がカバーしている範囲を示すことで行った。

ここで、災害応急対策９分類（２０細分類）を表-Ⅳ.5.4.2.1 に示す

表-Ⅳ.5.4.2.1　災害応急対策９分類の概要

| | |
|---|---|
| 1. 発災直後の情報の収集・連絡及び活動体制の確立 | |
| | 1－1. 被害状況把握、地域・関係機関への情報伝達 |
| | 1－2. 職員の参集・活動体制の確立 |
| | 1－3. 通信の確保 |
| 2. 救助・救急、医療及び消火活動 | |
| | 2－1. 救護、医療、転搬送活動 |
| | 2－2. 救出・救助、捜索活動 |
| | 2－3. 消防活動、危険物・毒劇物の保安活動、その他災害予防活動 |
| 3. 緊急輸送のための交通の確保・緊急輸送活動 | |
| | 3－1. 交通・車両の確保 |
| 4. 避難収容及び情報提供活動 | |
| | 4－1. 避難支援・安全確保 |
| | 4－2. 広報 |
| | 4－3. 災害時要援護者対応 |
| | 4－4. 被災自治体支援、被災者生活支援 |
| 5. 物資の調達、供給活動 | |
| | 5－1. 物資の調達・供給、人員の確保、物資・人員の輸送 |
| 6. 保健衛生、防疫、遺体の処理等に関する活動 | |
| | 6－1. 遺体の取扱い |
| 7. 秩序の維持、物価の安定等に関する活動 | |
| | 7－1. 治安の維持 |
| | 7－2. 金融に関する措置 |
| | 7－3. 証券に関する措置 |
| 8. 応急復旧及び二次災害・複合災害の防止活動 | |
| | 8－1. 業務継続 |
| | 8－2. 災害復旧・復興 |
| 9. 自発的支援の受入れ | |
| | 9－1. ボランティア |
| | 9－2. 海外からの支援受入れ |

１２４機関から、それぞれが、災害応急対策９分類（２０細分類）についてカバーしている範囲を考慮して、文献調査等を実施する３０機関（表-Ⅳ.5.4.2.2）を抽出した。この３０機関に関して、① 法定計画、② 任意の防災関連計画、③ 東日本大震災等における対応実績の公開文献、④ ヒアリング調査による入手資料により、災害対応行動の具体的な内容について情報を収集し整理した。また、このうち１１機関については、ヒアリング調査を実施することにより災害対応行動に関する情報を収集した。

表-Ⅳ.5.4.2.2　文献調査等を実施した機関

| No. | 分類 | 機関 |
|---|---|---|
| 1 | 行政関係機関 | 警察庁 |
| 2 | | 消防庁 |
| 3 | | 厚生労働省 |
| 4 | | 国土交通省 |
| 5 | | 海上保安庁 |
| 6 | | 日本赤十字社 |
| 7 | | 高速道路 |
| 8 | | 空港 |
| 9 | | 旅客鉄道 |
| 10 | | ガス |
| 11 | | 日本通運(株) |
| 12 | | 電力 |
| 13 | | 通信 |
| 14 | 地方公共団体管内関係機関・団体 | 岩手県 |
| 15 | | 市町村 |
| 16 | | 災害拠点病院(公立・民間) |
| 17 | | (社)岩手県医師会 |
| 18 | | 社会福祉協議会 |
| 19 | | 報道・メディア |
| 20 | | 農林漁業組合 |
| 21 | 民間事業者(物流・倉庫業) | トラック事業者 |
| 22 | | タクシー事業者 |
| 23 | | バス事業者 |
| 24 | | 海運会社 |
| 25 | | 港湾事業者 |
| 26 | | 航空会社 |
| 27 | | 倉庫業者 |
| 28 | 民間事業者(小売業) | コンビニエンスストア |
| 29 | | スーパーマーケット |
| 30 | | 薬局 |

収集した情報をもちいて、３０機関の災害対応行動を、行動の関連や目的に着目して集約し目的達成対応を設定した。ここで、目的達成対応は、全ての災害対応行動をカバーする様に設定し、それらを災害応急対策９分類により分類した。目的達成対応数の 45 項目を明示した一覧を、表-Ⅳ.5.4.2.3 に示す。

表－Ⅳ.5.4.2.3　目的達成対応の一覧

| 防災基本計画による災害応急対策の内容 | |
|---|---|
| | 目的達成対応 |
| 1 発災直後の情報収集・連絡及び活動体制の確立 | |
| | 1-1 発災直後の情報収集・連絡及び活動体制の確立 |
| 2 救助・救急、医療及び消火活動 | |
| | 2-1 救急救命 |
| | 2-1-1 初期救急救命体制の確立(48 時間以内) |
| | 2-1-2 救命のタイムリミット(72 時間以内) |
| | 2-1-3 救急・救命体制の維持 |
| | 2-2　医療 |
| | 2-2-1 初期医療体制の確立(48 時間以内) |
| | 2-2-2 透析等各疾患者への医療サービスの提供体制確立 |
| | 2-2-3 避難所等への診療体制の確立 |
| | 2-2-4 患者の後方輸送(被災地外への輸送) |
| | 2-2-5 心療サービスの提供 |
| | 2-3 消防 |
| | 2-3-1 被災地域内の消火体制確立 |
| | 2-3-2 被災地域外の応援態勢確立 |
| 3 緊急輸送のための交通の確保・緊急輸送活動 | |
| | 3-1 交通確保 |
| | 3-1-1 啓開対応の体制確立 |
| | 3-1-2 交通規制の体制確立 |
| | 3-2 緊急輸送活動 |
| | 3-2-1 輸送体制の確立(被災地外) |
| | 3-2-2 輸送受入体制の確立(被災地内) |
| 4 避難収容及び情報提供活動 | |
| | 4-1 避難所 |
| | 4-1-1 避難所の開設及び維持体制の確立(生命) |
| | 4-1-2 避難所の開設及び維持体制の確立(保健衛生) |
| | 4-1-3 避難所の開設及び維持体制の確立(メンタル) |
| | 4-1-4 情報提供 |
| | 4-2 福祉避難所 |
| | 4-2-1 福祉避難所の開設及び維持体制の確立(生命) |
| | 4-2-2 福祉避難所の開設及び維持体制の確立(保健衛生) |
| | 4-2-3 福祉避難所の開設及び維持体制の確立(メンタル) |
| | 4-2-4 情報提供 |
| 5 物資の調達、供給活動 | |
| | 5-1 生活維持のための食糧・生活用品 |
| | 5-1-1 被災地内物資調達体制の確立(人員、車両確保) |
| | 5-1-2 被災地側の受入体制確立(広場、仕分ける人員確保) |
| | 5-2 生活再建に向けた応急仮設住宅 |
| | 5-2-1 被災地内物資調達体制の確立(人員、車両確保) |
| | 5-2-2 被災地側の受入体制確立(広場、仕分ける人員確保) |
| | 5-3 インフラを補完する応急給水 |
| | 5-3-1 被災地内物資調達体制の確立(人員、車両確保) |
| | 5-3-2 被災地側の受入体制確立(広場、仕分ける人員確保) |
| 6 保健衛生、防疫、遺体の処理等に関する活動 | |
| | 6-1 保健衛生 |
| | 6-1-1 ゴミ処理体制の確立 |
| | 6-1-2 屎尿処理体制の確立 |
| | 6-2 防疫 |
| | 6-2-1 防疫体制の確立 |
| | 6-3 遺体の処理 |
| | 6-3-1 検死体制の確立 |
| | 6-3-2 身元確認のための体制確立 |
| | 6-3-3 遺体の最終処分のための体制確立 |
| 7 秩序の維持、物価の安定等に関する活動 | |
| | 7-1 秩序の維持 |
| | 7-1-1 警邏実施体制の確立 |
| | 7-2 物価の安定 |
| | 7-2-1 物価の安定のための体制の確立 |
| 8 応急復旧及び二次災害・複合災害の防止活動 | |
| | 8-1 道路　8-2 河川　8-3 上水道　8-4 下水道<br>8-5 電気　8-6 電話(NTT 回線)　8-7 ガス |
| 9 自発的支援の受入 | |
| | 9-1 災害ボランティア受入体制の確立 |

(3) 目的達成対応毎の災害対応行動の関連性の整理

目的達成対応毎に、災害対応行動の関連性の時間的、空間的な整理を行う。

最初に、岩手県の地域防災計画を用いて、計画内の災害対応行動を全て網羅して整理した。岩手県の地域防災計画を使用した理由は以下のとおりである。

①東日本大震災により大きな被害を受けた県の一つである

②特に沿岸部では津波により大きな被害を受け、被災者支援のため、人・物資が、内陸部から沿岸部へ広域的に移動したこと

③東日本大震災後に地域防災計画が改訂され、東日本大震災から得られた教訓を活かして大規模地震時に対応した内容になっていること

岩手県の地域防災計画には、岩手県のみならず、市町村、指定行政機関、指定公共機関、等の各防災関係機関の災害対応行動が記されており、岩手県内で被災者を支援する組織の災害対応行動は概ね網羅して記されている。また、他機関の防災に関する活動計画も必要に応じて使用し、情報の不足を補った。

次に、整理した災害対応行動を目的達成対応毎に分類した。分類された災害対応行動を、縦軸に災害対応組織、横軸に地震後の経過時間をとり、災害対応行動間の時間的な関連性を整理した。

図-Ⅳ.5.4.2.2 に目的達成対応「2-1 救急救命（2-1-1 初期救急・救命体制の確立、2-1-2 救命のタイムリミット、2-1-3 救急・救命体制の維持)」について整理した事例を示す。各災害対応組織の災害対応行動が互いに関連しながら時間の経過とともに一番上の行に記す目的達成対応に集約されていく様子が示されている。続けて、災害対応行動の空間的な関連性を整理した。図-Ⅳ.5.4.2.2 で整理した災害対応行動のうち、人の移動をともなうものを抽出して、それぞれの行動がどこからどこに移動するのかに着目し、空間的な関連性を整理した。ここで、人の移動の範囲は、被災地域内外との位置関係がわかるように整理している。その事例を図-Ⅳ.5.4.2.3 に示す。

図-Ⅳ.5.4.2.3 から、目的達成対応「2-1 救急救命」を達成するための一連の災害対応行動を、直接援助する場所（図-Ⅳ.5.4.2.3 では「被災現場」）における災害対応行動、「被災現場」にいたるまでの災害対応行動、「被災現場」から離れながら被災した人の援助を継続する災害対応行動に分

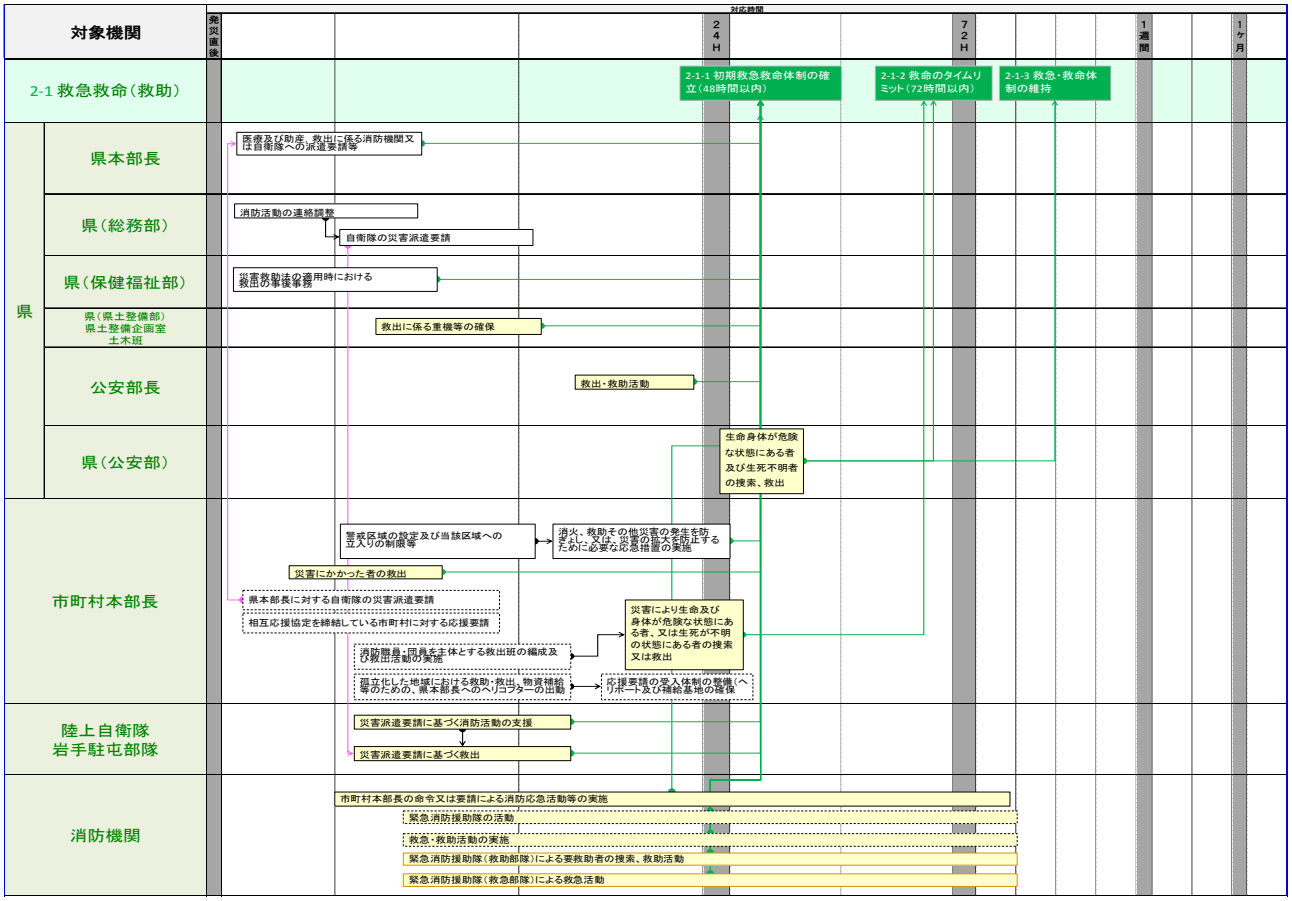



図-Ⅳ.5.4.2.2　災害対応行動間の時間的整理
目的達成対応「2-1 救急救命（2-1-1 初期救急・救命体制の確立、
2-1-2 救命のタイムリミット、2-1-3 救急・救命体制の維持）」

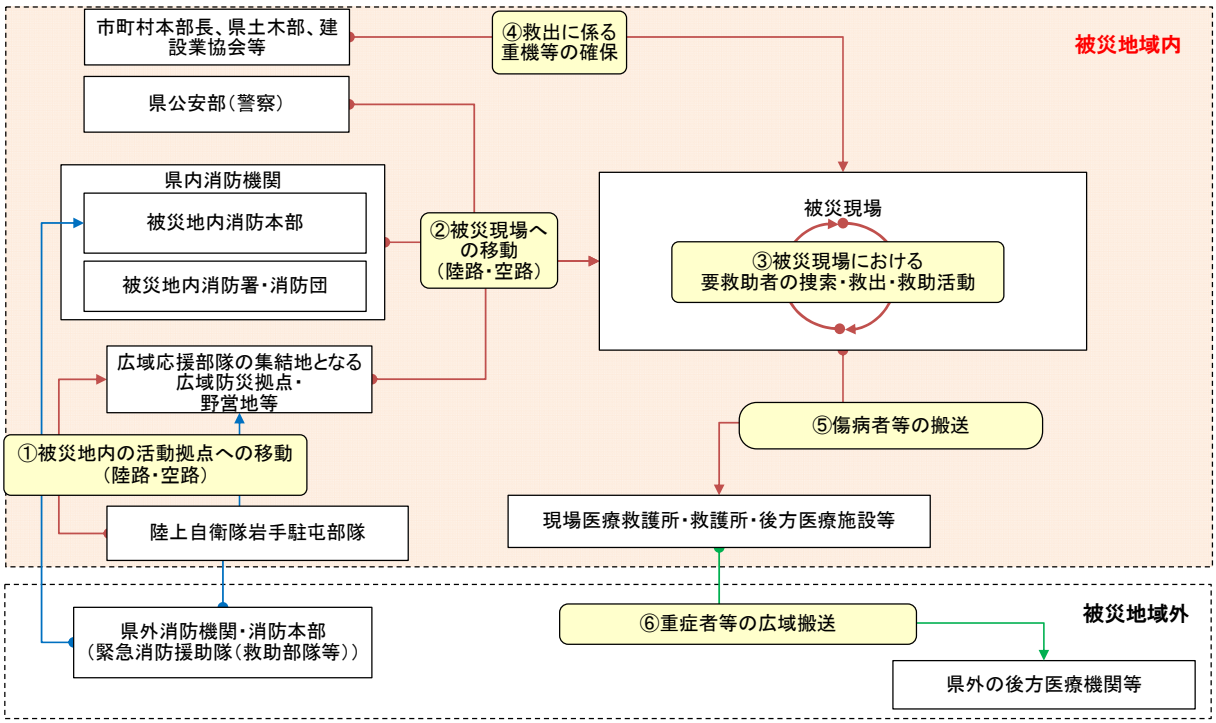



図-Ⅳ.5.4.2.3　災害対応行動の空間的な関連性の整理
目的達成対応「2-1 救急救命（2-1-1 初期救急・救命体制の確立、
2-1-2 救命のタイムリミット、2-1-3 救急・救命体制の維持）」

類し、空間的な関連性を把握することができる。ここで、この目的達成対応「2-1 救急救命」による貢献度は、「援助される被災者の人数」により評価することができ、その数は、直接援助する場所「被災現場」における被災者数から把握することができる。

同様の作業を表-Ⅳ.5.4.2.2で整理した全ての目的達成対応の45項目うち、人・物の空間的移動が伴わない災害対応行動が大半を占めることが明らかな「１発災直後の情報の収集・連絡及び活動体制の確立」「７秩序の維持、物価の安定等に関する活動」「９自発的支援の受入」にある４つの項目を除いた４１の目的達成対応について行った。

(4)　人・物の移動を伴う災害対応行動に関する整理

(3)で整理した結果を用いて、表-Ⅳ.5.4.2.4 に目的達成対応「2-1 救急救命」について人の移動をともなう災害対応行動を整理した結果を示す。例えば、災害対応行動「①被災地内の活動拠点への移動」では３つの該当する移動があり、陸上自衛隊岩手駐屯部隊が駐屯地から広域防災拠点へ、県外消防機関が消防本部から広域防災拠点へ、県外消防機関が消防本部から被災地内消防本部へ、発災直後～２４時間後までに、それぞれ移動していることがわかる。ここで、表-Ⅳ.5.4.2.4 の表頭に記載している「時間」は、各災害対応行動がそれまでに行われなければならない時間を示しており、「災害発生から７２時間が経過すると生存率が急激に低下する」ことを考慮して設定されている。災害対応行動⑤、⑥は７２時間までに行われる必要があるし、被災者を捜索する時間を考えると被災現場への到着（②～④）は２４時間までに行われることが必要である。また、①の行動についても、被災現場への移動を考えると２４時間より早い時間に行われる必要がある。

表-Ⅳ.5.4.2.4 の整理により、目的達成対応毎に、どの様な人・物の移動が必要となるかが具体的に明らかになった。特にどこ（拠点）からどこ（拠点）に移動する必要があるかは、道路ネットワークにおいてどこ（拠点）とどこ（拠点）が地震後も移動できる状態にある必要があるかと、関連づけて整理することができる。

同様の作業を表-Ⅳ.5.4.2.2で整理した全ての目的達成対応のうち、人・物の空間的移動が伴わない災害対応行動が大半を占めることが明らかな４つを除いた４１の目的達成対応について行った。

(5)　目的達成対応に着目した道路ネットワークの評価方法

目的達成対応のための災害対応行動のうち人・物の移動をともなうものに関して、その移動のために道路がどの様に役立つか（移動できるように連結しているか）に着目して道路ネットワークを評価することを試みる。

災害対応行動のうち人・物の移動をともなうものについては、(2)で表-Ⅳ.5.4.2.4 のように整理した。ここで整理した「どこ（拠点）からどこ（拠点）へ」は、拠点の種類の組み合わせを示したものであり、実際の現場においては、ほとんどの種類の拠点は複数存在する。道路ネットワークにおいて拠点間（「どこ（拠点）からどこ（拠点）へ」）の連結性について整理する場合は、どちらも複数の拠点であることを前提とした連結性について評価することになる。

**表－Ⅳ.5.4.2.4　人・物の移動をともなう災害対応行動の整理**

**目的達成対応「2-1 救急救命（2-1-1 初期救急・救命体制の確立、2-1-2 救命のタイムリミット、2-1-3 救急・救命体制の維持）」**

| | 誰が | どこから | 誰に | どこへ | 行動 | 何を | 発災直後 | 発災直後～24時間 | 24時間～72時間 | 72時間～1週間 | 1週間～1か月 | 1か月以降 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 陸上自衛隊岩手駐屯地 | 駐屯地 | 広域応援部隊 | 広域防災拠点 | 被災地域内の活動拠点への移動 | 応援部隊 | | ○ | | | | |
| | 県外消防機関（緊急消防援助隊（救助部隊等）） | 消防本部 | 広域応援部隊 | 広域防災拠点 | 被災地域内の活動拠点への移動 | 応援部隊 | | ○ | | | | |
| | 県外消防機関（緊急消防援助隊（救助部隊等）） | 消防本部 | 県内消防機関 | 被災地内消防本部 | 被災地域内の活動拠点への移動 | 応援部隊 | | ○ | | | | |
| ② | 県公安部（警察） | | 要救助者 | 被災現場 | 被災現場への移動 | 人 | | ○ | | | | |
| | 県内消防機関 | 被災地内消防本部 | 要救助者 | 被災現場 | 被災現場への移動 | 人 | | ○ | | | | |
| | 広域応援部隊 | 広域防災拠点 | 要救助者 | 被災現場 | 被災現場への移動 | 人 | | ○ | | | | |
| ③ | 救助者 | 被災現場 | 要救助者 | 被災現場 | 被災現場における要救助者の捜索・救出・救助活動 | 人 | | ○ | | | | |
| ④ | 市町村本部長 | | 要救助者 | 被災現場 | 救出に関わる重機等の確保 | 重機 | | ○ | | | | |
| ⑤ | 医療救護班 | 被災現場 | 疾病者等 | 現場医療救護所・救護所・後方医療施設等 | 疾病者等の搬送 | 疾病者 | | | ○ | | | |
| ⑥ | 医療救護班 | 現場医療救護所・救護所・後方医療施設等 | 重傷者等 | 県外の後方医療拠点 | 重傷者等の広域搬送 | 重傷者 | | | ○ | | | |

この複数の拠点と複数の拠点について、連結する組み合わせ（１拠点と１ないし複数拠点）を設定し、ある一つの組み合わせについて連結する道路ネットワーク上の道路を抽出する。抽出は、例えば「拠点と拠点を最短経路で連結する」などのルールにより行う。抽出された道路は、ある一つの組み合わせのために必要な道路である。これを、全ての組み合わせについて行うことにより、ある災害対応行動について必要な道路を抽出することができる。道路ネットワークの区間について着目すると、必要とされる組み合わせの数が多いほど、より重要な区間であると評価することができる。

以上の作業を他の災害対応行動に関しても実施し、それらを合わせて評価することにより、ある目的達成対応に関して、必要な道路を抽出したり、道路の各区間の重要度について評価したりすることができる。

以下、岩手県の緊急輸送道路を対象として、道路ネットワークを評価した事例を図-Ⅳ.5.4.2.4～Ⅳ.5.4.2.7 を用いて説明する。

まず、図-Ⅳ.5.4.2.4 に岩手県内の緊急輸送道路のネットワークを示す。緊急輸送道路は、災害時の救助・救急・医療・消火活動及び避難者への緊急物資の供給等に必要な人員及び物資等の輸送を行うため、高速自動車国道、一般国道及びこれらを連絡する幹線的な道路、さらに、これらの道路と地方公共団体の庁舎、緊急支援物資の備蓄地点、広域避難地等を連絡する道路をあらかじめ道路管理者により「緊急輸送道路ネットワーク計画等策定要領」に基づき指定しているものである。図-Ⅳ.5.4.2.4 の太い線が緊急輸送道路を示し、細い線は緊急輸送道路以外の一般国道、主要な県道を示す。

続けて、図-Ⅳ.5.4.2.5 に、緊急輸送道路ネットワークとある災害対応行動に関する拠点の分布を示す。対象とした災害対応行動は、表-Ⅳ.5.4.2.3 の目的達成対応「３－１交通確保」の災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」であり、拠点「被災地外の県の地方支部」から拠点「被災地域内の市町村役場」への移動が計画されている。

ここで、被害の想定は東日本大震災と同じ被害とした。岩手県では東日本大震災の時に、特に東側の沿岸部において主に津波による大きな被害を受けており、被災地域外の県の地方支部（□印）は内陸側に、被災地域内の市町村役場（○印）は沿岸部に分布している。

図-Ⅳ.5.4.2.6 は、災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」に必要な道路を示したものである。ここで、拠点「県の地方支部」と拠点「市町村役場」の組み合わせはお互いの距離が近いものとし、「最短経路で連絡する」ルールにより拠点間を結ぶ道路を選択した。また、拠点を結ぶ道路の重なりの程度を、道路ネットワークの区間の線の太さで表現した。　図-Ⅳ.5.4.2.6 に示される道路が、災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」に必要な道路となり、線の太さが太いほど重要な区間として評価される。ここで、目的達成対応「３－１交通確保」に関連する他の災害対応行動について同様の作業を行い、結果を重ね合わせて表示することで、目的達成対応「３－１交通確保」に必要な道路、区間毎の重要度を評価することができる。また、災害対応行動毎に、例えば表-Ⅳ.5.4.2.4 に示すように移動する時間帯が示されているため、移動する時間帯毎に、災害対応行動を集約することにより、時間帯毎に必要な道路を示すことができる。

図-Ⅳ.5.4.2.7 は、道路ネットワークのある区間と、それに関連する拠点を示したものである。太線で示した区間は、１つの「県の地方支部」と３つ「市町村役場」と関連づけられる。これは、太線で示した区間が地震後に不通となった場合に、３つの「市町村役場」が災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」を受けることができなくなることを示している。同様の作業は他の区間でも行うことができ、道路の各区間が貢献している拠点について明らかにすることができる。

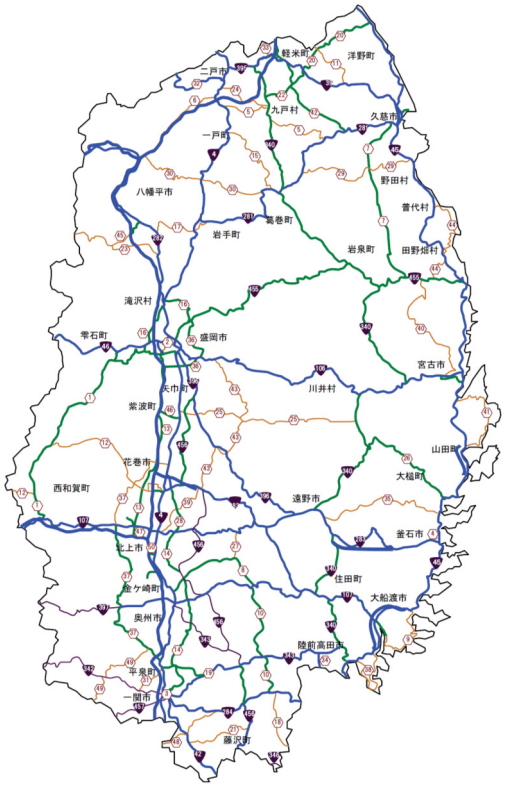


図-Ⅳ.5.4.2.4
岩手県内の緊急輸送道路ネットワーク

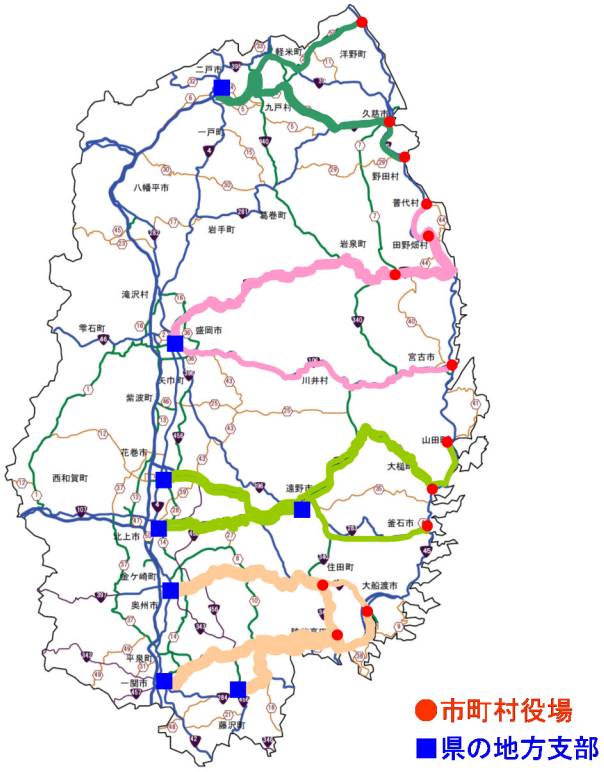



図-Ⅳ.5.4.2.6　災害対応行動に必要な道路
災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」

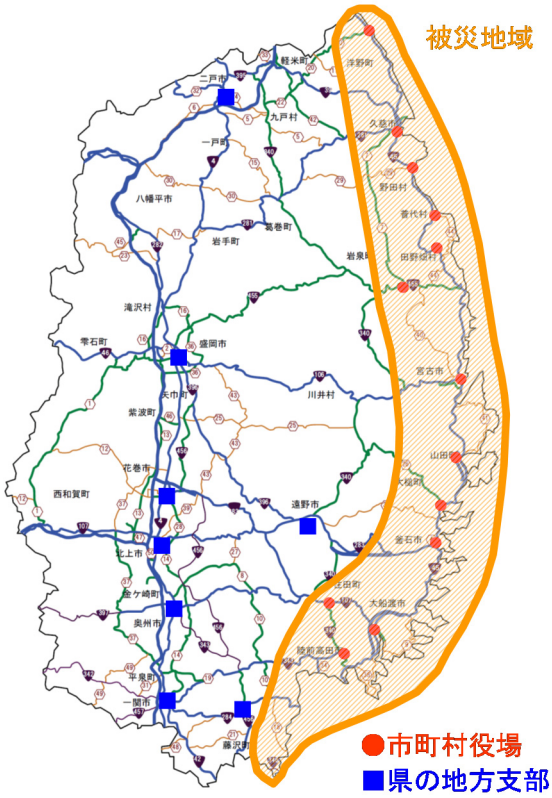



図-Ⅳ.5.4.2.5
緊急輸送道路上の災害対応行動の拠点の分布
災害対応行動「道路啓開応援のための人の移動」

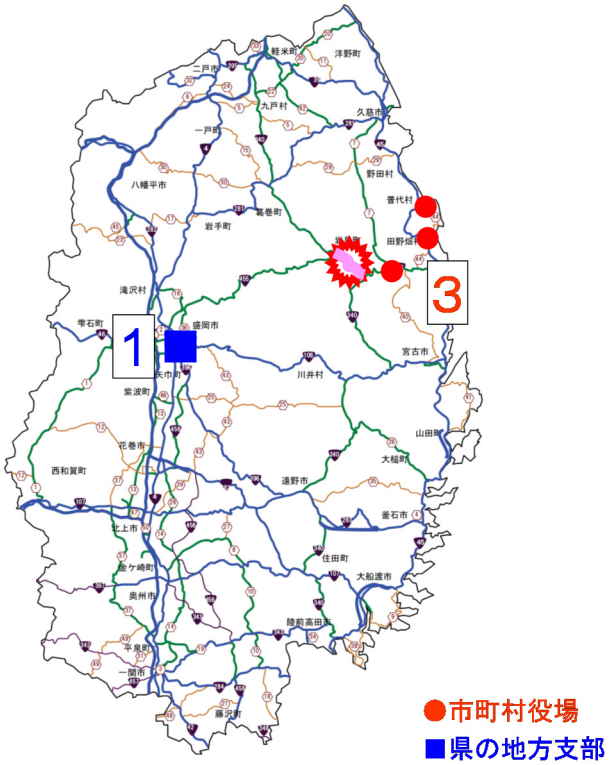



図-Ⅳ.5.4.2.7
道路ネットワークの区間と関連する拠点

(6) 道路啓開優先路線(区間)選定手法の開発

(5)では災害対応行動について拠点間の最短経路を重ねて表示させ、重ね合わせられた経路の数が比較的多いものを「災害対応行動」に必要な道路として評価する手法を検討した。

さて、実際の災害時における緊急輸送道路の道路啓開の順序についての詳細な定めは無く、各地方整備局での道路啓開計画策定で改めて、啓開ルートの選定と啓開の順序設定が行われている状況である。そこで、ここではこういった道路啓開計画策定の際に定量的且つ視覚的に道路啓開の優先度を検討する手法として(5)の手法(図-Ⅳ.5.4.2.6 にあるように災害対応行動ごとの拠点間の最短経路を重ね合わせ、重なり合った災害対応行動の数に応じて道路の必要性を評価する手法)を改良することについて説明する。

ここでは(5)の成果をベースに発災直後～3 時間後、3 時間後～24 時間後、24 時間後～72 時間後までの 3 つの時間帯において、災害対応行動の最短時間経路と対応必要人数から道路啓開の優先度を評価し、道路啓開を優先して行う路線(区間)を抽出する手法の検討を行った。

1)ネットワーク評価に際しての災害対応行動の集約

①集約の概要

(5)で検討した手法では、一つの災害対応行動でも拠点の数だけの経路を扱う必要があり膨大であるため、ここでは現場での適用のしやすさを考慮し、最短経路の重なり具合が極端に変わらない範囲で災害対応行動の集約(抽出)を試みた。

集約(抽出)は、図－Ⅳ.5.4.2.8 のフローにより岩手県をモデルとして行った。災害対応行動は地域防災計画等の各種防災計画を元に定義づけしており、タイムスパンも発災後 1 ヶ月以降のタイミングで行われる行動も含まれている。ここでは道路啓開の目的に鑑み、災害発生後 72 時間後までの多くの災害対応行動の中(段階 A)から、中継拠点を経由する行動(トリップチェーン)を考慮した集約(段階 B)を行い、次に被災者の「人命を救う」ことに直結する代表的なものを抽出(段階 C)し、さらに「人命を救う」ために重要と考えられるものを抽出した上で、組み合わせを変え(④で後述)、最短経路の重なり具合の変化について感度分析をした上で集約(段階 D)を行った。

その結果、災害対応行動は 114 行動から 31 行動まで集約出来た。

②段階Bでの集約

段階Bではトリップチェーンとして人の移動だけでなく、モノ(支援物資等)の移動についても着目し、空間的ダイヤグラムを作成した上で集約化を行った。図-Ⅳ.5.4.2.9に救命救急や緊急輸送活動の例を示す。自衛隊や消防隊は被災現場である市町村の外から被災現場まで駆けつける際、広域防災拠点や当該市町村内の消防本部を中継基地としており、被災現場までの一連の行動をひとつの災害対応行動として集約するものである。緊急輸送活動においても、緊急輸送物資の避難所までの一連の移動や、物資の仕分けをする担当者の仕分けを行う体育館までの一連の移動をひとつの災害対応行動として集約した。

③段階Cでの集約

段階Cでは「人命を救う」ことに直結する代表的な行動として、「救急救命(救助)」「医療(処置)」「消防(消火・警戒)」「緊急輸送活動」に分類され

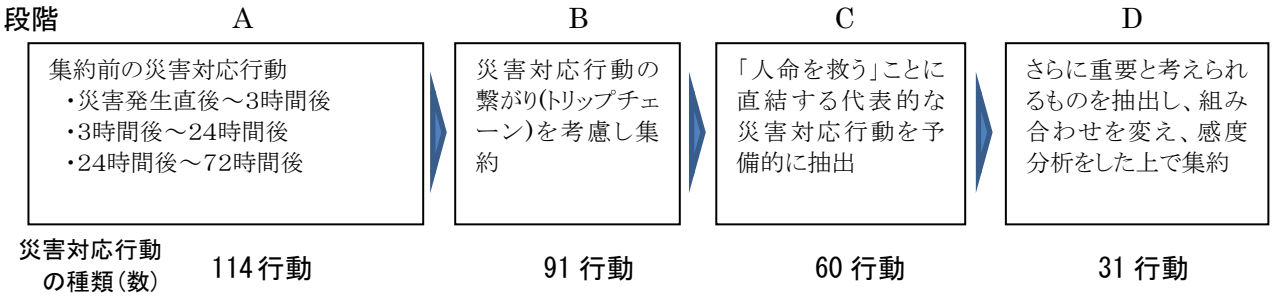



図-Ⅳ.5.4.2.8　災害対応行動の集約化の過程

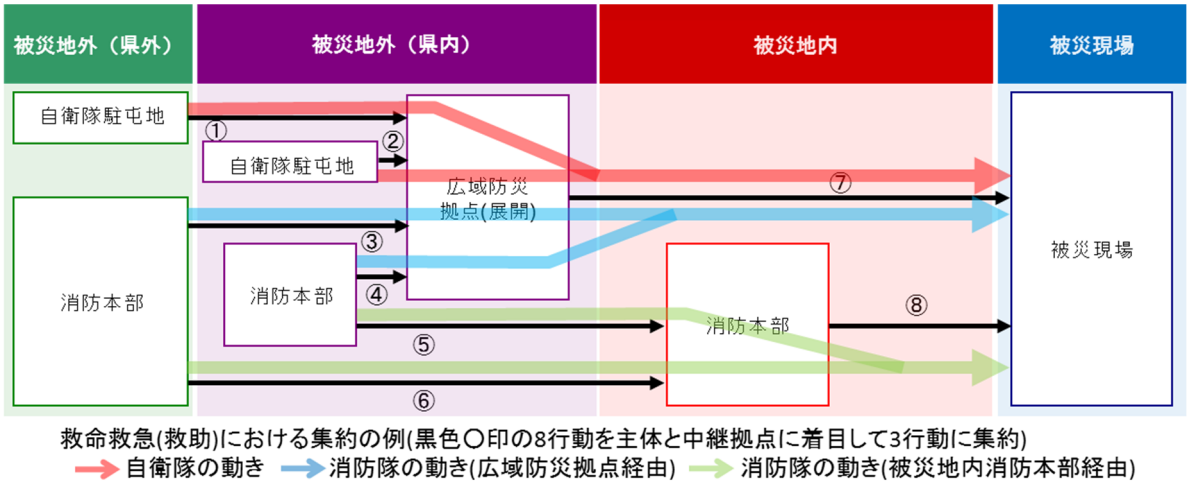



図-Ⅳ.5.4.2.9　トリップチェーンによる災害対応行動の集約の例

る災害対応行動を抽出した。

④段階Dでの集約

段階Dにおいては、まず、段階Cで抽出された災害対応行動から、さらなる絞り込みを行うため、「人命を救う」ために集約に当たり道路ネットワークで「支えるべき」災害対応行動として重要と考えられる条件を下記のように設定した。

イ：被災現場に直結する災害対応行動

被災現場に直接接続する災害対応行動はより重要だという趣旨で設定した。

ロ：長時間継続して行われる災害対応行動

複数の時間帯で行われる災害対応行動はその継続性のため、より重要だという趣旨で設定した。

ハ：トリップチェーンを形成する災害対応行動

トリップチェーンを形成した場合、地理的により広範囲な行動となるため、より重要だという趣旨で設定した。

なお、段階Cで抽出された災害対応行動60種類と上記３条件に合致する災害対応行動との関係は図-Ⅳ.5.4.2.10のようになる。

感度分析は、この３つの条件の組み合わせを変えて(表-Ⅳ.5.4.2.5の試行①～試行⑦)、各条件の組み合わせに合致する災害対応行動を抽出し、時間帯毎に経路一致率の変化を調べた。

経路一致率は段階Cで選定された道路の実延長に対する各試行で選定された道路の実延長の割合とした。例えば、段階Cで選定された道路ネットワークとして図-Ⅳ.5.4.2.11(左図)を考える。このネットワークの例で図-Ⅳ.5.4.2.11(右図)の道路がある試行で選定された場合の経路一致率は81.8%となる。

時間帯毎に条件の組み合わせを変えた際の行動数と経路一致率の折れ線グラフを作成したところ、3時間後～24時間後の時間帯で試行⑤にあたる組み合わせにおいて、経路一致率の折れ線グラフの屈曲点が明瞭に現れた(図-Ⅳ.5.4.2.12の赤線の赤丸、経路一致率93.0%)。

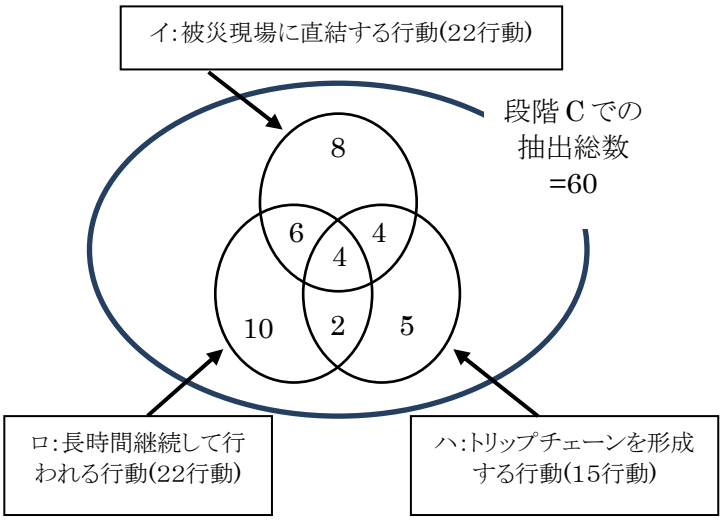
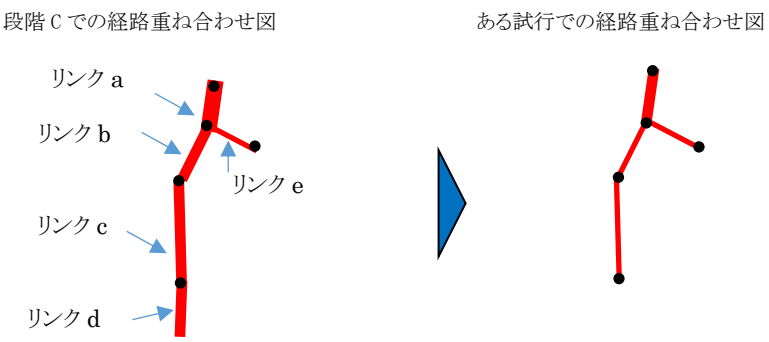



**図-Ⅳ.5.4.2.10　段階Cで抽出された災害対応行動と“「人命を救う」のに重要と考えられる３つの条件”に合致する災害対応行動との関係**

**(円内の数字はそれぞれの条件に合致する災害対応行動の数)**

**表-Ⅳ.5.4.2.5　試行ケース一覧**

| | 行動数 | 「人命を救う」ために重要と考えられる条件 | | | 各時間帯毎の行動数 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 被災現場に　直結する行動 | 長時間継続して行われる行動 | トリップチェーンを形成する行動 | ～3時間後 | 3～24時間後 | 24～72時間後 |
| 試行① | 22 | ● | | | 5 | 21 | 7 |
| 試行② | 22 | | ● | | 12 | 22 | 13 |
| 試行③ | 15 | | | ● | 5 | 11 | 7 |
| 試行④ | 34 | ● | ● | | 12 | 33 | 14 |
| 試行⑤ | 31 | | ● | ● | 12 | 27 | 17 |
| 試行⑥ | 29 | ● | | ● | 7 | 24 | 13 |
| 試行⑦ | 39 | ● | ● | ● | 12 | 34 | 18 |




| リンク | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| 実延長（km） | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 1 |

上記試行の経路一致率 ＝

$$\frac{\text{段階Dで選択された道路の実延長}}{\text{段階Cで選択された道路の実延長}} = \frac{\text{リンクa, b, c, eの実延長の和}}{\text{リンクa, b, c, d, eの実延長の和}}$$

$$= \frac{1+1+1.5+1}{1+1+1.5+1+1} = \frac{4.5}{5.5} = 0.818$$

図-Ⅳ.5.4.2.11　経路一致率の計算の例

災害対応行動の集約にあたり、出来るだけ少ない災害対応行動で全体の特性を効率よく表現できることが必要であり、本項では行動数の増加に対しての経路一致率の上昇率が少なくなる限界点、つまり折れ線グラフの屈曲点で災害対応行動の組み合わせを決めることが最適だと判断した。

それ以外の時間帯(直後～3時間後、24時間後～72時間後)での試行⑤の経路一致率も3時間後～24時間後の経路一致率と大差がない(それぞれ100.0%(図-Ⅳ.5.4.2.12の青線の赤丸)と88.2%(図-Ⅳ.5.4.2.12の緑線の赤丸))ことが分かった。

したがって、試行⑤にあたる組み合わせ(31行動)を集約(抽出)結果とした。

集約(抽出)結果を表-Ⅳ.5.4.2.6に記す。

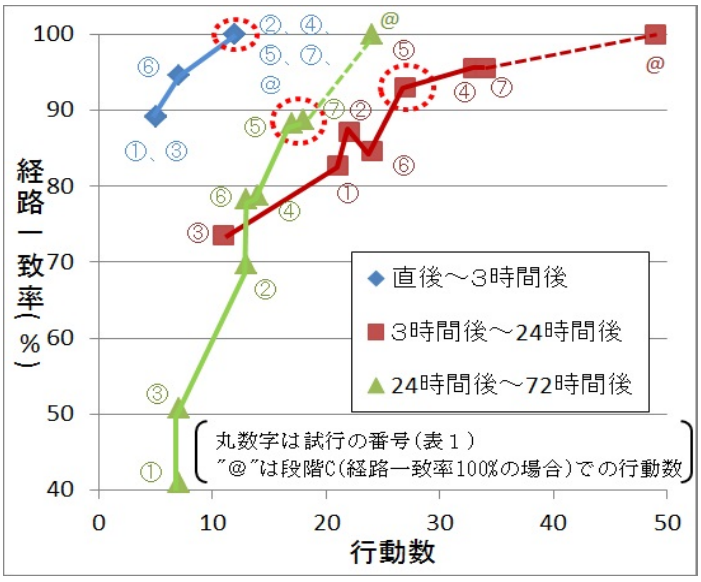



図-Ⅳ.5.4.2.12　各試行による経路一致率の変化

## 表-Ⅳ.5.4.2.6　災害対応行動の集約(抽出)結果

| 番号 | 分類 | 行動主体 | 出発地 | 中継地 | 目的地<br>(括弧内の斜字体は災害対応行動の補足説明を示す) | 道路利用のタイミング | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直後～3時間 | 3時間～24時間 | 24時間～72時間 |
| 1 | 救急救命(救助) | 救急隊 | 消防本部<br>(被災地外) | 広域防災拠点 | 被災現場 | ○ | ○ | |
| 2 | | 救急隊 | 消防本部<br>(被災地外) | 消防本部<br>(被災地内) | 被災現場 | ○ | ○ | |
| 3 | | 自衛隊 | 駐屯地 | 広域防災拠点 | 被災現場 | ○ | ○ | |
| 4 | | 警察隊 | 警察署 | － | 被災現場 | ○ | ○ | |
| 5 | 医療(処置) | DMAT | 医療機関<br>(被災地外) | 災害拠点病院<br>(被災地内) | 被災現場 | | ○ | |
| 6 | | DMAT | 医療機関<br>(被災地外) | 空港 | 被災現場 | | ○ | |
| 7 | | 医者・<br>看護師 | 県立病院 | － | 避難所・<br>医療施設<br>(被災地内) | ○ | ○ | |
| 8 | | 医者・<br>看護師 | 自衛隊<br>駐屯地 | － | 避難所・<br>医療施設<br>(被災地内) | ○ | ○ | |
| 9 | | 医者・<br>看護師 | 赤十字病院 | － | 避難所・<br>医療施設<br>(被災地内) | ○ | ○ | |
| 10 | | 重症患者 | 被災現場 | 災害拠点病院<br>(被災地内) | 広域防災拠点 | | ○ | |
| 11 | | 重症患者 | 被災現場 | 救急告示病院<br>(被災地内) | 広域防災拠点 | | ○ | |
| 12 | | 重症患者 | 避難所 | 救急告示病院<br>(被災地内) | 広域防災拠点 | | ○ | |
| 13 | | 市役所等　職員 | 市役所等 | － | 救護所<br>(*設置*) | ○ | ○ | |
| 14 | | 医者・<br>看護師 | 市町村営<br>医療機関 | － | 救護所<br>(*医療班の編成・派遣*) | ○ | ○ | |
| 15 | | 保健師 | 都道府県庁等 | － | 救護所<br>(*保健指導の実施*) | | ○ | ○ |
| 16 | | 傷病者 | 被災現場 | － | 緊急ヘリポート | | ○ | ○ |
| 17 | | 傷病者 | 被災現場 | 広域防災拠点 | 災害拠点病院<br>(被災地外) | | ○ | ○ |
| 18 | 消防(消火・警戒) | 消防隊 | 消防本部<br>(被災地内) | － | 被災現場 | ○ | ○ | ○ |
| 19 | | 消防隊 | 消防本部<br>(被災地外) | － | 被災現場<br>(*消火活動*) | | ○ | ○ |
| 20 | | 消防隊 | 消防本部<br>(被災地外) | － | 被災現場<br>(*特殊消火活動*) | | ○ | ○ |
| 21 | | 消防隊 | 消防本部<br>(被災地外) | － | 被災現場への出動(*輸送・補給活動*) | | ○ | ○ |

(次ページに続く)

| 番号 | 分類 | 行動主体 | 出発地 | 中継地 | 目的地<br>(括弧内の斜字体は災害対応行動の補足説明を示す) | 道路利用のタイミング | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 直後～3時間 | 3時間～24時間 | 24時間～72時間 |
| 22 | 緊急輸送活動 | 石油会社等 | 油槽所・精油所 | ― | ガソリンスタンド | | ○ | ○ |
| 23 | | 石油会社等 | 油槽所・精油所 | ― | 病院・公共機関 | | ○ | ○ |
| 24 | | 物流会社等 | 他都道府県庁 | 広域防災拠点・体育館 | 避難所(*国からの緊急支援物資の輸送*) | | | ○ |
| 25 | | 物流会社等 | 他都道府県庁 | 広域防災拠点・体育館 | 避難所(*都道府県からの緊急支援物資の輸送*) | | | ○ |
| 26 | | 物資の仕分け要員 | 都道府県庁等 | 広域防災拠点 | 体育館 | ○ | ○ | ○ |
| 27 | | 物流会社等 | 市町村(被災地外) | 広域防災拠点・体育館 | 避難所(*市町村からの緊急支援物資の輸送*) | | | ○ |
| 28 | | 物流会社等 | 空港 | 広域防災拠点・体育館 | 避難所 | | | ○ |
| 29 | | 物流専門家 | 県トラック協会 | 広域防災拠点 | 体育館 | ○ | ○ | ○ |
| 30 | | 物流会社等 | 流通団地・流通センター | ― | 大型小売店(被災地内) | | ○ | ○ |
| 31 | | 物流会社等 | 大型小売店(被災地内) | ― | 流通団地・流通センター(*不要品の回収*) | | ○ | ○ |

2)災害対応行動の重み付けの試行

1)では「災害対応行動の数」で道路ネットワークの評価を行った。次に、災害対応行動に必要な「量」を反映させることで重み付けをした評価を行った。「量」を表す典型的なものとして「負傷者数」といった人数に関連するものが多いので、1)で集約化された災害対応行動に応じた重み付け(この場合、災害対応行動を必要とする対象者の人数の算出)を行い、道路ネットワークの評価を試みた。モデルである岩手県の場合、東日本大震災での被災実績を参考に重み付けを行った(表-Ⅳ.5.4.2.7)。

**表-Ⅳ.5.4.2.7　災害対応行動ごとの指標**

| 災害対応行動 | 重み付けの指標 |
|---|---|
| 救急救命 | 要救助者数 |
| 医療 | 死者・行方不明者・負傷者数 |
| 消防(消火) | 焼死者数 |
| 緊急輸送活動 | 飲料水供給者数※ |

※「飲料水輸送量(1日)/1人1日あたりに必要な水分量」で計算

その結果、災害対応行動による道路ネットワークの評価を「行動数」から「負傷者や(緊急物資を必要とする)避難者等、救援を必要とする人の数」で行うことが可能になった(図-Ⅳ.5.4.2.13)。

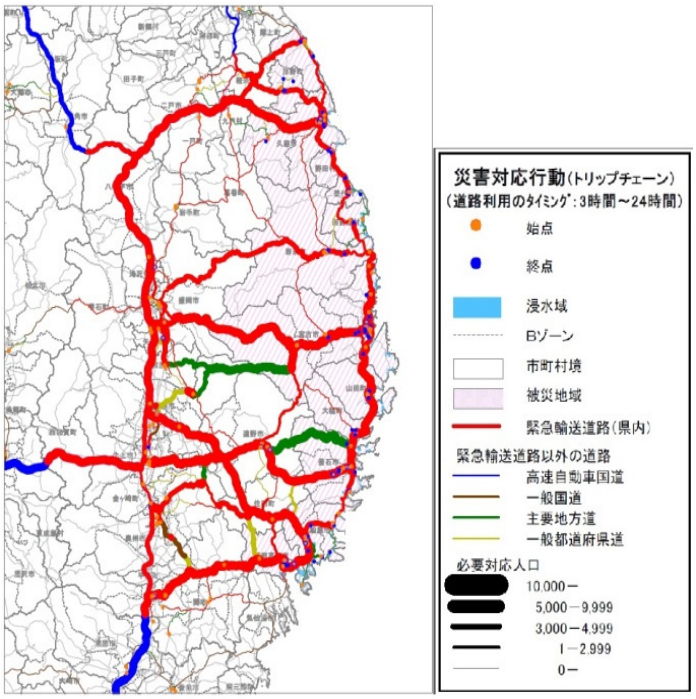



**図-Ⅳ.5.4.2.13　モデルでの道路ネットワーク評価(発災後3～24時間後の例)**

モデルでは過去の災害の実績のデータを用いて重み付けを行ったが、他の地区では地域防災計画等に記載されている被災想定を使って算出することになる。

3) 地方整備局や地方自治体における道路啓開計画の事例収集と比較

一方、いくつかの地方整備局や地方自治体において既に道路啓開計画が策定されており、これらを横断的に比較整理することで、道路啓開計画に関する問題認識を明らかにした。

道路啓開計画の比較整理に先立ち、対象とする計画を抽出するにあたり、以下のように比較整理項目を設定した。

○路線選定に当たっての考え方
○路線選定上の課題
○啓開オペレーション上考慮すべき課題
○さらなる取り組みの状況

上の２つは道路啓開を優先して行う路線(区間)の考え方や問題認識を把握するために設定し、下の２つは実際の道路啓開作業を行う上での問題認識を把握するために設定した。

これら４つの比較整理項目が記載されており、かつ地域と策定主体のバランスを考慮し、対象計画を下記の３つとした。

□中部版くしの歯作戦(H26.5 更新)
□首都直下地震道路啓開計画(初版)
(H27.2 策定)
□愛媛県道路啓開計画(H26.3 策定)

比較整理の結果(表-Ⅳ.5.4.2.8)、路線選定に当たっては災害対応拠点を結ぶ緊急輸送道路を基本としているが、被災地到達までの迅速性が求められていることから、被災の少なさ、耐震性の高さを考慮している計画もあった。あるいは発災後に被害の少ない路線に変更して啓開作業を行うことを想定している計画もあった。

表-Ⅳ.5.4.2.8　道路啓開計画の比較

| | 中部版くしの歯作戦 | 首都直下地震道路啓開計画(初版) | 愛媛県道路啓開計画(概要版) |
|---|---|---|---|
| | 平成26年5月改訂 | 平成27年2月策定 | 平成26年3月策定 |
| 路線選定上の課題 | 外海は地震発生後10分以内に1mの高さの津波が到達(p7)<br>大規模地震発生後は津波警報発令中であり、パトロール車による沿岸部のパトロールが出来ない。(p22) | 都心部には想定される被災者数や被害規模に比べ、道路啓開等に必要となる人員、物資や機材が不足している。(p3) | 大規模災害が発生した直後においては、被災状況の把握が不十分な状況の中で、啓開作業着手を余儀なくされることが予想される。(p4) |
| 路線選定に当たっての考え方 | 主に緊急輸送道路の中から、3つのSTEPに分けて選定する。(p13)<br>災害協定業者から報告された資機材・人員確保状況と被災状況等により作業計画の検討を実施する。(p28) | 都心に向けた八方向毎に優先啓開ルートを設定<br>各道路管理者が連携・協力のもと、八方向毎に、高速道路、国道、都道の被害が少ない区間を交互に利用する。(p4)<br>発災時には、被災箇所・被災規模が比較的少ない路線・区間を交互に組み合わせ優先啓開ルートを設定する。(p12) | 緊急輸送道路を啓開路線に選定することが基本である。<br>目標地点の重要度を考慮し、ステップ(Ⅰ～Ⅲ)を設定した。<br>なお、ステップⅠ及びⅡ時点では、資機材を集中し目標地点に対して早くアクセスすることを重視し、1つの目標地点に対して複数路線の啓開は考えないことにした。(p4)<br>道路啓開作業と並行して、道路の被害状況及び復旧見込み等の情報整理を進める中で、適切な緊急輸送ルートを選定し、啓開路線を決定することが必要となる。(p12) |
| 啓開オペレーション上考慮すべき点 | 道路管理者間で災害協定業者が重複しないよう担当区間を事前調整する。(p19) | 特に環状八号線の内側を中心に、深刻な道路交通麻痺等の発生が懸念されている(p20) | 障害物等の除去及び集積(p14) |
| 選定路線において啓開作業をより効率化させるための取り組み | 事前の対策箇所を抽出する。(p32)<br>各ルートの道路啓開の難易度を評価する。(p33) | より効率的に車両を撤去出来るよう新たな撤去技術に関する研究開発を進める。(p53) | 各市町を網羅する道路啓開サポートマップを作成(p3) |

※括弧内はそれぞれの計画の出典ページを指す

4) 今後の課題等

本項では拠点間移動の需要面から事前に啓開路線を決めておく、という意図から道路ネットワークの評価を行ってきた。具体的には災害発生直後に必要な「災害対応行動」を行う際の拠点および最短経路を地図上に重ねて表示させ、表示された経路の数(もしくは重み付けされた数量)により災害対応行動に必要な道路として評価する手法を開発した。しかし、災害対応行動を集約する上で「経路一致率」の感度分析を行ったが、経路一致率はリンクの実延長に左右されるので、感度分析結果は今回のモデル地域での結果に過ぎず、他の地域での結果は異なる可能性がある。

また、評価の観点として災害対応行動の拠点の位置関係を元にした評価であり、路線の機能や性能(幅員や耐震補強の進捗)を反映したものでは無いことに留意する必要がある。

一方、既往の道路啓開計画においては、事前に啓開路線を計画の中で位置づけるだけでなく、発災時に被災状況を確認した上で啓開路線を決定していた。

さらに、道路啓開作業に必要な資機材の調達・配置や実際の被害状況の早期把握、道路交通麻痺への対応、瓦礫の集積、等様々な課題を想定していた。

したがって、事前に啓開路線を想定する際、需要の他に被害想定や資機材の準備状況を定量的に評価し考慮する必要があると言える。

さらには大規模災害になると、被災地外から多くの支援部隊が駆けつけ支援業務を行うことにもなるため、被災状況の把握から道路交通麻痺への対応も含めた作業部隊の移動・運用、瓦礫の集積までの各段階での状況把握と関係者間の情報共有・各種調整を円滑に行うための研究が今後必要になると考えられる。

特に、首都直下地震が発生した際には深刻な道路交通麻痺が想定されており、円滑な道路啓開を行うためにも対処方法を検討しておく必要があると言える。東日本大震災の後、警視庁での交通規制方法の変更や東京都等での帰宅困難者対策等が進められていることもあり、それらを踏まえた検討が必要であると言える。

今後、各地整等において道路啓開計画を策定・改訂される予定であるので、今回開発された手法をベースに上記改善点や各地整でのニーズ等を踏まえた改良を進めていきたい。

### Ⅳ.5.4.3　道路上のガレキ量予測に関する調査

本項では、道路啓開計画づくりに必要な基礎資料として首都直下地震等都市部を襲う地震を対象とし、緊急輸送道路等において道路交通機能の低下をもたらす障害（震災ガレキ・放置車両）の程度を明確化するとともに、それらへの予測手法の検討について説明する。具体的には、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の際に撮影された航空写真を判読することによって、沿道建築物等の倒壊によって幹線道路上に生じた震災ガレキの発生状況と、放置車両の発生状況を整理し、次に幹線道路上に発生する震災ガレキの発生頻度や道路へのはみ出し幅、ガレキの量等の予測手法の検討を行った。

(1) 幹線道路上に発生した震災ガレキの実態整理

平成7年兵庫県南部地震の際に撮影された航空写真を判読することによって、沿道建築物等の倒壊により幹線道路上に発生した震災ガレキの実態を整理した。ここで、路上に発生する震災ガレキについては過去に調査された事例 [5]があるが、これらの調査は細街路を対象としたものや、震災ガレキの処理がある程度進んだ地震数日後の国道を対象としたものであり、幹線道路上に発生した震災ガレキの実態は十分に把握されていない。そこで、本項では、兵庫県南部地震によって幹線道路上に生じた震災ガレキを調査対象とすることとした。震災ガレキの実態として整理したのは以下のデータである。

【震災ガレキの発生状況を表すデータ】
- 震災ガレキの道路上へのはみ出し幅・長さ
- 震災ガレキの由来（沿道建物，電柱等）　等

【震災ガレキの発生に影響を与え得る要因】
- 倒壊建物の属性（木造・非木造，低層・高層）
- 沿道街区の建物倒壊率
- 震災ガレキが発生した道路の道路種別
- ガードレールの有無，歩道幅員，分離帯幅　等

航空写真で画像判読の対象とした道路延長や画像判読で道路上に確認された震災ガレキの発生箇所数を道路種別ごとに整理した結果を表－Ⅳ.5.4.3.1 に示す。本項では同表に示した合計158箇所の震災ガレキの発生に対し、震災ガレキが道路上にはみ出した幅や長さ等の情報や、倒壊建物の属性（木造・非木造，低層・高層）等について整理した。

表－Ⅳ. 5. 4. 3. 1　航空写真の判読対象

| 道路種別 | 震災ガレキ発生箇所数 | 道路延長 |
|---|---|---|
| 直轄国道 | 52 箇所 | 31.5 km |
| 補助国道 | 14 箇所 | 10.5 km |
| 主要地方道 | 33 箇所 | 95.7 km |
| その他の幹線道路 | 59 箇所 | 258.4 km |
| 計 | 158 箇所 | 396.1 km |

(2) 幹線道路上の震災ガレキ量の予測式の作成

震災ガレキ発生の予測式は家田等の提案した式（以下、家田式）があり、地区内の細街路を対象としてガレキ幅 a は式-1のように表される。

$a=2.32\cdot X1^{0.379}+0.189\cdot X2^{2.23}+4.41\cdot X3^{12.0}$・・（式-1）

X1：建物全壊率=(全壊または大破の建築物)／（全建築物-火災による損傷建築物－未調査・不明建築物）

X2：平均階層（建築延べ床面積／建築面積）

X3：建築密度（建築面積／宅地面積）

家田式を幹線道路にも適用して、(1)で整理したデータを用いて回帰分析を行った。ここでは建物全壊率に変えて建物倒壊率を用いて式-2のように表すこととし、回帰分析の結果、相関係数Rは0.39となった。

$a=0.08\cdot X1^{0.379}+0.30\cdot X2^{2.23}+8.85\cdot X3^{12.0}$　・・(式-2)

X1：建物倒壊率　X2：平均階層　X3：建築密度

ここで幹線道路を対象とした予測式を新たに検討した。その際、予測のために建築密度，平均階層等取得が難しいデータに変えて、用途地域等の比較的入手しやすいデータを用いることとした。

調査対象とした震災ガレキの発生箇所は(1)で用いた幹線道路の箇所に加えて、新たにデータを追加した106箇所について、航空写真からガレキ幅(a)、ガレキ高さ(h)、ガレキ長さ(L)を計測した。その結果、発生ガレキの平均幅は5.8mであった。表－Ⅳ.5.4.3.2 に建物倒壊率ランクと震災ガレキの発生箇所数及び画像判読の対象とした道路延長を示す。

震災ガレキ幅(a)の予測式は2ケースを回帰分析により各変数の係数を算出し、式を設定した（式-3,4)。ケース1では利用データが「建物階数」「建ぺい率」「容積率」「用途地域」（都市計画総括図等より入手可能）である。ケース2では「建ぺい率」の代わりに倒壊率ランク（被害想定結果より入手可能）を用いた。式-4で、倒壊率ランク X1,容積率 X3 の係数がマイナスになっているのは、倒壊率ランクが0%の場合にガレキ幅0mのデータがないことや倒壊率ランクが小さい場合でもガレキの発生量が多くなる場合があったことなどにより、偏ったデータになっているものと考えられる。

相関係数Rは式-3で0.55（図－Ⅳ.5.4.3.1参照)、式-4で0.50となり、さらなる改善の必要がある。

（ケース１）

a=-3.479＋0.621･X1＋7.509･X2/100
＋0.607･X3/100＋X4　･･･(式-3)

X1：建物階数　X2：建ぺい率(%)　X3：容積率(%)

X4：用途地域：住居地域:0.585，近隣商業地域-0.311
商業地域:-2.585，準工業地域:1.155，
工業地域:2.857

(ケース２)

a=5.284－0.493･X1＋0.812･X2
－0.426･X3/100＋X4　･･･（式-4)

X1：倒壊率ランク　倒壊率50%～100%:0.75，
25%～50%:0.375，12.5%～25%:0.1875，
0%～12.5%:0.0625，0%:0.0

X2：建物階数　　X3：容積率(%)

X4：用途地域　住居地域:-0.528，
近隣商業地域:0.166，商業地域:1.797，
準工業地域:-0.300，工業地域:0.716

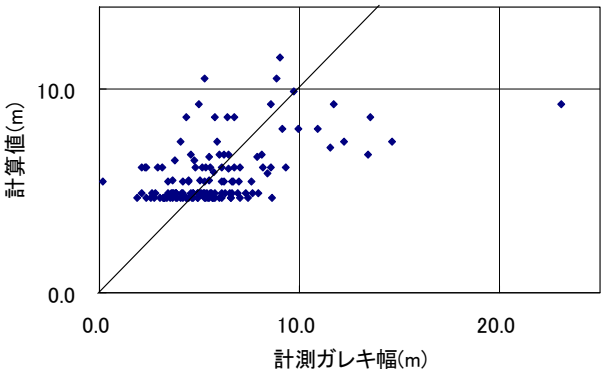



図-Ⅳ.5.4.3.1　計測と予測式の関係（ケース１）

ガレキ高さ(h)、ガレキ長さ(L)は、ガレキ幅(a)の関数として、計測値を用いて回帰分析を行い式-5，6のように設定した。

またガレキを三角柱であると仮定すれば、ガレキ幅(a)、ガレキ高さ(h)、ガレキ長さ(L)を用いて、式-7のように体積を求めることができる。さらに，撤去すべき道路区間上の震災ガレキの発生量は、式-7の体積と表－Ⅳ.5.4.3.2から求められる単位延長（km）あたりのガレキ発生箇所を乗じることにより予測できる。

h=0.32･ａ＋0.853　　･･･(式-5)

L=1.089･ａ＋7.487　　･･･(式-6)

V＝a×h×L ／ 2　　･･･(式-7)

a：ガレキ幅(m)　　h：ガレキ高(m)

L：ガレキ長さ（路側延長）(m)　V：ガレキ体積（㎥）

表-Ⅳ.5.4.3.2　震災ガレキ発生箇所数

| 道路種別 | 倒壊率ランク | 震災ガレキ発生箇所数 | 道路延長 |
|---|---|---|---|
| 直轄国道 | 50～100% | 45箇所 | 6.3km |
| | 25～ 50% | 23箇所 | 10.8km |
| | 12.5～ 25% | 13箇所 | 11.4km |
| | 0～12.5% | 2箇所 | 5.4km |
| | 0% | 0箇所 | 3.7km |
| 主要地方道 | 50～100% | 9箇所 | 2.4km |
| | 25～ 50% | 0箇所 | 4.7km |
| | 12.5～ 25% | 7箇所 | 10.2km |
| | 0～12.5% | 6箇所 | 8.4km |
| | 0% | 1箇所 | 0.9km |
| 計 | － | 106箇所 | 64.2km |

(3) 放置車両の量を予測する手法

震災時の放置車両の量の予測手法は検討例が少ないため、兵庫県南部地震時の航空写真を活用して発生状況を調査した。放置車両の量は兵庫県南部地震当日の１７日午後の撮影と翌日１８日午前の撮影の写真を比較し、同じ場所に同じ車両があれば放置車両と判別した。表－Ⅳ.5.4.3.3に結果を示す。地震発生が早朝のためあまり多くの放置車両は発生していない。

表－Ⅳ.5.4.3.3　航空写真判読による放置車両の発生状況

| 路線 | 区間延長 | 台数 | 台数／延長 |
|---|---|---|---|
| 国道2号(直轄国道) | 19.2km | 52台 | 2.7台／km |
| 山手幹線(主要地方道) | 12.5km | 78台 | 6.2台／km |

放置車両の量の予測手法は、上記の値をもとに予測対象となる道路の延長や交通量等の条件により放置車両の発生状況が想定可能となるように表－Ⅳ.5.4.3.4のように細分化して、単位あたりの放置車両台数として整理した。具体的には、一般国道では、2車線とそれ以上の区間での放置車両の台数をそれぞれ計数し、１ｋｍあたりの放置車両台数として表現した。また、地震発生時刻の交通量を基準として、そのほかの時間帯ではその時間帯の交通量を元に換算して表現した。ここで交通量はH6道路交通センサス交通量を使用した。地震発生時の午前6時台の交通量比率はH17センサス24時間調査測定値から算出し、時間交通量が得られない場合も想定し12時間交通量についても計算した。これにより、対象路線、区間を設定することで区間距離と交通量から、放置車両の概算台数を求めることができる。

表-Ⅳ.5.4.3.4　放置車両の発生量

| 道路種別 | | km 延長あたり台数（台/km） | 1 時間･km 延長あたり台数（台/千台 km･h） | 昼間 12 時間･km 延長あたり台数　（台/千台 km･12h） |
|---|---|---|---|---|
| 一般国道 | 2 車線 | 1.8 | 4.7 | 0.24 |
| | 多車線 | 2.8 | 1.7 | 0.08 |
| | 区別無 | 2.7 | 1.7 | 0.09 |
| 主要地方道 | 多車線 | 6.2 | 7.8 | 0.27 |

(4)まとめ

兵庫県南部地震の際の航空写真を判読し、沿道建築物等の倒壊による幹線道路上に生じた震災ガレキの発生状況等を整理し、予測式を作成した。また、放置車両の発生量を整理した。これらにより震災後の道路上のガレキ量等がある程度予測が可能となり、必要な機材等事前の準備に活用することが望まれる。

**参照文献**


1) 松岡一成・金子正洋、現地調査に基づく道路啓開状況と避難所物資供給状況の関係について、日本地震工学会・大会-2012 梗概集、pp354-355、(一社)日本地震工学会、2012.11

2) 金子　正洋・間渕　利明・神田　忠士・松本　幸司、大規模地震時の被災者支援に必要な道路ネットワーク機能に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.51　CD-ROM所収、(公社)土木学会、2015.6

3) 神田　忠士・間渕　利明・金子　正洋・松本　幸司、災害時の道路啓開における路線の優先度の評価に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.51　CD-ROM所収、(公社)土木学会、2015.6

4) 間渕利明・金子正洋・高宮進・中尾吉宏、道路上の震災ガレキの予測手法について、日本地震工学会・大会-2012 梗概集、pp346-347、(一社)日本地震工学会、2012.11

5) 国際交通安全学会、阪神・淡路大震災の実態調査に基づいた震災時の道路交通マネジメントの研究、1998

6) 家田 仁・上西 周子・猪股 隆行・鈴木 忠徳、阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能障害とその影響、土木学会論文集 1997.10


**参考文献**


1) 梶尾辰史、金子正洋、長屋和宏、地震後の道路橋の通行障害に関する調査、第30回日本道路会議論文集、No.2037、平成25年10月.

2) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司、地震発生時の道路橋の被災状況把握技術の開発、国総研レポート2015、pp.76、2015.

3) 松本幸司、長屋和宏、梶尾辰史、道路橋の地震被害計測技術の研究、土木技術資料、pp.44-45、2015.5.

4) 伊藤茂也、貴史豊、梶尾辰史、道路橋の地震被災状況把握技術の研究事例、第31回日本道路会議論文集、No.2,P05、、2015.10.

5) 梶尾辰史、長屋和宏、松本幸司、変位計による道路橋地震被災把握システムの開発に関する考察、第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集、pp.118-123、平成27年10月.

6) 松岡一成、金子正洋、現地調査に基づく道路啓開状況と避難所物資供給状況の関係について、日本地震工学会大会2012概要集、pp.354-355、平成24年11月.

7) 金子正洋、間渕利明、神田忠士、松本幸司、大規模地震時の被災者支援に必要な道路ネットワーク機能に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.51、平成27年6月.

8) 神田忠士、間渕利明、金子正洋、松本幸司、災害時の道路啓開における路線の優先度の評価に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.51、平成27年6月.

9) 神田忠士、松本幸司、災害時に道路啓開を優先すべき路線を抽出する手法の開発、土木技術資料、第58巻.第3号、pp.22-25、平成28年3月.

10) 間渕利明、金子正洋、高宮進、中尾吉宏、道路上の震災ガレキ量の予測手法について、日本地震工学会・大会2012概要集、pp.346-347、平成24年11月.

11) 家田仁、上西周子、猪股隆行、鈴木忠徳、阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能障害とその影響、土木学会論文集、1997年1月.

# Ⅳ.6　沿岸・港湾関係インフラの防災対策について

港湾分野においては、成果を防災計画及び技術基準の改訂に反映させることを目指して関連研究を行ってきた。平成 25 年度からはプロジェクト研究「港湾地域における津波からの安全性向上に関する研究」を開始し、津波避難シミュレーションと短波海洋レーダによる津波観測手法の高度化といった課題に取り組んできた。また、レベル 2 津波に対する港湾技術基準の改訂のための基礎データ収集などに取り組んでおり、成果の一部は「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に反映された。本節においては、こうした研究の一連の成果について述べる。

## Ⅳ.6.1　防災計画

本節では、津波避難シミュレーションモデルの構築や短波海洋レーダによる津波観測技術の高度化に向けた研究についての内容について述べる。これらは、アウトプットを防災計画に反映させることを意図したものである。

### Ⅳ.6.1.1　津波避難シミュレーションによる避難安全性の評価

国総研沿岸海洋・防災研究部では、東日本大震災で避難が出来ずに犠牲者が増えたことを踏まえて、港湾地域を対象とした津波避難シミュレーションの高度化に取り組んでおり、津波避難シミュレーションモデルの開発や津波避難シミュレーションを用いた東日本大震災時の避難行動の再現性検証等に取り組んでいる。

まず国総研ほかは、津波避難施設の最適配置計画を数理計画問題としてモデル化した。地理データを数理計画モデルに変換し、また市販の数理計画ソルバ（連立方程式を解くプログラム）の出力を配置計画に変換するプログラムの開発、国内都市データを用いた妥当性評価を行った。本研究で開発したプログラムでは、都市部の居住者や交通に関する地理データから、幾つかの施設配置問題モデルを生成する。本研究で取り扱う津波避難施設の配置では既存の建築物から避難施設の候補を抽出し、避難施設の収容人数を考慮した制約条件を付し、その上で総避難距離を最小化するための定式化を行う。詳細は参照文献 1)を参照されたい。

次に国総研沿岸海洋・防災研究部では、東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションを行い、再現性を検証した。対象は、岩手県釜石市中心市街地における徒歩避難者の避難行動である。シミュレーションでは、建物・街路ネットワーク上に約 4,700 人を配置し、収容可能人数の制約がある条件付きで最寄りの避難場所への最短経路を選択する経路選択モデルを用いた。また、アンケートで得られた「65 歳以上比率」及び「グループ歩行比率」を満たすように避難者の歩行速度の初期値を与えた。シミュレーションで得られた避難完了者の時間的増加を示す曲線は、長距離を避難する行動など再現できていない部分はあるものの、青壮年を中心としたアンケートの結果と近く、リアス式海岸沿岸部の徒歩避難者の避難行動に津波避難シミュレーションをある程度適用できることが分かった。なお、図-Ⅳ.6.1.1.1 にアンケート結果とシミュレーション結果との対比を示す。シミュレーション結果に近い方が釜石港湾事務所によるアンケート結果を示しており、一点鎖線で示したのが都市局によるアンケート結果である。詳細は参照文献 2)を参照されたい。

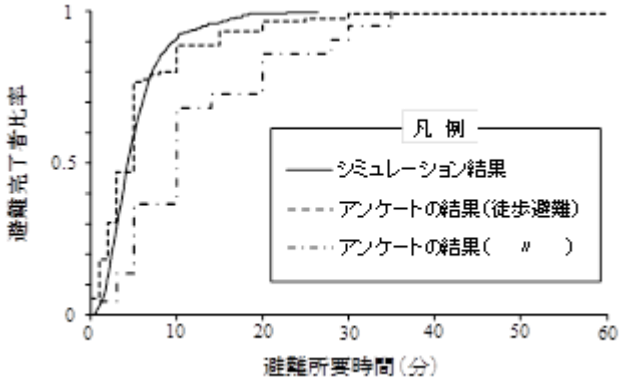



**図-Ⅳ. 6. 1. 1. 1　アンケート結果とシミュレーション結果との比較**

国総研ほかは、地震時の津波避難行動を再現するような津波避難開始時間の数理モデルについて検討した。その結果、避難開始理由によって避難者を「自発的避難群」「非自発的避難群」「津波切迫避難群」の 3 群に分類し、各群の避難開始時間の数理モデルを与え重ね合わせることにより、2011 年東北地方太平洋沖地震時の避難開始時間の累積分布曲線を提案した。また、岩手県釜石市及び宮城県仙台市を対象に各群の構成比を変化させて適用したところ、構成比以外のパラメータ設定手法についてはより詳細な検討が必要であるものの、両市の同地震時の避難開始時間の累積分布曲線を

ある程度再現できることがわかった。詳細は参照文献3)を参照されたい。

発生頻度は低いが規模は大きい津波に対し、避難を軸とした総合的な対策を講じることになっているが、その際の避難計画を立案するためには、避難者の動きを把握する必要があると考え、国総研沿岸海洋・防災研究部では、可搬式で屋外での利用が可能な、レーザセンサを用いた人流測定システムを構築するとともに、南海トラフ地震の津波が想定される静岡県下田市において避難訓練の際に徒歩避難者の人流測定を行った。その結果、測定精度の向上が今後必要であるが、市街地の街路の延長約20 mの区間を通過する避難者の位置の時系列データを取得できた。また、避難者はグループ歩行と単独歩行とに分化していたこと、グループ間で歩行速度に違いがあることが分かった。詳細は参照文献4)を参照されたい。

1) 大江悠介ほか、津波避難施設の最適配置のための数理計画モデル生成、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年春季研究発表会アブストラクト集、pp.130-131、平成24年3月
2) 熊谷兼太郎、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションによる再現性の検証、土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 70、No.5，pp.I_187-I_196，平成26年12月
3) 熊谷兼太郎ほか、津波避難開始の数理モデル、土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 71、No.5，pp.I_171-I_180，平成27年12月
4) 熊谷兼太郎、レーザセンサを用いた津波避難の人流測定、土木計画学研究・講演集，Vol.49、平成26年6月

### Ⅳ.6.1.2 海洋レーダによる津波検知技術の開発

国土交通省港湾局では、三大湾及び有明海沿岸に短波海洋レーダ（以下、「海洋レーダ」と呼ぶ。）を設置し、流況観測、ゴミ回収等に活用している。このうち紀伊水道に設置していた海洋レーダが平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による津波と副振動を捉えることに成功した（Hinata et al.（2011）、日向ら(2012)）。このため沿岸域システム研究室では、リアルタイムで津波検知を可能とする海洋レーダの技術開発を行い、以下のような課題に取り組んだ。

①リアルタイムデータの取得、津波成分抽出のためのシステムの開発

当研究室所有の海洋レーダを和歌山県沿岸（美浜町、白浜町）に設置し、レーダの改良、システムの開発に取り組むこととした。海洋レーダの設置については観測範囲が和歌山県南西沖ＧＰＳ波浪計とオーバーラップするように配置した。

リアルタイムで津波を検知するために、連続的にデータを取得できるようにシステムを改良した。次に、津波襲来時に計測される表面流速（潮流や吹送流などの背景流と津波成分流が混在）から自己回帰モデルを用いて津波成分流を抽出できるシステムを開発した。

②船舶や航空機のノイズ軽減手法の開発

数十分から数時間程度の周期を持つ津波を海洋レーダで検知するためには、数分間のA/Dデータからドップラースペクトルを計算しなければならない。その際、ノイズに対するシグナルの比（S/N比）が低下するため、海洋レーダで津波を検知するためには、ノイズを軽減してS/N比を高めることが極めて重要となる。

このため、ウェーブレット変換を適用して主要なノイズである航空機及び船舶に起因するノイズ成分を軽減するアルゴリズムを開発した（片岡ら（2015））。

③被災地予測のためのレーダを活用した津波インバージョン手法の活用

津波による激甚被災地を迅速に把握することは防災対策上、重要である。津波初期水位の精度よい情報が与えられれば激甚被災地は推定できる。海洋レーダは面的に流況を観測するものであり、通常の観測機器よりもデータ量で優位性が高いため、激甚被災地を精度よく推定することが可能と考えられる。このため海洋レーダを用い、インバージョン解析による津波初期水位推定を行うための基礎的な検討、具体的には海洋レーダの観測時間及び流速分解能がインバージョン解析の推定精度に与える影響について検討を行った（藤ら（2013））。

④性能評価のための津波仮想実験手法の活用

津波の襲来頻度は少ないため、実観測に基づく津波検知技術の性能評価は困難である。そこで、仮想津波シミュレーションを用い、海洋レーダの実観測結果と津波シミュレーションによる計算結果を合成することで、実際に本技術の性能評価を行い、その適用性を確認した（藤ら（(2015)）。

参照文献
1) Hinata et al. (2011): Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, Estuar., Coast. and Shelf Sci. 95(1), 268-273.
2)日向ら (2012): 紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測, 土木学会論文集B2(海岸工学), 68(2), I_196-I_200.
3)藤良太郎・日向博文(2013)：海洋レーダを利用したインバージョン手法に基づく津波初期水位の推定精度に対するレーダ観測時間の影響,国総研資料,No.739
4)藤良太郎・日向博文・藤井智史・永松宏・小笠原勇・伊藤浩之・片岡智哉・高橋智幸(2015)：仮想津波実験に基づく海洋レーダ津波検知距離の検討,土木学会論文集B2(海岸工学),70(1),351-355
5) 片岡智哉・藤良太郎・日向博文・永松宏・小笠原勇・伊藤浩之・高橋智幸(2015)：短波海洋レーダによる津波観測のためのノイズ軽減手法の開発,日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、vol.50,65-66

## Ⅳ.6.2 技術基準の改訂に資する研究

### Ⅳ.6.2.1 避難水域整備に関わる港湾計画基準について

26.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料(第 782 号)、安部智久ほか, 東京湾における津波来襲時での避難水域規模推計に関する研究、2014.3

東日本大震災における地震発生後の津波の来襲により、東京湾においては錨泊船舶の密集した水域が多く発生した。当時、錨泊時に事故が発生したという報告はないものの、今後発生が予想される巨大地震による津波に対応するため東京湾での避難水域整備の必要性が認識された。しかし津波発生時の錨泊に対応した水域規模の推計手法が存在しないことから、本研究では東日本大震災後の津波発生時の船舶挙動を AIS データ等により分析した上で、その結果を踏まえて避難水域規模推計の考え方を検討し、東京湾での必要規模を検討した。具体的な検討項目と成果の概要は以下の通りである。

第一に、東京湾における津波発生時の船舶動静について時系列的に分析することで、東京湾においては港湾の外で錨泊し避難する船舶が多いことを確認し、またその概算数を把握した。

第二に、錨泊時の個別船舶の水域占用面積について分析を行い、現行の港湾施設の技術上の基準・同解説（以下「技術基準」）における単錨泊円に対する水域規模（半径＝Loa＋6*d : Loa は対象船舶の全長、d は錨泊水域の水深）に収まることを確認した。

第三に、上記の結果により東京湾での必要錨泊水域面積の総量を算定し、さらにその総量と東京湾での現存の錨泊可能水域の総量とを比較することで、今後整備が必要となる水域面積を推計した。

本研究による成果は、東京湾での避難水域整備の際の資料として活用された他、今後の技術基準に反映される予定である。

詳細は上記文献を参照されたい。

### Ⅳ.6.2.2 海岸保全施設の耐津波設計について

13.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料(第 810 号)、淺井正、東北地方太平洋沖地震津波による防潮壁の被災特性に関する検討、2014.9

沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室では、東日本大震災の被災調査結果をもとに、海岸保全施設のうち港湾内で一般的に用いられている防潮壁を対象にして、施設の種類や構造諸元、津波の諸元を用いて被災状況の傾向を分析した。分析結果より、設計津波を超える津波による波力や越流により生じる洗掘が被災に与える影響が大きいと考えられたため、防潮壁の代表的な断面を設定して、津波による越流の影響について数値計算を行い、検討した。この成果の一部は、国土交通省港湾局[1)]が港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドラインを策定する際の参考資料として活用された。

図-Ⅳ.6.2.2.1 は数値計算結果の一例を示す。洗掘がない場合の計算結果では、越流の落下地点で圧力水頭が大きくなり、洗掘の進行に寄与するものと考えられる。洗掘がある場合、とくに洗掘形状を正弦近似した場合では、圧力水頭が静水圧程度であった。洗掘部で発生する渦のためエネルギー散逸が大きくなり、堤体陸側の速度水頭は洗掘なしと比べて約 40%であることが確認された。

図-Ⅳ.6.2.2.2 は、数値計算結果による波力（水圧の積算値）を、大村ら[2)]が提案する波力公式（水工研提案式）による波力と比較したものである。堤体側面の波力は計算結果の 1.1～1.3 倍、天端部では約 1.2 倍であった。防潮壁堤体に作用する圧力分布の形状を比較すると、大村らの実験結果は数値計算でよく表現できており、水工研提案式のパラメターは全体的に安全側

となっている可能性が確認された。

洗掘形状や洗掘幅により数値計算で得られる越流や圧力の状態は変化する。越流による堤体陸側地盤への影響を適切に評価するためには、実際の現象にあわせて洗掘形状を適切に与える必要があることが示された。その詳細については上記文献を参考にされたい。

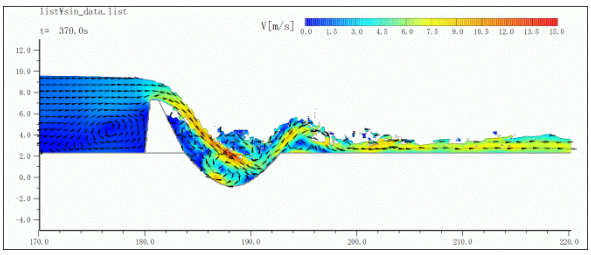


図-Ⅳ.6.2.2.1　防潮壁を超える流れ（数値計算結果）

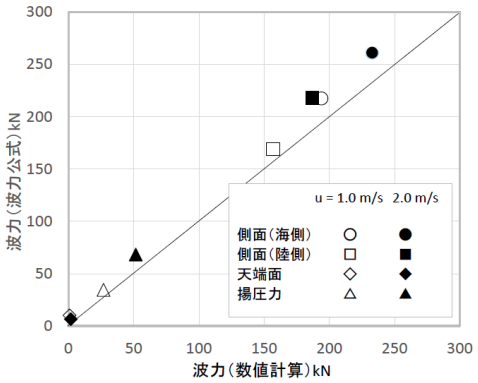



図-Ⅳ.6.2.2.2　数値計算結果と波力公式の波力の比較

また、東日本大震災では、防潮壁の開口部に設置された陸閘の開閉に携わった消防団員等の一般の方々が多く被災した。これを受けて国土交通省港湾局では、海岸４省庁とともに陸閘の管理・運営に関する検討を行っており、その一環として陸閘の設計津波を超える津波に対するハード対策の検討を進めている。

沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室では、陸閘は防潮壁の構造上の弱点になる可能性があることから、陸閘の被災事例をもとに被災メカニズムを検討し、ハード対策における留意点を整理した。陸閘の設計津波を超える津波による戻り流れの影響を検討するため、淺井ら [3]は、CADMAS-SURF/3D を用いた数値計算を行って陸閘周辺の戻り流れの状況を示した。図-Ⅳ.6.2.2.3 は、戻り流れ時の地盤面に作用する鉛直方向の圧力分布を示しており、図の右側が海側である．図より、陸閘の天端を超える流れが地盤面に衝突することにより、圧力が増大することが明らかになった。また、防潮壁と陸閘の接続部分で流れが集中するため、圧力の値が増大することも示された。このような被災に与える影響を抽出し、被災リスクの低減に向けた対策の可能性について考察した。

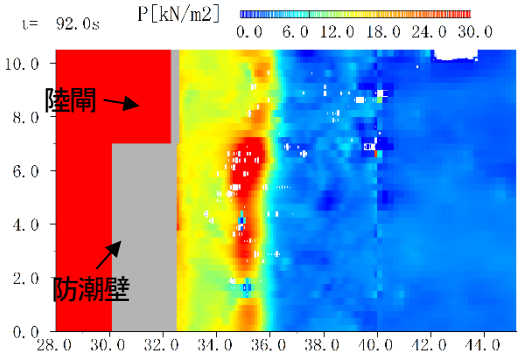



図-Ⅳ.6.2.2.3　陸閘の天端を超える流れによる地盤面の圧力分布（数値計算結果）

参照文献

1) 国土交通省港湾局、港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン（平成 25 年 11 月），平成 25 年 11 月．
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000058.html

2) 大村智宏・八木宏・中山哲巌・米山正樹・成田賢仁・加藤広之・門安曇・滑川順、胸壁に作用する津波波力に関する実験的研究、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.71、No.2、I_991-I_996、平成 27 年 11 月．

3)　淺井正・樋口直人・田中聡、陸閘の被災に与える戻り流れの影響に関する数値計算、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.71、No.2、I_1111-I_1116、平成 27 年 11 月．

## Ⅳ.6.2.3　港湾施設（防波堤）の耐津波設計について

国総研では、細川ら [1]により、津波による防波堤の被災メカニズムを分析することにより、防波堤の耐津波設計の手法および発生頻度の高い津波を越える津波が来襲する場合においても粘り強く、津波減災効果を発揮する防波堤のあり方について検討を行った。そして、図-Ⅳ.6.2.3.1 に示すような防波堤の全体安定性に関する総合的な検討手法を提案した。さらに、今回の津波で被災した八戸港北防波堤における粘り強い構造の検討事例を紹介した。

これらの検討成果は、平成 25 年 9 月に国土交通省港湾局 [2]により策定された「防波堤の耐津波設計ガイドライン」（以後、Ⅳ.6.2.3 ではガイドラインと呼ぶ）

に反映された。また、これらの検討事項を参照することで、今後、新たに設置する防波堤と既存の防波堤の両方において、粘り強く耐えられる防波堤の設計が可能となった。

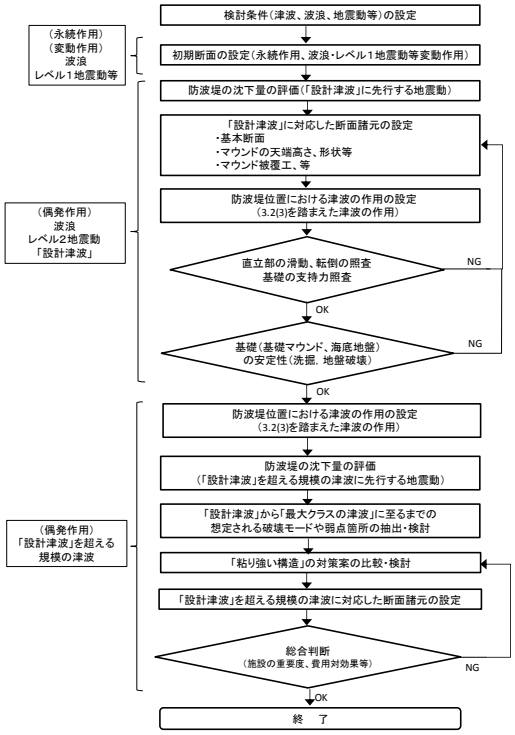



**図-Ⅳ. 6. 2. 3. 1　防波堤の全体安定性に関する総合的な検討手法の例** [1)]

ガイドラインにもとづき防波堤の設計を各港湾で進めるにあたり、小原ら [3)]は、港湾形状や既設防波堤の有無による定性的な評価に加え、図-Ⅳ.6.2.3.2 に示すように防波堤の津波減災効果を延長、天端高，開口幅といった具体的な形状から考察することで、詳細な津波シミュレーションを実施する前段階で「津波減災効果の高い(あるいは補強により高い津波減災効果を期待できる)」港湾を選別し、補強対象港湾のスクリーニングを実施しうる簡易な指標を提示した。ここで、遮蔽効果の低い港湾とは、津波の来襲方向に対して防波堤が開いて配置されていた港湾であり、開口幅比に関係なく津波減災効果が低いと考えられるため、相関曲線の推定にあたり計算から除外した。

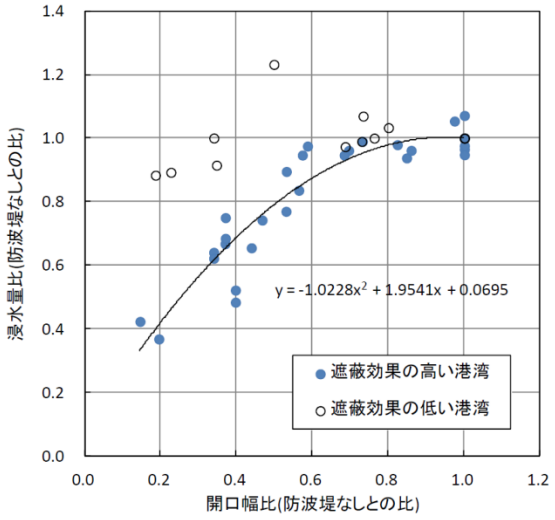
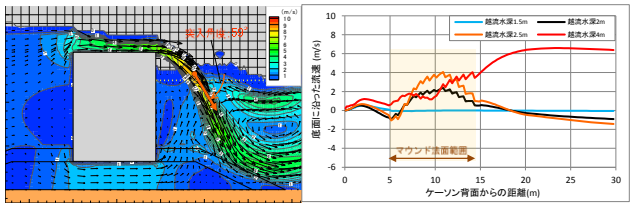
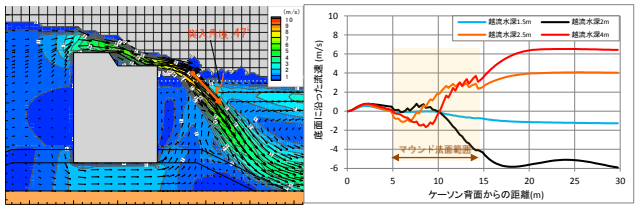



**図-Ⅳ. 6. 2. 3. 2　開口幅比と浸水量比の関係** [3)]

また、ガイドラインに示す防波堤の粘り強い構造化への工夫の一例として、宮田ら [4)]は、水理模型実験の結果から、防波堤の天端に段差（パラペット）を付けることにより防波堤ケーソンの背後から飛び出す水塊の方向を変化させ、ケーソン背後の基礎マウンド等の洗掘を避ける方法を示した。そして、図-Ⅳ.6.2.3.3 に示すように数値解析を用いて越流水深を変化させた感度分析を行い、パラペット断面の有効性について確認した。越流水深が 2.5m と 4.0m の場合には、パラペットの設置によりマウンド法面範囲の流速の絶対値が小さくなっている。越流水深が 1.5m の場合にはパラペットの設置にかかわらず流速が十分小さい。越流水深が 2.0m の場合には、パラペットを設置した場合にケーソン側に向かう流れが生じた。ケーソンに向かう流れの影響や発生条件については今後詳細な検討が必要である。




(1)　標準断面の場合

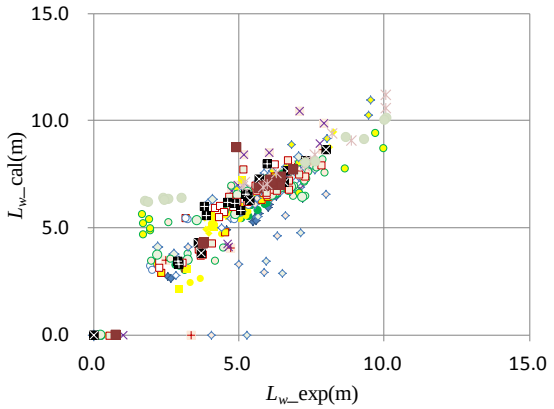



(2)　パラペット断面の場合

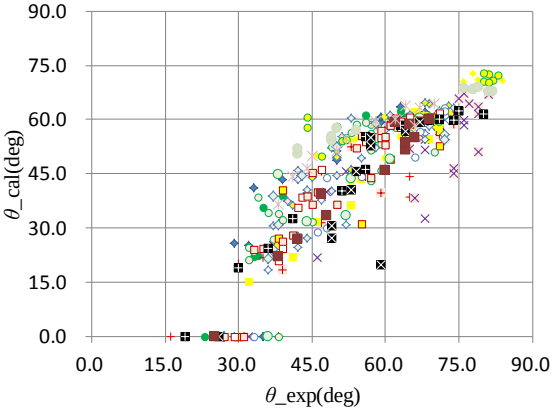
**図-Ⅳ. 6. 2. 3. 3　防波堤ケーソン周辺の流速分布** [4)]

さらに、ガイドラインにもとづく防波堤の耐津波設計を高度化するために資する汎用データの蓄積を目的として、宮田ら [5]は防波堤ケーソンを津波が越流する際の水理特性を把握するための水理模型実験を実施した。実験結果に基づき、ケーソンを越流した水脈がケーソン背面から飛び出し、背後水面へ打ち込む際の位置・角度・流速を簡易に推定できる手法を提案するとともに、図-Ⅳ.6.2.3.4 に示すように、その推定精度を示した。

また、ガイドライン発行時点では、実験による検討が不十分であり、特に防波堤の背面水深が浅く、直立部前後の水位差が大きい場合の防波堤の背面静水圧補正係数 $\alpha_r$ （防波堤越流時に防波堤背面において静水圧から水圧がどの程度低減するかを示す係数）がどのような値を有するか不明であった。本水理模型実験の結果から、背面波圧係数が 0.9 より小さくなる場合があることが分かり（図-Ⅳ.6.2.3.5）、ガイドラインの改訂（平成 27 年 12 月）において、これらの結果があらたな知見として追加された。




(a) 打込距離




(b) 打込角度

図-Ⅳ. 6. 2. 3. 4　ケーソンを越流した水脈の背後水面への打込距離と打込角度の推定値の評価 [5]

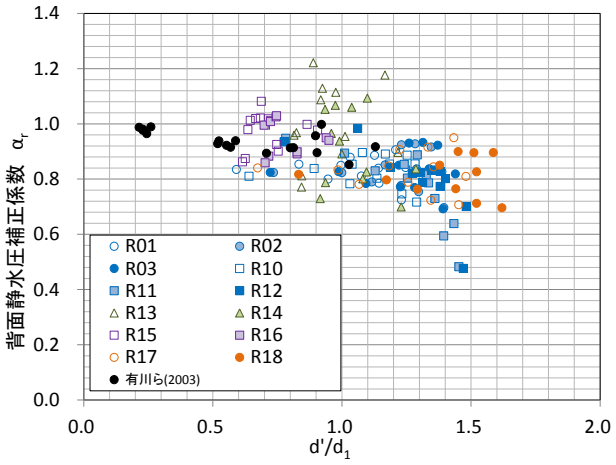
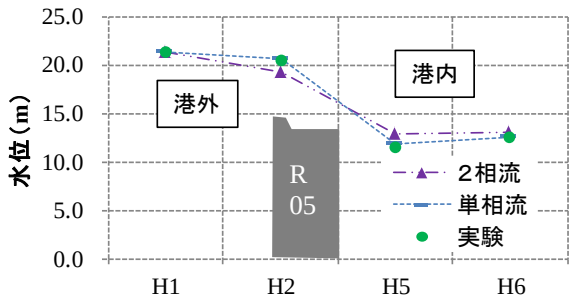
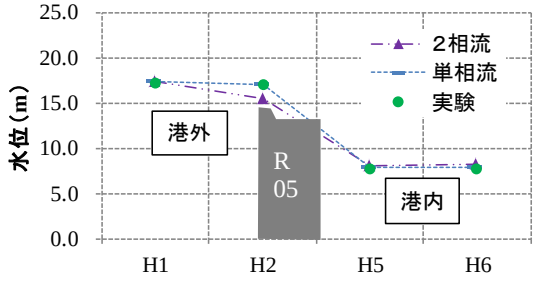



図-Ⅳ. 6. 2. 3. 5 背面静水圧補正係数と無次元化水位差の関係 [5]

さらに、小竹ら [6]は、津波が防波堤を越流する際に、越流水脈と港内側の水面およびケーソン外面に囲まれた空気相がナップを形成し、そこに負圧が生じると防波堤ケーソンの安定性が低下する恐れがあることから、ナップやそれに伴う空気層の負圧に着目した. そして、単相層流解析と 2 相流解析で水理模型実験の再現計算を行い、越流津波に対する防波堤安定性評価での空気相の影響を考究した。図-Ⅳ.6.2.3.6 に示すように、こ




(a)　港外水位の大きいケース(R05)




(b)　港外水位の小さいケース(R05)

図-Ⅳ. 6. 2. 3. 6　防波堤（パラペットあり）周辺の水位分布（数値計算結果）[6]

こで対象とした実験結果に対しては、単相流解析の再現性の方が妥当であった。これは、2 相流解析の場合に付着ナップが形成されたことによるものであり、今後、実現象でのナップの形成状況について検討を進めることが重要である.

参照文献

1) 細川真也・宮田正史・青木信之・鴨打浩一、津波に対して粘り強い港湾構造物の設計手法に関する研究、平成 24 年度国土技術研究発表会、平成 24 年 10 月.
2) 国土交通省港湾局、防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 15 年 9 月、平成 27 年 12 月一部改訂)、平成 27 年 12 月.
http://www.mlit.go.jp/common/001114049.pdf
3) 小原恒平・宮田正史・青木信之・金正富雄・笹井剛・佐藤広章、最大クラスの津波に対する防波堤の津波減災効果について、土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.69、平成 25 年 10 月.
4) 宮田正史・野島和也・桜庭雅明・浅井茂樹、防波堤天端形状が津波越流時の流況特性に及ぼす影響に関する数値解析、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、平成 25 年 9 月.
5) 宮田正史・小竹康夫・竹信正寛・中村友昭・水谷法美・浅井茂樹、防波堤を越流する津波の水理特性に関する実験的研究、土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.70、平成 26 年 6 月.
6) 小竹康夫・中村友昭・水谷法美・宮田正史・竹信正寛・浅井茂樹、越流する津波に対する防波堤の安定性評価における空気相の影響に関する考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.70、平成 26 年 11 月.

## Ⅳ.6.2.4　港湾施設の耐震設計と地震被害推定について

27.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料(第 836 号)、宮田正史・竹信正寛・野津厚・渡部富博・佐藤裕司、大規模地震時における港湾全体としての係留施設の被害程度の推定手法の提案、2015.4

港湾空港部港湾施設研究室では、港湾における BCP 策定等の前提条件となる係留施設の地震時被害程度や施設被害に伴う復旧工費・復旧工期の推定手法を提案した。推定手法は、1 次元化地震応答解析を行うことによる係留施設のバース単位での残留水平変形量の推定と、復旧工費と工期を推定するモデルから構成される。図-Ⅳ.6.2.4.1 および図-Ⅳ.6.2.4.2 は、A 港および B 港の 2 種類のモデル港湾を設定して、提案手法を用いて過去の地震による被災事例の検証解析を行い、岸壁の変形量や岸壁の被災にともなう復旧工費・復旧工期を解析した結果である。その結果、重力式岸壁や矢板式岸壁における地震時変形量の抑制効果を考慮できないことや耐震強化岸壁を対象外としているなどと言った課題はあるものの、復旧工費と復旧工期を一定の精度で推定できることを示した。その詳細は上記文献を参考にされたい。

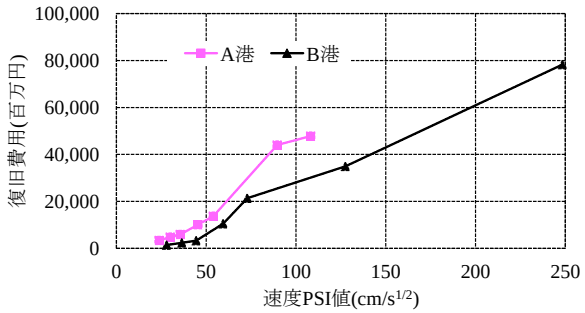



**図-Ⅳ. 6. 2. 4. 1　対象地震の速度 PSI 値と港内の全施設の復旧費用の関係**

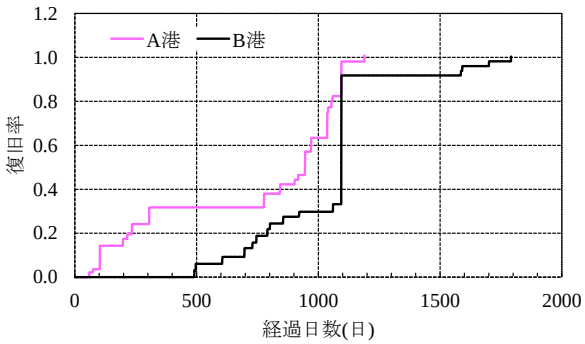



**図-Ⅳ. 6. 2. 4. 2　施設復旧率の経時変化**

東北地方太平洋沖地震の際，震源断層に比較的近い宮城県から茨城県にかけての多くの地点で観測された地震動の速度波形は明瞭なパルスによって特徴づけられている。過去において 1995 年兵庫県南部地震や 1994 年ノースリッジ地震の際,震源近傍で生じた強震動パルス（工学上重要な周波数帯に表れるパルス）が大被害をもたらしたことはよく知られている。これに対して、海溝型巨大地震がもたらす強震動パルスについては、これまであまり重要視されていなかった。今後、海溝型巨大地震に対してとくに耐震設計を目的とする強震動予測を行う場合には，強震動パルスの生成を意識した震源のモデル化を行うことが極めて重要と考えられる。

これまで強震動パルスを再現するために設定していた「アスペリティ」と呼ばれる領域は、①常時は固着しており、②地震時に大きく滑って、③強い地震波を

出すという 3 つの条件を満たす断層面上の領域であった。しかしながら、東北地方太平洋沖地震時においては大きく滑った領域と地震動を生成した領域とが必ずしも一致しないことが明らかになっている。そこで、野津・長尾 [1]は、断層面上で強震動パルスを生成したと考えられる領域を強震動パルス生成域（SPGA, Strong-motion Pulse Generation Area）と定義して、震源パラメターを経験式で表すことにした。

まず、海溝型巨大地震による強震動パルスの生成事例を示した。次に、海溝型巨大地震による強震動パルスの再現を目的として構築された既往の震源モデルを整理した。そして、図-Ⅳ.6.2.4.3 に示すように、断層面上で強震動パルスを生成したと考えられる領域（SPGA）の諸特性と地震規模との関係について検討し、地震動の予測のための震源パラメターの経験則を示した。

本研究で得られた経験式は、海溝型巨大地震を対象とする当面の強震動予測では有用なものと考えられる。ただし、強震記録の得られている海溝型巨大地震はまだ少ないため、今後さらに事例を蓄積して信頼性を向上させる必要がある。

また、竹信ら [2]は、被災報告書等から、被災事実との整合性の取れる耐震設計法の構築および技術基準への反映を目指すことを目的として、港湾における岸壁の被災・無被災事例を収集し、岸壁の代表的な構造形式である重力式岸壁を対象として、現行設計法の妥当性について検証を行った。港湾における係留施設の耐震設計におけるレベル 1 地震動の照査用震度は、水深 7.5m 以深の岸壁に対する数値解析を用いたキャリブレーション結果を用いており、これまで被災事例による検証はなされていなかった。図-Ⅳ.6.2.4.4 に示すように被災検証結果は、現行の設計法について、照査用震度算定式のキャリブレーション範囲である水深範囲において概ね整合していた。一方、水深の小さい範囲では設計法の改善が必要であることがわかった。今後も、過去の地震被災調査結果を活用して，現行基準の耐震設計法に関する検証作業を引き続き進めていくこととしている。

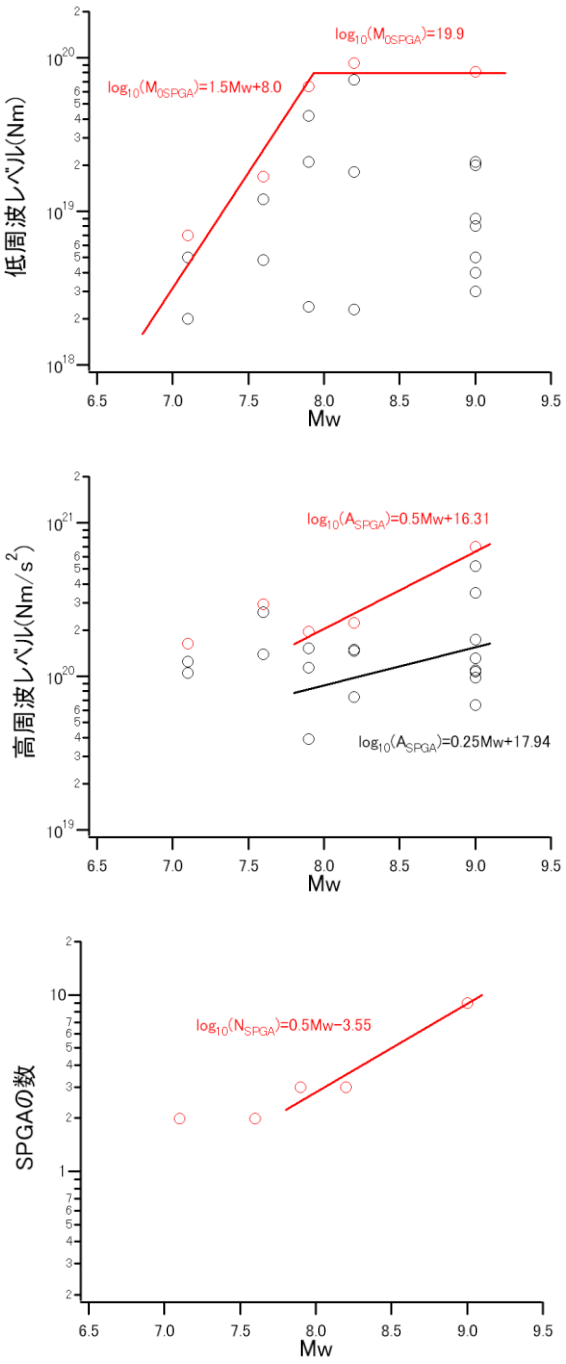
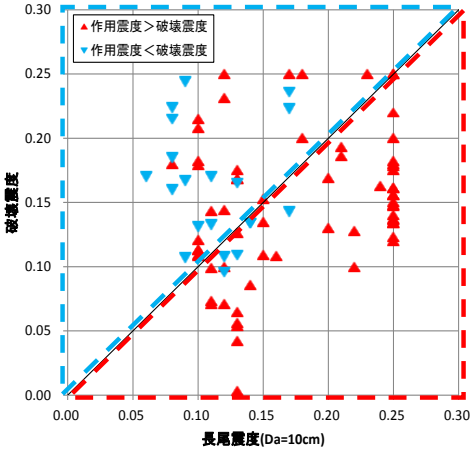
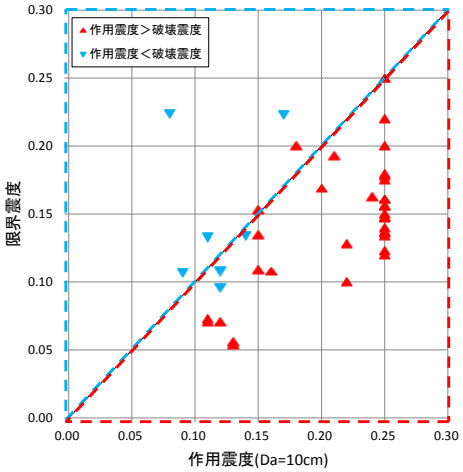



図-Ⅳ.6.2.4.3　強震動パルス生成域（SPGA）の低周波レベル、高周波レベルおよびSPGA の数と地震規模との関係 [1]




(a) 全水深(水深 1.5m～14.6m)




(b) 7.5m 以深(水深 7.5m～14.6m)

**図-Ⅳ. 6. 2. 4. 4　係留施設に対する耐震設計法の検証結果** [2)]

この他、小濱ら [3)] は、2011 年東北太平洋沖地震において得られたコンテナクレーン及びその下部岸壁での強震観測データについて整理し、実際の地震時におけるコンテナクレーン及び下部岸壁の振動特性の解明を行った。図-Ⅳ.6.2.4.5 に示すように、ここで対象としたクレーンの横行方向の固有周期は約 0.46Hz であり、過去に行われた振動実験やクレーン上での常時微動観測結果により調べられた固有周期が、実際の地震中のクレーンの振動特性と同等であることが確認された。また、クレーンを 1 質点の振動系に模した簡易な解析値は、免震装置の作動前においては、クレーンの横方向固有周期での減衰として適正な値を与えることにより観測結果とおおよそ整合していることを示した。

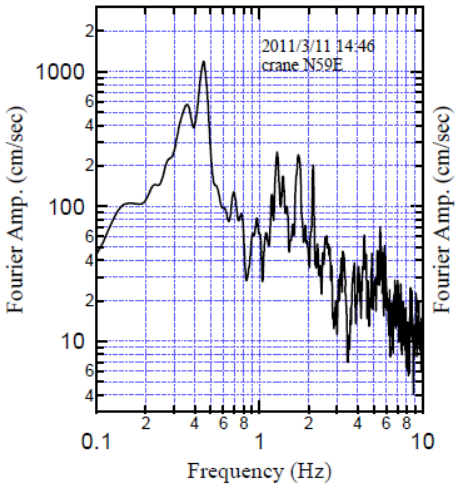



**図-Ⅳ. 6. 2. 4. 5　クレーン上の強震観測データのフーリエスペクトル（横行方向）** [3)]

参照文献

1) 野津厚・長尾毅、海溝型巨大地震による地震動の予測のための震源パラメターの経験式、港湾空港技術研究所資料 No.1257、平成 24 年 9 月.

2) 竹信正寛・宮田正史・佐藤裕司、過去の地震被災事例を踏まえた係留施設に関する耐震設計法の検証、国総研レポート 2015、平成 27 年 4 月.

3) 小濱英司・菅野高弘・竹信正寛宮田正史・野津厚、2011 年東北地方太平洋沖地震における桟橋およびコンテナクレーンの地震観測、土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.69、平成 26 年 6 月.

**参考文献**

1) 大江悠介ほか、津波避難施設の最適配置のための数理計画モデル生成、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年春季研究発表会アブストラクト集、pp.130-131、平成 24 年 3 月.

2) 熊谷 兼太郎、富田 孝史、津波避難開始時間の数理モデル、土木計画学研究・講演集、Vol. 50、平成 26 年 11 月.

3) 熊谷兼太郎、2011 年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動の津波避難シミュレーションによる再現性の検証、土木学会論文集 D3（土木計画学）、Vol. 70.No.5、I_187-I_196、平成 26 年 11 月.

4) 熊谷兼太郎、レーザセンサを用いた津波避難の人流測定、土木計画学研究・講演集、Vol. 49、平成 26 年 6 月.

5) Hinata et al.、Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected

by HF radar in the kii Channel,Japan、Estuar., Coast. And Shelf Science 、 Vol. 95,issue1 、 pp.268-273、2011 年 11 月.
6) 日向ら、紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.68,No2、I_196-I_200、2012 年.
7) 藤良太郎、日向博文、藤井智史、永松宏、小笠原勇、伊藤浩之、片岡智哉、高橋智幸、仮想津波実験に基づく海洋レーダ津波検知距離の検討、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.70,No1、I_351-I_355、2015 年.
8) 片岡智哉、藤良太郎、日向博文、永松宏、小笠原勇、伊藤浩之、高橋智幸、短波海洋レーダによる津波観測のためのノイズ軽減手法の開発、日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、Vol.50、pp.65-66、2015 年.
9) 大村智宏、八木宏、中山哲厳、米山正樹、成田賢仁、加藤広之、門安曇、滑川順、胸壁に作用する津波波力に関する実験的研究、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.71,No2、I_991-I_996、平成 27 年 11 月.
10) 淺井正、樋口直人、田中聡、陸閘の被災に与える戻り流れの影響に関する数値計算、土木学会論文集 B2（海岸工学）、"Vol.71,No2"、I_1111-I_1116、平成 27 年 11 月.
11) 淺井正、樋口直人、田中聡、東北地方太平洋沖地震津波で被災した胸壁の津波越流に関する数値計算による検証、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.70. No.2、I_321-I_325、平成 27 年 11 月.
12) 小原恒平、宮田正史、青木信之、金正富雄、笹井剛、佐藤広章、最大クラスの津波に対する防波堤の津波減災効果について、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.69. No.2、平成 25 年 10 月.
13) 細川真也、宮田正史、青木信之、鴨打浩一、津波に対して粘り強い港湾構造物の設計手法に関する研究、平成 24 年度国土技術研究発表会、平成 24 年 10 月.
14) 宮田正史、野島和也、桜庭雅明、浅井茂樹、防波堤天端形状が津波越流時の流況特性に及ぼす影響に関する数値解析、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、平成 25 年 9 月.
15) 宮田正史、小竹康夫、竹信正寛、中村友昭、水谷法美、浅井茂樹、防波堤を越流する津波の水理特性に関する実験的研究、土木学会論文集 B3（海洋開発）、Vol.70、平成 26 年 6 月.
16) 小竹康夫、中村友昭、水谷法美、宮田正史、竹信正寛、浅井茂樹、越流する津波に対する防波堤の安定性評価における空気相の影響に関する考察、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol.70、I_931-I_935、平成 26 年 11 月.
17) 小濱英司、菅野高弘、竹信正寛、宮田正史、野津厚、2011 年東北地方太平洋沖地震における桟橋およびコンテナクレーンの地震観測、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol.69、平成 26 年 6 月.
18) 野津厚、長尾毅、海溝型巨大地震による地震動の予測のための震源パラメターの経験式、港湾空港技術研究所資料、第 1257 号、
19) 竹信正寛、宮田正史、佐藤裕司、過去の地震被災事例を踏まえた係留施設に関する耐震設計法の検証、国総研レポート 2015、pp.71、平成 27 年 4 月.

## Ⅳ.7　空港における減災対策の検討

国総研の役割として、研究成果の全国的な政策・事業への反映を目指している。空港分野においては、成果を防災計画策定のための施策に反映させることを目指して関連研究を鋭意進めているところである。以下、本節において研究成果を紹介する。

### Ⅳ.7.1　震災リスクマネジメントの応用

29.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 756 号）、中島由貴ほか、空港の災害リスクの定量的評価に関する研究、2013.9
30.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 783 号）、中島由貴ほか、空港の確率論的リスク評価における財務影響分析に関する研究、2014.3
31.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 830 号）、小野正博ほか、空港の性能維持・早期復旧に関する地震リスクマネジメント、2015.3
32.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 55 号）、中島由貴ほか、公共施設運営権設定下の地震リスクマネジメントに関する研究～空港を例として～、2015.3
33.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 863 号）、中島由貴ほか、空港総体での安全評価の問題点と地震リスクマネジメントに関するガイドラインの試案、2015.9

国土交通省航空局は、2007 年に「地震に強い空港のあり方」により、施設集合体である空港総体の地震災害時の役割として、救急救命、緊急物資・人員輸送、民間航空機運航の三つを示し、それぞれにおける性能の復旧とその期限について目標を示した。

空港は、国管理の滑走路･エプロン、県等管理のアクセス、民間管理の旅客ターミナルビル・燃料貯蔵タンクなど、総体として構造様式・管理者が多種多様の施設の集合体である。施設集合体である空港総体の復旧にあたり、これら施設別の復旧の進捗状況を評価する必要がある。個々の施設の復旧過程は無数にあり、その復旧過程そのものが確率事象であり、それらが束ねられる空港総体の復旧過程も確率事象となる。

しかしながら、確率事象としての空港総体の復旧過程について、その性能と期限の定量的な表現方法や評価方法そのものが見当たらず、目標に対する現行施設の性能の過不足や対策の優先順位も不明のままであった。

東日本大震災では、空港の被災とその復旧過程について経験的なデータが得られたので、原子力施設や損害保険設計に用いられているリスクの代表的な定量化手法（システムモデルやイベントツリー分析など）を導入し、得られたデータを活用し、評価手法を構築した。

空港総体の性能と期限の評価方法として二つを提案した。日数単位で復旧される民間航空機運航にあっては、無数にある復旧過程を、経過日数別に性能を期待値で示す「復旧曲線」を提案した。これは業務継続計画の BCP 曲線に一見類似しているが、無数にある復旧過程について、BCP 曲線は確率を考慮せずにある一過程を示すに過ぎないのに対し、復旧曲線は全ての復旧過程を網羅し期待値で代表して示したもので、これにより対策の合理的な検討や関係者間の合意形成が可能となる。また、発災直後から時間単位で空港の使用を求められる救急救命・緊急物資・人員輸送にあっては、経過時間別の使える確率である「健全度確率」を提案した。これは、例えば発生 2 時間後に緊急輸送機がどの程度離発着できるか、通常時を 100%として確率値で示すもので、パイロット等が出動可否を判断する際に助けとなるものである。併せて、復旧を遅らせる要因や対策の優先順位を把握するための指標を検討し、対策の範囲や優先順位付けを行う方法を示した。

また、会社管理空港や公共施設運営権設定空港においては、施設集合体を一の会社が管理を行うため、地震時に復旧費用の支出や復旧まで収益減少により、会社が倒産等経営困難に至ることが考えられる。そのため地震時の会社管理空港の財務影響分析方法が必要である。会社の経営状態を示す普遍的な財務指標の一つである流動比率等に着目し、シナリオ地震の地震動強さ順に流動比率を表す財務ストレス関数を提案した。これにより、地震のため資金繰りがショートし経営困難に至る分界点を明示することができた。併せて、損害保険により流動比率の悪化をどの程度防げるか、損害保険の効果を計測できるようにした。

これら知見については、空港のリスクマネジメントガイドライン試案としてとりまとめた。今後、期限別に目標とする復旧性能が確率値で示されたことにより、信頼性理論の考え方に基づく空港の耐震設計要領への反映を目指すこととしている。詳細は上記文献を参照されたい。

## Ⅳ.7.2　震災初期段階での緊急対応に求められる空港機能の分析

34.国土技術政策総合研究所 : 国土技術政策総合研究所資料（第 718 号)、中島由貴ほか、津波災害の初期段階における代替空港に関する検討、2013.3

仙台空港は被災域内唯一の拠点空港であったが津波によって被災した。同空港の応急復旧期間中、陸上自衛隊霞目飛行場及び海上自衛隊艦艇等が、同空港の代替空港施設として、回転翼機（ヘリコプター等）の拠点として使われた。

本研究では、関係者の理解と配慮を得て、ヒアリング等を通じ、救急救命の回転翼機の運航の実態を明らかにした。大量の燃料消費、荒天候・夜間による有視界飛行の制約、高頻度の整備・点検、同時多離発着の管制など、空港設計では余り考慮されない回転翼機について、固定翼機と大きく異なる災害時の運用特性について貴重な知見が得られた。

また､回転翼機の実態データを整理することにより、救急救命段階の空港の離発着性能、地震災害に必要な空港の要件等を整理した。

さらに、調査結果を踏まえ、津波被災の恐れのある空港について、定性的なリスク評価手法を用いて空港間での津波対策の必要性の優先順位付けを行い、南海トラフの巨大地震時に代替空港のない低地空港の津波対策が最も優先されるものとした。

詳細は上記文献を参照されたい。

# Ⅳ.8　建築物の地震動・津波・地震時火災への対処能力向上

東日本大震災では、津波により建築物が多大な被害を受けたが、外壁材は流されつつも構造躯体は残存した例も見られた。また、被災地から遠く離れた首都圏や大阪湾岸の超高層建築物において、長周期地震動による長く続く揺れが観測された。そのほか、天井材やエレベーター等の非構造部材の被害や湾岸地域等で発生した大規模な液状化被害など、特徴的な被害が多数発生している。

こうした建築物等における様々な被害の発生を受けて、国総研では建研と連携し、津波避難ビルの構造要件の検討、建築物の長周期地震動への対応、火災に備えた緊急点検・対応計画の検討、天井等の落下防止対策やエレベーター等の脱落防止対策の検討、地盤の液状化判定法の開発などの課題に取り組み、その成果をそれぞれ告示等の技術的基準として取りまとめている。

## Ⅳ.8.1　津波避難ビルの構造基準の検討

### Ⅳ.8.1.1　津波避難ビル等の構造基準の検討

35.国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料（第 673 号）、津波避難ビル等の構造上の要件の解説、2012

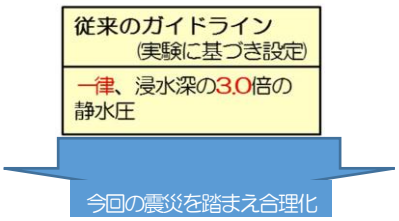
東日本大震災では、津波により多くの建築物が滅失・損壊し、多くの尊い命が犠牲になったところであり、特に津波来襲時の一時避難先となる津波避難ビル等の建築物においては、津波に対する構造耐力上の安全性確保の重要性があらためて認識された。

このため、国土交通省住宅局及び国総研では、津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等について、現地建築物被害調査を実施するとともに、これを踏まえ早急に検討を行った。

本検討は、国土交通省補助事業（建築基準整備促進事業）を活用し、東京大学生産技術研究所と建研との共同研究として行った調査研究を基にして、既存の津波避難ビルの設計法の合理化に関する知見をとりまとめたものである。

設計法等基準案は、国総研に設置された「建築構造基準委員会」（委員長：久保哲夫東京大学名誉教授）の審議を経て策定された。

これにより、図-Ⅳ.8.1.1.1、図-Ⅳ.8.1.1.2 のとおり、従来の津波避難ビル荷重設定では、浸水深の一律 3 倍の静水圧が規定されていたところを、立地状況等を勘案して浸水深の 2 倍又は 1.5 倍の静水圧にまで緩和できるようになり、また、浮力による転倒に関する検討、洗掘や漂流物の衝突への設計上の配慮等についても明確化がなされた。




| | |
|---|---|
| ①　堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合 | 2.0倍 |
| ②　①のうち、海岸等からの距離が離れている場合（500m以遠） | 1.5倍 |
| ③　①、②に該当しない場合 | 3.0倍 |

図-Ⅳ. 8. 1. 1. 1　津波荷重の設定の合理化

津波波圧算定式

$qz = \rho g(ah - z)$

qz：構造設計用の進行方向の津波波圧（kN/㎡）

$\rho$：水の単位体積質量（t/㎥）

g：重力加速度（m/s2）

h：設計用浸水深（m）

z：当該部分の地盤面からの高さ（m）

a：水深係数。3 とする。ただし、次の表に掲げる要件に該当する場合は、それぞれ a の値の欄の数値とすることができる。

| | 要　件 | a の値 |
|---|---|---|
| (一) | 津波避難ビル等から津波が生じる方向に施設又は他の建築物がある場合（津波を軽減する効果が見込まれる場合に限る） | 2 |
| (二) | (一)の場合で、津波避難ビル等の一が海岸及び河川から 500m 以上離れている場合 | 1.5 |

本検討結果は、次のとおり、基準化に至っている。

・住宅局発出の技術的助言「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（平成 23 年 11 月 17 日付国住指代 2570 号）」で示された「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」（国土交通省ホームページの次を参照。

http://www.mlit.go.jp/common/000172861.pdf）

・津波防災地域づくりに関する法律に基づく告示「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対し安全な構造方法等を定める件（平成 23 年国土交通省告示第 1318 号）」（国土交通省ホームページの次を参照。

http://www.mlit.go.jp/common/000214459.pdf）

なお、その後、津波避難ビルの設計法等の解説及び当該設計法等に基づいた津波避難ビル等の設計例が掲載された「津波避難ビル等の構造上の要件の解説」を作成し、平成 24 年 2 月から全国 7 箇所で講習会を開催し、周知に努めた。（（一財）日本建築防災協会ホームページの次を参照。

http://www.kenchiku-bosai.or.jp/seismic/tsunami_text.html）

### Ⅳ.8.1.2　津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討

東日本大震災以降、国土交通省では津波避難ビル等の構造基準の合理化に資することを目的とした建築基準整備促進事業を平成 24～26 年度の三ヵ年にわたって実施した。同事業では建築物の津波波力・波圧に及ぼす影響を定量的に調べるため水理実験および数値シミュレーションを実施している。

(1) 平成 24 年度

平成 24 年度建築基準整備促進事業において 2 次元および 3 次元の建築物縮小模型を作成し、水理実験を行うことで建築物に作用する水平波力について検討した。パラ―メータは開口の有無とした。 検討の結果、建築物の開口率に応じて波力が低減すること、開口を有することにより浮力が低減すること，堰上げ高さがフルード数(波の伝搬速度に対する流速の比率で流体の流れの勢いを表す指標)と相関を有していること等を実験的に確認した。また、CADMAS-SURF/3D を用いた水理実験の数値解析を行い、既存の汎用的な解析手法により建築物に作用する水平波力が追跡できることを確認した。

(2)　平成 25 年度

平成 25 年度建築基準整備促進事業においてピロティ架構形式の構造物に作用する抗力について水理実験により検討した。また、防潮堤を想定した遮蔽物の有無がもたらす津波波力の差異について水理実験により検討した。東日本大震災において被災した木造建築物について壁内断熱層による浮力の寄与について検討した。

検討の結果、ピロティ形式のような開口率の大きな建築物では内部構面に作用する波力についても考慮する必要があること、射流では背面の空洞化により抗力係数がフルード数に依存すること、木造建築物では壁内断熱層の空気体積も浮力として作用すること等が明らかになった。

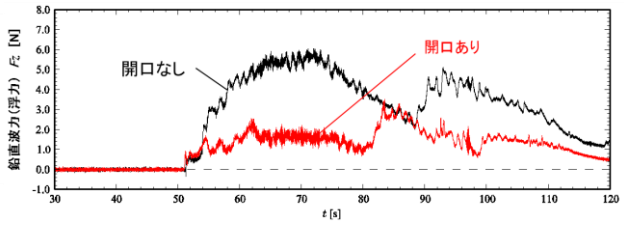



図-Ⅳ. 8. 1. 2. 1　開口の有無による浮力の違い

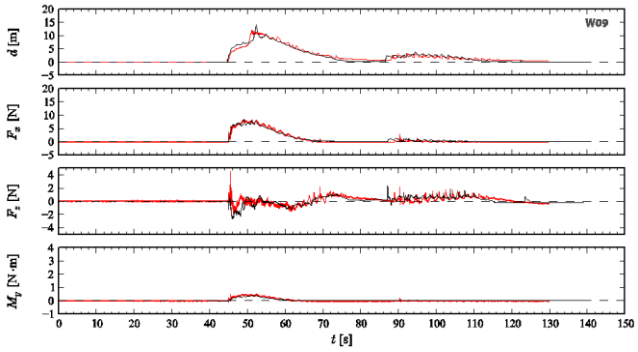
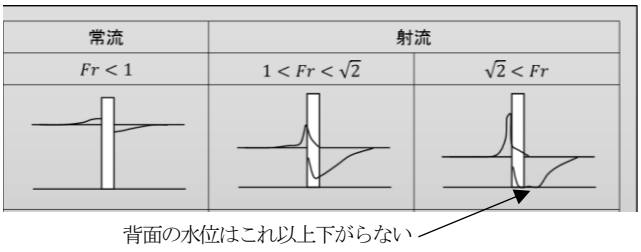



図-Ⅳ. 8. 1. 2. 2　水理実験（黒）および解析結果（赤）の比較例




(記号 Fr はフルード数とする)

図-Ⅳ. 8. 1. 2. 3　背面の空洞化による作用波力の模式図

(3) 平成 26 年度

平成 26 年度建築基準整備促進事業においてピロティ架構形式の構造物に作用する抗力について VOF 法(液体と気体の界面(自由表面)にのみ圧力をかける流体解析法)に基づく数値シミュレーションにより検討し、開口率の異なる構面を有する建築物および複数構面の波力分布に関する考え方について検討した。また、防潮堤を想定した遮蔽物に加えて地表面粗度の有無がもたらす津波波力の差異について理論式および数値シミ

ュレーションにより試行した。

検討の結果、ピロティ建築物では構面数に応じて全体波力が概ね線形的に増加すること、また、その傾向はフルード数に依存しないことなどを明らかにした。遮蔽効果については(1)傾斜、(2)地表面粗度に応じて水深係数が 3.0 から 1.5 に低減するまでの海岸線までの距離の算定方法に関する理論式を提案した。

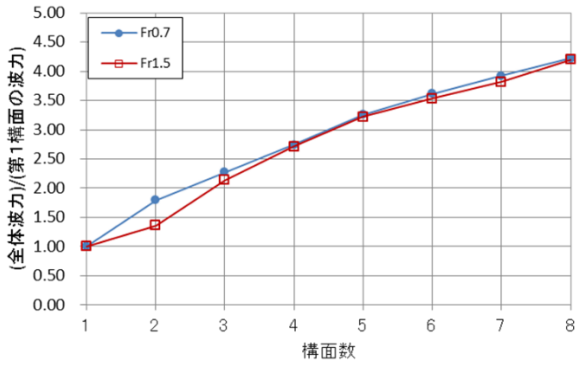



**図-Ⅳ. 8. 1. 2. 4　架構構面数を変化させた場合にピロティ架構に生じる津波波力の変化**

(4) まとめ

これらの研究成果から(1)開口により浮力が低減すること、(2)フルード数により抗力係数が変化すること、(3)ピロティ建築物では第一構面以外も波力を負担しうること等の新しい知見が得られ、国総研ではこれらの知見の取りまとめを行った。本研究の成果は、今後の津波避難ビル等の構造基準の見直しや地方自治体における津波避難ビル等の指定に当たっての技術的根拠として活用されることが期待される。

参照文献

1) 東京大学ほか　国土交通省 平成 24～26 年度 建築基準整備促進事業「津波避難ビルの構造基準の合理化に資する検討」　報告書、　2012-2014

## Ⅳ. 8.1.3　外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発

東日本大震災における津波による鉄骨造建築物の被害では、写真-Ⅳ.8.1.3.1 のように外壁材が破壊され流失したものの構造躯体は残存した例が多く見られた。これは、津波到達時に外壁材が早期に流失したことにより、構造躯体に作用する力が減少したことが一因であると考えられる。このことから、外壁材の脱落による津波荷重低減が構造躯体の残存、津波避難ビル上層階の保護に寄与する可能性があることが示唆される。

しかし、現行の告示「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」（平成 23 年国土交通省告示第 1318 号）及び「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」による津波荷重算定式では、開口部については荷重低減が可能であるものの、通常の外壁材については、破壊条件等が実験で明確にされていないことから、当面の安全側の措置として、外壁材の脱落による荷重低減は考慮せず、構造躯体を設計することが原則となっている。そのため、津波荷重が過大となり、部材断面、杭本数等への影響により、構造設計が困難となっているのが現状である。

上記の背景を踏まえ、国土交通省総合技術開発プロジェクト「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」（平成 25 年度～28 年度）では、外壁材の脱落による津波荷重低減を考慮した耐津波設計法を開発することを目的として調査研究を行った。



**写真-Ⅳ. 8. 1. 3. 1　東日本大震災の調査で見られた外壁材の脱落事例（岩手県宮古市）**

検討においては、鉄骨造建築物に取付く代表的な外壁材である ALC パネルを対象として、静的加力試験及び実大規模の水理実験を実施した。静的加力試験では、外壁材の終局強度等の基礎データを取得した。水理実験では、実際に水圧がかかった条件下での外壁材の破壊性状、脱落強度等のデータを取得した。水理実験の一例として ALC 縦壁ロッキング構法の場合の実験状況を写真-Ⅳ.8.1.3.2 に示す。本実験では、鉄骨フレーム面内の 1 層 1 スパン（約 3m×3m）の 領域に外壁材を設置し、その面で仕切られる片方の空間に水を溜め、水圧により外壁材を破壊させる水理実験を実施した。



水位上昇時　　破壊時



破壊直後　　終了時

**写真-Ⅳ.8.1.3.2　水理実験の状況**

実験の結果、脆性的に破壊し接合部を起点に全面脱落する ALC パネルについては、静的加力試験における終局強度から脱落強度を推定できることを明らかにした。最終的には、その結果に基づき、外壁材の脱落による津波荷重の低減を考慮した耐津波設計法（外壁材の脱落判定方法、津波波圧の算定方法、津波波力の算定方法、浮力の算定方法）を構築した。

外壁材の脱落判定方法の概略は以下のとおりである。外壁材の脱落判定式を式-Ⅳ.8.1.3.1 に示す。

$$R_{max} > R_u \qquad \text{式-Ⅳ.8.1.3.1}$$

ここで、

$R_{max}$：告示の津波波圧算定式で算定される津波波圧により外壁材に生じる最大応力

$R_u$：外壁材の最大耐力（水理実験等に基づいて適切に評価された数値とする。ALC パネルの場合、実験結果に基づき、静的加力試験におけるパネルの最大耐力、取付け部の最大耐力に、脱落保証係数 α=3 以上の数値を乗じた値として設定される。）

外壁材の脱落を考慮した津波波圧の算定、津波波力の算定の概略は以下のとおりである。図-Ⅳ.8.1.3.1 に算定イメージを示す。外壁材脱落部については、当該外壁材の最大耐力に相当する波圧だけが作用するものとして、波圧を低減して算定する。建築物各層に作用する津波波力は、算定した津波波圧を支配受圧面積で積分する形で算定する。従来の方法の場合、(b)-(b')断面の波圧分布は点線で囲われる三角形分布となるが、外壁材の脱落を考慮する場合、外壁材脱落部の波圧分布は点線の中の小さな三角形分布となり、両者の差分の波圧が低減される。

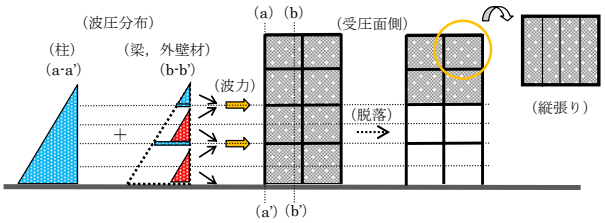
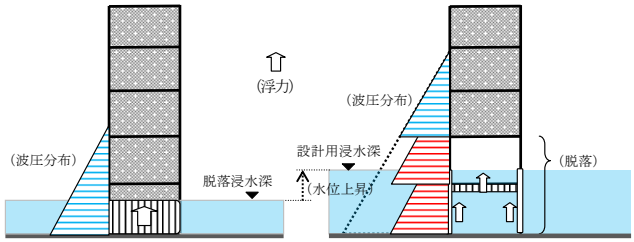



**図-Ⅳ.8.1.3.1　外壁材の脱落を考慮した津波波力の算定イメージ**

外壁材の脱落を考慮した浮力の算定の概略は以下のとおりである。図-Ⅳ.8.1.3.2 に算定イメージを示す。外壁材の脱落を考慮する場合、脱落に伴う水の流入を考慮できる。浮力の値については、脱落直前に水没した建築物体積の浮力と脱落後最終状態までに水没した体積の浮力の最大値を採用する。




(a) 外壁材が脱落する直前の浮力　　(b) 外壁材が脱落した後の最終状態の浮力

**図-Ⅳ.8.1.3.2　外壁材の脱落を考慮した浮力の算定イメージ**

最後に、本設計法に基づく設計例を作成し、外壁材の脱落を考慮した本設計法は、転倒や滑動に対して効果が高いことを確認した。本研究で実施した静的加力試験及び水理実験、設計法及び設計例の詳細については、文献 [1),2),3)] を参照されたい。なお、開発した本設計法については、今後、国総研資料としてとりまとめ、告示の特別な調査又は研究の事例として位置付ける予定である。

参照文献

1）岩田善裕、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、壁谷澤寿一、都祭弘幸、冨田祐介、西畑剛：外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究　その1　実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、pp.75-76、 2014 年 9 月

2）冨田祐介、岩田善裕、壁谷澤寿一、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、都祭弘幸、西畑剛：外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究　その2　実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、pp.77-78、 2014 年 9 月

3）都祭弘幸、岩田善裕、壁谷澤寿一、奥田泰雄、喜々津仁密、迫田丈志：外壁材の脱落を考慮した耐津波設計、日本建築学会大会（関東）構造部門（荷重）パネルディスカッション資料、pp.64-86、 2015 年 9 月

## Ⅳ.8.2　建築物の長周期地震動への対応


36.建築研究所：建築研究資料（第 144 号）、大川出、佐藤智美、佐藤俊明、藤堂正喜、北村春幸、鳥井信吾、辻泰一、北村佳久：超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討　−長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ３連動地震による超高層・免震建物の応答解析−、2013
37.建築研究所：建築研究資料（第 147 号）、大川出、佐藤智美、佐藤俊明、藤堂正喜、北村春幸、鳥井信吾、辻泰一、北村佳久：超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討　ー南海トラフ４連動地震による超高層・免震建物の応答解析ー、2013
38.建築研究所：建築研究資料（第 160 号）、長谷川隆、福元敏之、田上淳、澤本佳和、久保田淳、時野谷浩良、鈴井康正、寺田岳彦、石井大吾、成原弘之、安田聡、金子洋文、宇佐美徹、小鹿紀英、鈴木芳隆、西山功、向井昭義、岩田善裕：長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性に関する検討、2014


平成 15 年 9 月の十勝沖地震の際に震央から約 250km 離れた苫小牧市内で、石油タンクがスロッシングを起こし火災が発生した。また、平成 23 年３月の東北地方太平洋沖地震では、首都圏や大阪湾岸の超高層建築物において、大きな揺れが観測された。これらについては、長周期かつ長時間継続する地震動（以下、「長周期地震動」という。）がその原因の１つであるとして、注目されている。

国総研建築研究部は国土交通省住宅局および建研とともに、建築物を対象とした、既往の観測地震記録に基づく、長周期地震動の評価手法の検討と、それを踏まえた長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法の検討を、行ってきた。さらに、建築物へ影響を与える 0.1～10 秒の幅広い周期成分を含めた設計用長周期地震動の作成手法について平成 21 年度より検討してきた。

国土交通省住宅局は、国総研および建研の協力のもと、平成 22 年 12 月に、「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」を取りまとめ、これに関する意見募集（パブリックコメント）を実施した。多くの意見を踏まえて、試案で示された長周期地震動の評価方法の妥当性について、2011 年東北地方太平洋沖地震のデータを用いて検証を行い、同手法の見直しを行った。

改良された手法を、南海トラフ３連動巨大地震に適用し長周期地震動のシミュレーションおよび超高層、免震両建築物の応答特性を示した。詳しくは、上記の引用文献 35.を参照されたい。

また、内閣府が公表した南海トラフ４連動地震などの最大級とされるマグニチュード９クラスの震源モデルに基づいて、長周期地震動のシミュレーションを行うとともに、それら地震動の建築物への影響を示した。詳しくは、上記の引用文献 36.を参照されたい。

長周期地震動に対する超高層鉄骨造建築物の安全性検証法確立に向けた基礎的知見を蓄積することを目的として，鉄骨部材，接合部，骨組の多数回繰り返し載荷による構造実験を行い、梁端部等の破断までの疲労曲線を明らかにした。 詳しくは、上記の引用文献 37.を参照されたい。

以上の成果は、国土交通省住宅局が平成 27 年 12 月に公表した「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案について」に盛り込まれ、これに関する意見募集（パブリックコメント）を実施し、平成 28 年 6 月に国土交通省住宅局から地方公共団体等へ通知を行った。なお、上記の対策案は国土交通省の Web サイトで公表されている。
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000601.html

## Ⅳ.8.3　高層建築物の地震後の火災対応

本章では、地震直後～復旧までの間、高層建築物が有すべき防火性能について、居住者もしくは建物管理者が点検する方法を提案する。点検方法の主たる部分は、東日本大震災以前に検討を開始したが、東日本大震災で被災したマンションへのヒアリングから得られた知見を基に見直しを行った。

### Ⅳ.8.3.1　ヒアリング結果を踏まえた状況の想定

東日本大震災を受けた高層マンションを対象にヒアリング調査を行い、調査対象の概要（規模、竣工年、管理・運営状況、被害状況等）、被害状況の把握、避難行動、被害対応等を整理した。

ヒアリング結果を踏まえると、居住者は大規模共同

住宅では避難所の受け入れ想定人数を超えてしまい、避難所に入れないこともあるため、被災した共同住宅で生活を継続せざるを得ない場合がある。通常の生活を取り戻すまでの間、多少の不便はあってもその建物に居住し続けるのであれば、建物には平常時のレベルに達しないものの、一定の性能が要求される。一般的な地震後防災対策の議論では、耐震性、居住性が注目されるが、建築基準法の防火規定（建築物の防火性能）については、あまり注意が払われていない。昨今の建物の高層化は今後ますます拡大すると思われ、防火性能を議論しないまま地震後対策を進めると、いざ火災が生じたときに住民の安全性が大きく損なわれる可能性が高くなると危惧される。

上記内容を、国総研資料として2016年出版予定。

#### Ⅳ.8.3.2　点検方法について

地震後の建物が有すべき「防火性能」に焦点をあて、地震経過後の周囲の状況や被害の大きさを勘案しながら、その時々で最低限必要な防火性能を定め、その性能の有無を、住民、建物管理者（ここでいう管理者とは建物内の常駐する者）及び専門家が各段階において簡易な点検により判断できる方法を提案した。主として10 階建て以上の共同住宅を前提にした。

フェーズ 1（地震発生直後の一昼夜の期間）では、出火可能性の低減、及び、避難動線の確保の観点から、住戸内の出火の有無、住戸扉等の開閉障害の有無、住戸内及び共用廊下等での物品等の散乱状況、共用廊下等の破損箇所の有無等の点検項目を挙げている。フェーズ 2（地震発生翌日から、ライフラインの復旧・公設消防力の復旧（公設消防そのものは動いているが個々の建物へのサービスは期待できない状況からの復旧）など外的条件を満たした後、住民が通常時の生活に戻るまでの期間）では、出火可能性の低減、及び、避難動線の確保を求めるとともに、一定の延焼防止性能と構造耐火性能を要求することとし、具体の点検項目を挙げるとともに、簡易な補修法を例示している。フェーズ 2.5（ライフラインが復旧し、かつ、公設消防のサービスも期待できるが、消防隊の活動を支援する施設・設備の能力が欠落した状況）では、非常用エレベーター、屋内消火栓、連結送水管、消火用水、非常コンセント設備などの点検項目を挙げている。これらは専門家による修復作業が必要であり、東日本大震災の仙台のような激震地域で 2～4 週間を要す可能性を指摘している。フェーズ 3（外的条件が整い、通常の生活が可能となる一方で、防火対策は最低限の性能を一時的な補修などによって確保している状態）では、専門家による本格的な点検、及び補修部分の本格的な修復が求められ、防火性能の観点からすべての建築・設備の完全復旧によって、フェーズ 4（通常の状態）に至る。

上記内容を、国総研資料として2016年出版予定。

### Ⅳ.8.4　天井脱落対策に係わる技術基準の検討

39.建築研究部，総合技術政策研究センター，（独）建築研究所：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説，国土技術政策総合研究所資料（第751号）、建築研究資料（第146号）

東日本大震災においては、体育館、大規模ホール等の多数の建築物で天井が脱落し、かつてない規模で甚大な人的・物的被害を生じた。これらの被害を踏まえ、その防止を図るための技術基準の策定が喫緊の課題となり、平成23年度と平成24年度に国土交通省補助事業を活用した調査研究が実施された。

平成 23 年度の「地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討」では、特定行政庁及び関係業界団体への天井地震被害に関するアンケート調査、現地被害調査、過去の地震被害の文献調査等から天井被害について整理・検討し、吊り天井の吊り元の揺れの評価方法、固有周期及び許容耐力、地震時挙動など計算方法、天井の耐震的な仕様及び天井の耐震対策の適用範囲に関する検討を行っている。平成 24 年度の「吊り天井の耐震設計に係る基準の高度化に資する検討」では、システム天井の耐震基準に係る国内外資料の調査と技術的知見の整理・検討、天井に関する製造業者及び施工業者への調査、実際の設計・施工を踏まえた天井の耐震設計の合理化のための調査・検討等により吊り天井の基準に関する設計上の実務的課題の検討を実施している。

これらの研究を踏まえて国総研では、建研の技術的支援を得て、天井脱落対策のための技術基準原案を作成した。検討にあたっては、国総研に設置された「建築構造基準委員会」（委員長：久保哲夫東京大学名誉教授）の審議を経てとりまとめた。その成果として、建築基準法に基づく告示「建築物における天井脱落対策に係る技術基準」（平成25年国土交通省告示第771号ほか）が公布された。

技術基準では「脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井」を「特定天井」と位置づけ、これが適合すべき構造耐力上安全な天井の構造方法を規定し

ている。特定天井は6m超の高さにある、水平投影面積200㎡超、単位面積質量2kg/㎡超の吊り天井で、人が日常利用する場所に設置されているものと定めている。

また、構造耐力上安全な天井の構造方法としては、天井と周囲の壁等の間に隙間を設けるとともに斜め部材等により地震力等による天井の振れを抑制することを基本的な考え方として、①技術基準に定める仕様に適合する方法と、②計算により構造耐力上の安全性を検証する方法を規定している。いずれの方法も、斜め部材等により地震力等による天井の振れを抑制し、併せて天井面と壁等との間に一定のクリアランスを設けることにより、天井材の損傷ひいては脱落の防止を図ることを基本的な考え方としている。ただし、天井の脱落対策については、技術開発の余地が大きいため、こうした考え方とは異なる構造方法であっても、大臣認定を受けたものであれば採用できることとしている。

また、既存建物の天井が特定天井に該当し、一定の増改築を行う際には、この技術基準に適合させるか、またはネット、ワイヤ等で一時的に脱落を防止する措置を講じなければならないこととしている。

国総研では、この新たな技術基準の平成26年4月からの円滑な施行に向けて、設計・施工、建築確認審査、製品開発等の実務において参考となるよう、建研と共同して同技術基準の解説書を国総研資料第751号、建築研究資料第146号として作成、公表した。

解説書では、各規定の解釈や技術上の留意事項をとりまとめた逐条解説のほか、天井材相互の緊結状態の確認や天井の許容耐力等の評価のための標準的な試験方法（耐力・剛性の設定方法）を掲載している。

平成28年6月には、天井と周囲の壁等との間に隙間を設けない新たな仕様を上記の技術基準に追加するための告示の改正が行われ、同7月には国総研が作成に関わった同改正に関する解説書が公表された。

## Ⅳ.8.5　エレベーター、エスカレーターの脱落防止対策の検討

東日本大震災においては、人的被害はなかったものの、商業施設において、4件のエスカレーター落下が確認された。また、エレベーターにおいても、主索の引っ掛かりや損傷、釣合おもりブロックが脱落、落下する等の被害が多数発生した。

これらの対策については、建築基準法に基づく技術基準としてはそれまで明示されていない状況であった。業界の指針においては、エスカレーターの設置について、構造躯体へ層間変位1/100＋20㎜のかかり代を設けることとされていた。

今般の被害を受け、国総研で被害調査を行うとともに、平成23、24年度に実施した国土交通省補助事業（建築基準整備促進事業）を活用して、建築構造分野、昇降機分野の有識者からなる委員会を設けて新たな技術基準原案の検討を行った。

検討においては、被害分析とモデル建築物の地震時における層間変位量をシミュレーションで確認するなどの研究を踏まえた落下防止のための技術的知見の整理検討等を行い、国総研に設置されている建築構造基準委員会（委員長：久保哲夫東京大学名誉教授）の審議を経て基準原案を策定した。

エスカレーターの落下対策としては、落下の原因となった構造躯体からの脱落を防ぐために構造躯体から外れない十分なかかり代を設けるため、かかり代は昇降高さ（揚程）に対し一定の層間変形角（1/24以上等）を乗ずるものとする等の基準案を提案した。

また、エレベーターの構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算基準として、主要な支持部分の応力度の計算方法と強度の評価方法を提案した。

加えて、エレベーターの釣合おもりの脱落防止として、釣合おもりの枠の損傷、変形やたわみによる落下を防ぐための枠に係る構造方法の基準案を提案した。

これらの基準案は、以下の建築基準法に基づく告示として、基準化に至っている。

・「地震その他の震動によってエスカレーターが脱落するおそれがない構造方法を定める件（平成25年国土交通省告示第1046号）」

・「エレベーターの地震その他の震動に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件（平成25年国土交通省告示第1047号）」

・「地震その他の震動によってエレベーターの釣合おもりが脱落するおそれがない構造方法を定める件（平成25年国土交通省告示第1048号）」

（これらの告示については国土交通省ホームページの次を参照。
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000053.html）

## Ⅳ.8.6　住宅性能表示制度に係わる住宅地盤の液状化判定手法

東日本大震災において湾岸地区等で多数発生した戸

建て住宅の液状化被害を踏まえ、住宅性能表示制度における表示項目（参考情報）として宅地の液状化に関する情報を提供することとなった。そのため、建築基準整備促進事業において、小規模宅地向けの簡易な地盤調査法の検討を行うとともに、当該地盤調査法による調査結果を含む表示項目の整理を行った[1]。

なお、国総研では、ここに示す検討に先立って、個々の住宅（宅地）のみではなく周囲の道路等も含めた街区一体としての液状化防止対策についても検討を実施した。その概要については「Ⅳ.10.3　宅地液状化対策に関する研究」にまとめられている。ただし、その成果は基本的に一区画の住戸への対策ではないことから工事の規模も大きく、したがって地盤調査も、ボーリングが前提となるなど戸建て住宅向けとしては一般的ではない。震災の教訓として社会的に求められた内容の一つとして、具体的な液状化対策の選定や工事に先立って、特に戸建て住宅の関係者向けに、たとえば現に居住しあるいはこれから購入を予定する敷地についての参考となる情報の提供が必要とされており、そのため、コストや手間等を考慮して現実的に採用可能な形で液状化判定に活用できる地盤調査法を中心に検討したものである。

### Ⅳ.8.6.1　住宅地盤の液状化判定手法の開発

(1) 液状化予測手法の妥当性の検討

2011 年東北地方太平洋沖地震は、調査時点で提案されていた各種の液状化判定手法が前提としている地震動と比べて継続時間が極めて長く、また、本震に匹敵する規模の余震で液状化被害が拡大したといわれている。そこで、液状化被害発生の予測に用いられる各種の液状化判定法の妥当性について、被害の実態と比較することで検証を行った。対象とした判定方法は建築基礎構造設計指針の液状化判定方法（FL 法）[2]、小規模建築物基礎設計指針の方法[3]、国土庁ガイドラインの方法[4]の３種類である。

検討に当たっては、既往の地盤調査結果[5]に加えて、東京湾岸および利根川流域の沖積低地において、今回地震で液状化が発生した地点を中心に新たにボーリング調査とスウェーデン式サウンディング調査をセットで 13 箇所実施した他、千葉県浦安市および同習志野市において既存ボーリング地点の近傍でスウェーデン式サウンディング調査を 24 箇所実施した。地盤調査地点を図-Ⅳ.8.6.1.1 に示す。

検討の結果、図-Ⅳ.8.6.1.2 に示す通り、FL 法を適用した場合の計算沈下量が、他の２手法と比較して、現地調査結果に基づく液状化被害の程度と一定の整合性を示した。FL 法の問題として実測沈下量との比較や細粒分を多く含む砂からなる埋土層の液状化強度特性の定量的な評価上の問題は残るものの、地表面加速度（α）と地震の規模（マグニチュードM）を自由に変えて検討ができるなど、様々な敷地・設計条件に対する判定（予測）手法としての利点もあり、後述する戸建て住宅を想定した評価手法の検討にあたっては、FL 法をベースとすることとした。

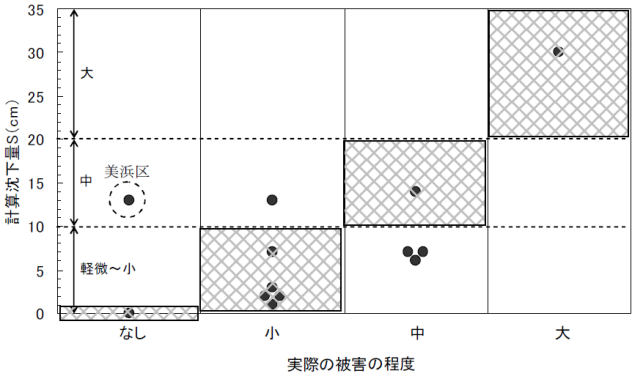



**図-Ⅳ.8.6.1.2　FL 法に基づく計算沈下量と液状化による建築物の被害状況との対応**

(2) 液状化予測や対策に係る関連調査・技術開発等についての知見収集・情報整理

国土交通省各部局および液状化被害を受けた地方自治体において行われている液状化予測手法や液状化対策工法の検討について、特に戸建住宅を対象とした低コストで対応可能な工法を中心に整理した。概要を以下に示す。

- 事前の対策として実績のある液状化対策工法は、原則として新築時の広い敷地で実施することを前提としている。大きな振動・騒音を伴う工法もあり、周辺に住宅が存在する場合や、狭い敷地、既設住宅がある場合への適用が今後の課題である。
- 軟弱地盤上の敷地に住宅を建てる場合は、液状化の防止でなく支持力確保の観点から地盤補強が行われることが多いが、これに液状化対策効果を付け加えることも考えられる。ただし不同沈下の防止を目的として柱状改良または細径鋼管杭などによる地盤補強を行った場合でも、改良深度が液状化対象層より浅いものや液状化対象層の下に杭が十分根入れされていないものでは大きな傾斜が生じた事例が多く、

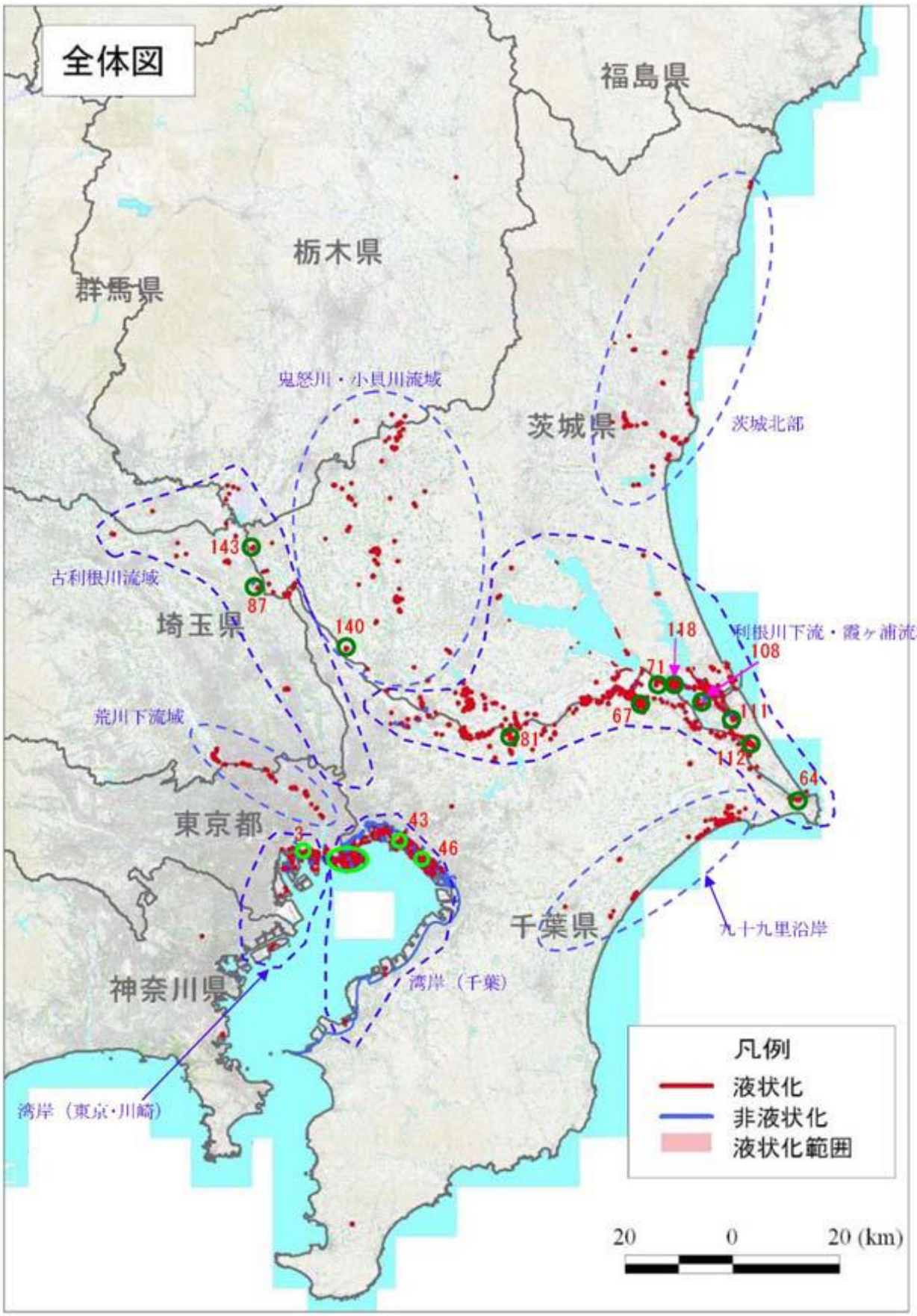



図-Ⅳ.8.6.1.1　関東南部の液状化発生地点と地盤調査地点
（文献[5]に今回地盤調査を実施した調査地点を緑色〇印で加筆）

有効な対策とするためには液状化層の厚さや位置の把握が重要である。

・液状化の発生に伴う住宅の沈下・傾斜被害の事後対応として、雨水時の冠水防止のため建築物の基礎を道路面と同等の高さに修正するジャッキアップ工法を中心とした沈下修正工事が行われる場合がある。この際に費用負担の大きさから安価な工法が選択され、建物の構造や基礎の構造強度を踏まえないで修正工事が行われた結果、建物が損傷する事例や周辺インフラが機能不全となる被害が発生しているため、注意が必要である。その他の考え方として、液状化による地表面沈下量が比較的少ないと予想される場合は予め住宅基礎に沈下修正機構を設置しておくことや、復旧費用を地震保険によって賄うことも考えられる。特に後者については、従来の液状化対策が建設コストと比べて割高であることや、液状化被害の予測精度が未だ十分とは言えないことから、制度面の選択肢として今後の整備が期待されるところである。

(3) 小規模建築物の簡易な液状化判定手法の検討

前出(1)の通り、液状化判定手法としては、建築基礎構造設計指針に基づく FL 法が現時点では最も有効性が高いと考えられる。したがって、これを戸建て住宅など小規模建築物についても適用することとした。ただし、住宅向けの地盤調査の主流はスウェーデン式サウンディング試験であることから、その採用を前提に、追加的に液状化判定上必要な地下水位、土質試料の採取などの調査を実施した結果と組み合わせることを想定し、一定の精度を確保するための検討を行った。

提案された手法は、後述の住宅性能表示制度において液状化に関する情報提供が位置付けられた際の解説書[6]にもまとめられているが、概略としては次のとおりである。

1）スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）による液状化判定のための地盤調査は、原則として以下の内容とする。（図-Ⅳ.8.6.1.3）

①SWS 試験による液状化判定のための調査深度は、深度 GL-10m までとする。

②SWS 試験孔を用いた地下水位測定を実施する。

③SWS 試験孔を用いた試料採取は、深度 GL-10m まで 1 m毎に行う。

④採取した試料を用いた細粒分含有率試験から、細粒分含有率を求める。

⑤戸建住宅一敷地当たりの、液状化判定用の SWS 試験箇所数は、1 箇所とする。

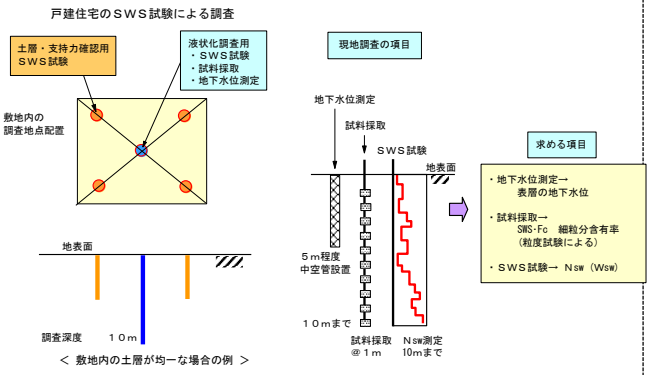



**図-Ⅳ. 8. 6. 1. 3　地盤調査の概要**

2）SWS 試験による液状化判定は、地盤調査結果に基づき、SWS 試験の貫入抵抗 Nsw (Wsw) から算定した推定 N 値と、採取試料の細粒分含有率から算定した補正 Fc を用いて、次に従って行う。

①液状化判定は、建築基礎構造設計指針に準拠した FL 計算、Dcy 計算により行う。

②液状化判定用に用いる細粒分含有率は、SWS 試験孔の採取試料から求めた細粒分含有率（swsFc）に補正を行って求めた「補正 Fc」を適用する。

補正 Fc＝

$$\begin{cases} 0.25\times \mathrm{swsFc}\ \% & (0\%<\mathrm{swsFc}\leqq 40\%) \\ 1.5\times \mathrm{swsFc}-50\ \% & (40\%<\mathrm{swsFc}) \end{cases}$$

③土質区分は、「補正 Fc」による土質判別（砂質土・粘性土の区分）を適用する。

④液状化判定に用いる N 値は、SWS 試験の Nsw（Wsw）から算出した推定 N 値を適用する。ここで、同算定式の利用は、回転貫入における空転が無いことの確認を前提とし、液状化判定における N 値の使用に限定する。

推定 N 値＝

$$\begin{cases} 2\times \mathrm{Wsw}+0.0536\times \mathrm{Nsw} & (\mathrm{Nsw}<150) \\ 10.04+0.0324\ (\mathrm{Nsw}-150) & \\ \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (150\leqq \mathrm{Nsw}<300) & \\ 14.89+0.0237\ (\mathrm{Nsw}-300) & \\ \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (300\leqq \mathrm{Nsw}\leqq 500) & \end{cases}$$

⑤土被り圧の算定に用いる湿潤密度は、土質判別に応じて適切に設定する。

⑥地震外力は L 1 地震動を想定し、地表面最大加速度 $\alpha_{max}$=200gal とする。また、地震マグニチュードは、原則として M=7.5 を用いる。

なおここで示した手法は現段階での知見に基づく提案であり、特に SWS 試験孔を用いた試料採取方法の改善に伴う細粒分含有率の補正係数の修正など、今後

の技術開発等の動向を踏まえた改善も十分考慮すべき位置づけにあるものと考えられる。

(4) 住宅に係る液状化に関する情報提供の検討

住宅の発注者・購入者等に個別の住宅の敷地の液状化に関し提供することが考えられる情報の内容について、検討を行った。

情報提供にあたっては、上記(1)～(3)に示す検討を含む「個別の住宅敷地の情報」「住宅基礎の情報」に加えて、特に現状では住宅敷地の情報として示される液状化判定手法の精度には限界のあることを踏まえ、自治体等から公開されている各種の「広域的情報」を合わせて示すことが有効であるとした。この広域的情報としては、以下が想定される。地域や自治体によって整備状況に差異があるが、引用する場合には、いずれも数値等の位置づけが明確になるよう、出典等を明記する必要がある。

①地形分類（埋立地、低地、台地、丘陵地等）
②液状化ハザードマップ
③液状化履歴に関する情報
④その他の地歴に関する情報（古地図、国土地理院発行地形図、過去に撮影された航空写真、地域の歴史書など）

最終的な表示項目については、次項（Ⅳ.8.6.2）を参照されたい。

参照文献

1) 建築基準整備促進事業「住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討」（平成 23 年度）及び「小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討」（平成 24・25 年度）
2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.61-72, 2001.10.
3) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp. 88-92，2008.9.
4) 国土庁防災局震災対策課，建設省建設経済局宅地開発課民間宅地指導室：小規模建築物等のための液状化マップと対策工法，pp.78-88，1994.7.
5) 国土交通省関東地方整備局，地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明 報告書，p.65，2011.
6) 工学図書株式会社、日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説（新築住宅）2015

### Ⅳ.8.6.2 住宅地盤の液状化に関する情報提供の検討

前項（Ⅳ.8.6.1）の成果を踏まえ、H27.4.1 に施行された改正品確法 1)において、住宅性能表示制度の一環として地盤（宅地）の液状化に関する情報を住宅性能評価書に記載できることとなった。ただし前述の通り手法の精度等に関しては技術的に発展途上の部分が多く、正式な表示項目ではなく、現状では「参考として提供される情報」としての位置づけに留まっている。

表示すべき情報のひな形が（一社）住宅性能評価・表示協会において公表 2)されているので、参考にできる。項目及び情報の種別を表-Ⅳ.8.6.2.1 に示す。前項(3)で検討した簡易な手法による液状化の判定は、表中の（ロ）iii（地盤調査から得た液状化に関する指標）において活用される見込みである。

**表-Ⅳ. 8. 6. 2. 1 地盤の液状化に関する申出書【参考情報】（抜粋）**

| 項　目 | 情報の種別 |
|---|---|
| （イ）広域的情報 | ｉ）液状化マップ |
| | ii）液状化履歴に関する情報 |
| | iii）地形分類 |
| | iv）その他土地利用履歴に関する資料 |
| （ロ）液状化に関する個別の住宅敷地の情報 | ｉ）敷地の地盤調査の記録 |
| | ii）地下水位の情報 |
| | iii）地盤調査から得た液状化に関する指標 |
| | iv）宅地造成工事の記録 |
| | v）液状化に関連して行う地盤に関する工事の記録・計画 |
| | vi）その他地盤に関する工事の記録・計画 |
| （ハ）液状化に関する当該住宅基礎等における工事の情報 | ｉ）液状化に関連して行う住宅基礎等に関する工事の記録・計画 |

参照文献

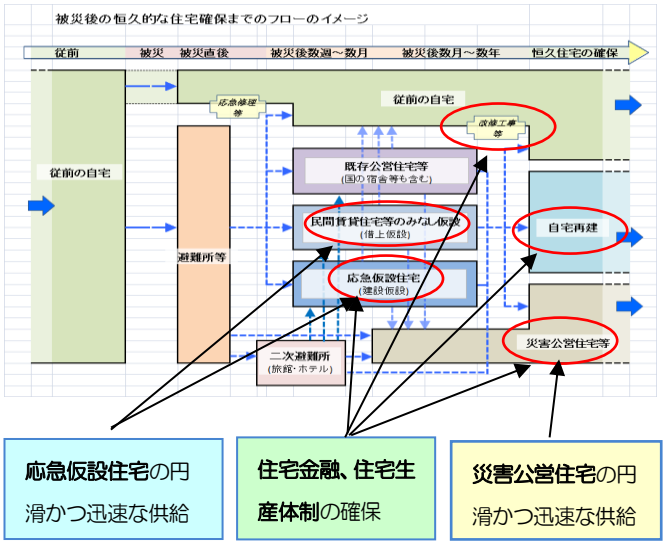
1) 国土交通省：住宅品質確保法施行規則第 1 条第 11 号（H27 年 4 月施行）
2) （一社）住宅性能評価・表示協会：地盤の液状化に関する申出書（参考様式），http://www.hyoukakyoukai.or.jp/download/yoshiki.html

**参考文献**


1) 津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件（平成 23 年国土交通省告示第 1318 号)、平成 23 年国土交通省告示第 1318 号、平成 23 年 12 月.
2) 建築基準整備促進事業「津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討」（平成 24～26 年度）
3) 総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」外装材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発（平成 25～26 年度)
4) 岩田善裕、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、壁谷澤寿一、都祭弘幸、冨田祐介、西畑剛、外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究 その 1　実験概要、本建築学会大会学術講演梗概集（近畿)、pp.75-76、2014 年 9 月.
5) 冨田祐介、岩田善裕、壁谷澤寿一、本多直巳、奥田泰雄、喜々津仁密、都祭弘幸、西畑剛、外壁材の脱落による津波波力低減効果に関する実験的研究 その 2　実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿)、pp.77-78、2014 年 9 月.
6) 都祭弘幸、岩田善裕、壁谷澤寿一、奥田泰雄、喜々津仁密、迫田丈志、外壁材の脱落を考慮した耐津波設計、日本建築学会大会（関東）構造部門（荷重）パネルディスカッション資料、pp.64-86、2015 年 9 月.
7) エレベーター等の脱落防止対策関連告示（平成 25 年国土交通省告示 1046 号ほか)
8) 平成 25 年国土交通省告示 1046 号ほか、平成 25 年 10 月.
9) 建築基準整備促進事業「住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討」（平成 23 年度）及び「小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討」（平成 24・25 年度)、日本住宅性能表示基準･評価方法基準技術解説（新築住宅）2015、平成 27 年 6 月.
10) 地盤の液状化に関する情報提供、住宅品質確保法施行規則第 1 条第 11 号（H27 年 4 月施行)、平成 26 年 2 月.

# Ⅳ.9　被災者の住宅確保方策の向上

東日本大震災における住宅被害の甚大さに鑑み、住まいの復興の各段階（自宅改修・再建、仮設住宅（建設・借上げ）、災害公営住宅）、主体（住宅生産体制）に着目して、国総研は、調査研究及び技術支援を精力的に実施した。




応急仮設住宅については、供給の状況と退去・解消の実態を全体的に把握するとともに、本震災で特徴的である借り上げ仮設住宅に着目して、その実態の把握、分析を行った（Ⅳ.9.1）。災害公営住宅については、本省住宅局の直轄調査（国総研は建研とともに技術支援を実施。）で作成された基本計画と検討経緯を整理した。また、原発被災者向け災害公営住宅の供給計画の立案手法・整備手法、入居者に対する生活サポートの現状・提供スキームについて検討を行った（Ⅳ.9.2）。

住宅生産体制については、震災後に工務店など地域の小規模住宅生産者がどのような体制を組み、被災住宅の補修・改修、仮設住宅の建設等の展開をしたかを実証的に明らかにした（Ⅳ.9.3）。

また、三次元住宅情報の長期保存技術の開発を行い、様々な利活用処理方法の実現を可能とした。その一例として被災前景観を基の場所に再現する AR アプリを試作した。（Ⅳ.9.4）

## Ⅳ.9.1　応急仮設住宅の適切な供給に関する検討

東日本大震災における応急仮設住宅の供給の状況と退去・解消の実態を全体的に把握するとともに、本震災における特徴である借り上げ仮設住宅（みなし仮設住宅）に着目して、入居の経緯や居住の実態、その後の再建動向等について調査分析を行った。これらの研究成果は、今後の災害時の応急的住まいの供給方策を検討する際の基礎的な知見として活用が期待される。

### Ⅳ.9.1.1　仮設住宅の供給及び解消の状況

(1)応急仮設住宅等の供給方法と供給戸数

東日本大震災では次の３種類の応急的住宅が供給されており、戸数は表-Ⅳ.9.1.1.1 に示す通りである。

①応急仮設住宅：新規に建設される簡単な住宅。プレハブ建築協会規格建築部会のプレハブメーカー建設分のほか、同協会住宅部会のハウスメーカー建設のもの、及び公募による地元業者建設のもの（主に木造）と、多様な建設がなされているのが今回の特徴である。

②公営住宅等：公営住宅・ＵＲ住宅・公務員住宅等の空き家を提供するもの。主要な被災県（岩手・宮城・福島）の他、近隣県や全国でも広く活用されている。

③借り上げ仮設住宅：既存の民間賃貸住宅等を借り上げて応急仮設住宅として取り扱うもの。全国的に供給されており、総数は応急仮設住宅の建設戸数を上回る。

表-Ⅳ.9.1.1.1 応急的住宅の供給戸数

| | | 応急仮設住宅 | 公営住宅等 | 借り上げ仮設住宅 | 計 |
|---|---|---|---|---|---|
| 被災３県 | 岩手県 | 13984 | 1370 | 3785 | 19139 |
| | 宮城県 | 22095 | 1701 | 25789 | 49585 |
| | 福島県 | 16226 | 2151 | 25234 | 43611 |
| | 小計 | 52305 | 5222 | 54808 | 112335 |
| 3県以外 | | 315 | 13946 | 12850 | 27111 |

※2012年2月中旬の情報に基づく

(2)応急仮設住宅等の供給時期

３種類の応急的住宅への入居の進捗状況として、岩手県での入居率の推移を図-Ⅳ.9.1.1.1 に示す。

応急仮設住宅は、被災直後に被害状況等に基づく必要戸数の算定がなされ民有地も含めた建設用地の選定が進められたが、建設には時間がかかり全戸完成は 8 月 11 日で５ヶ月を要している。そのため７月時点でも入居率は５割と、他と比べて遅い。

既存ストックを用いる公営住宅等は入居が早く、５月中旬時点で約５割が入居している。同じく既存ストックを使う借り上げ仮設住宅では、4 月 30 日に被災者自ら探した物件を県が借り上げる特例措置が示されて

から利用が進み、６月に入居戸数が急激に伸びて７月には８割程が入居を完了している。

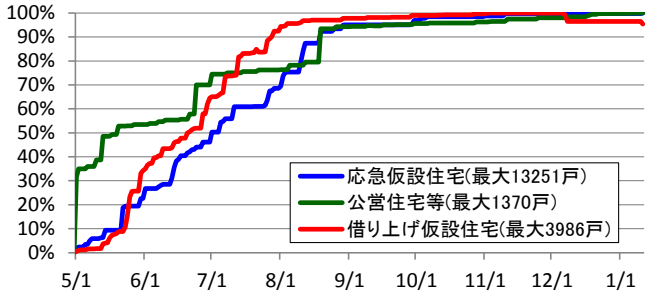



図-Ⅳ.9.1.1.1 岩手県の応急的住まいの入居の進捗

(3)応急仮設住宅等の供給コスト

応急仮設住宅の建設費に関し、災害救助法に基づく一般基準は 238.7 万円/戸とされている。しかし土地不足による造成を要する敷地の利用、寒冷地向け等の対策、他の復旧工事による資材や職人の価格高騰等により、実際の建設コストは岩手県約 568 万円、宮城県約 664 万円、福島県約 574 万円となっている。

借り上げ仮設住宅に関しては、岩手県の全 4019 件の平均賃料は 4.9 万円/月、最小 5 千円～最大 10 万円/月である。この他、退去修繕費と仲介料が計 2.5 ヶ月分、また生活必需品（ガスコンロ・照明器具・カーテン・エアコン・給湯器）を家主が整備する際には最大 20 万円を、県が負担するとしている。これより５年間借り上げる場合の費用は約 326 万円と推定される。

(4)応急仮設住宅等からの退去状況

自宅再建や災害公営住宅完成等で仮設住宅からの退去は進んでいる。入居率の推移を図-Ⅳ.9.1.1.2 に示す。

応急仮設住宅は震災３年後（2014 年 3 月）時点ではまだ９割弱が入居しているが、その後退去は進み４年半後（2015 年 9 月）では６割程まで下がっている。一方借り上げ仮設住宅は３年後で６割、４年半後では４割程であり、建設されたものより退去は早い。

退去に伴う空家の増加を受けて応急仮設住宅の団地全体または一部住棟の解体・撤去も行われており、2014 年度末までに岩手 154 戸・宮城 289 戸が解体済である。また地権者の要望を受けて民有地を返還するため、残存世帯の団地間移転及び集約を進めた市もみられる。

このような応急仮設住宅の解体・集約を進めるための「集約化計画」の策定が、復興に時間を要するリアス海岸部の市町を中心に行われている。地域毎に選定した拠点団地に集約する内容であり、継続使用する団地では基礎の補強工事等も計画・実施されている。

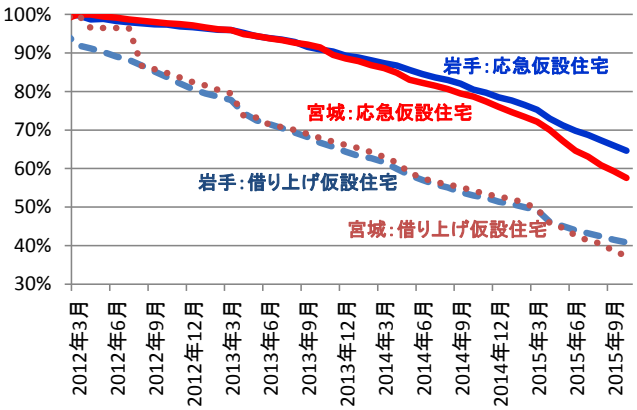



図-Ⅳ.9.1.1.2 岩手・宮城県での退去状況

## Ⅳ.9.1.2 借り上げ仮設住宅入居世帯の入居実態と再建動向

(1)岩手県全域における借り上げ仮設住宅の状況

1)調査の概要

岩手県県土整備部建築住宅課と共同で実施し、借り上げ仮設住宅を所管する岩手県復興局生活再建課の協力を得て、岩手県と貸主及び入居者との間で交わされた賃貸借契約書(2013 年 1 月までの手続分:4015 件)の記載情報の集計・分析作業 [1]、及び入居世帯へのアンケート(2013 年 11 月に郵送で実施:対象 3458 件、回収 1658 件、回収率 51.1%) [2][3]を行った。また大船渡市内で物件を確保した世帯に関し、アンケートの詳細分析と 20 世帯へのヒアリング調査を実施した [4]。

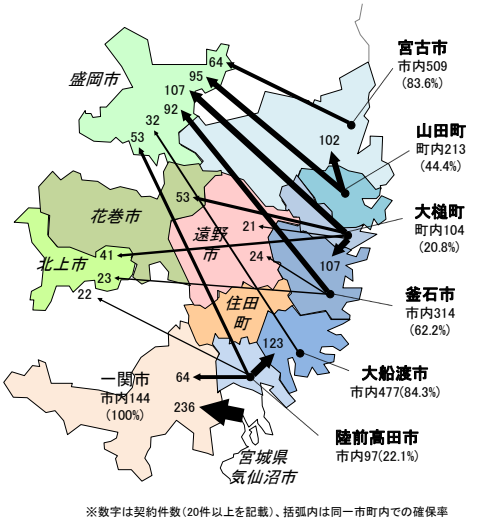
2)被災時の住所と物件の住所との関係

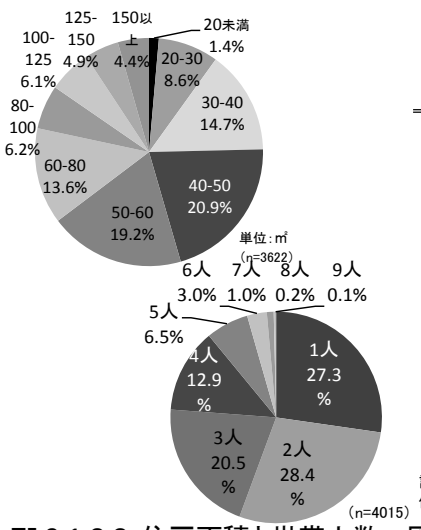
契約書に基づく入居世帯の被災時の住所は、被害が多大な沿岸南部の６市町が県全体の 77.2%を占める。これら地域での被災時の住所と借り上げ物件の住所の関係をみると（図-Ⅳ.9.1.2.1）、比較的大規模な３市（宮古市・釜石市・大船渡市）では市内確保率が６～８割強と高いが、小規模かつ市街地が広範囲に被災した山田町・大槌町・陸前高田市は２～４割と低い。他市町村への移転では、沿岸部の隣接する相対的に大きな市（宮古市・釜石市・大船渡市）のほか、盛岡市など内陸部の都市への移動がみられる。

大船渡市内での確保状況をみると、元の居住地と同学区内が 47.6%を占めるが、別の学区への移転、特に半島部の集落から市街地部への移動が多くみられた。

3)物件の確保方法

契約書によれば災後２ヶ月（３～４月）で 35.3%が当初の契約を開始しており、物件の確保は早い。アンケートでは 40.2%の世帯が「プレハブ等より早く入居出来る」ため借り上げを選んだとしている。



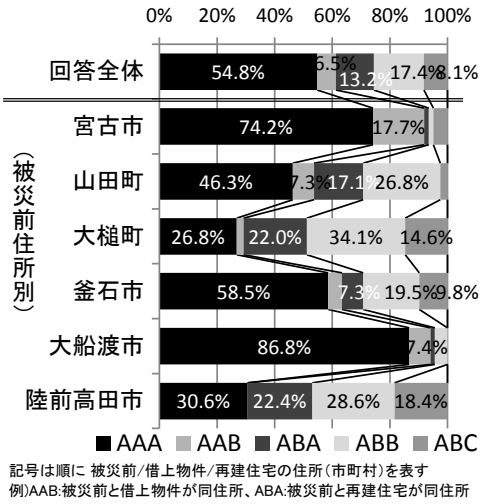




図-Ⅳ.9.1.2.1 居住地の移動状況　図-Ⅳ.9.1.2.2 住戸面積と世帯人数　図-Ⅳ.9.1.2.3 再建に伴う住所の変化

物件探しは全体の 57.5%で「親類や知人」を介して行われており、入居物件の家主が親類・知人の場合も計 39.1%を占める。早い段階で親類・知人を通じて物件を探した世帯は同一市町村内での確保が出来ているが、物件探しが遅れた世帯は「元の市町村で物件が見つからず」「すぐに入居出来る空き物件があった」ため他市町村に移ったとしている。

家主が親類の場合、公的借上がなかった際には 34.4%の世帯が「無償か安い額」で借りる予定だったとしており、大船渡市ヒアリングでは親類所有の空き家を借りて自己資金で修繕・改修する例もみられた。

4)住戸及び居住の状況

契約書の記載に基づく住戸面積（図-Ⅳ.9.1.2.2）は平均 64.43 ㎡だが、沿岸部 70.94 ㎡に対し内陸部 54.23 ㎡と地域による差が大きい。建物についても、沿岸部では古い戸建が多く使われているが、内陸部では相対的に新しい共同建が中心であり、地域差がみられる。

契約書記載の入居人数（図-Ⅳ.9.1.2.3）は平均 2.58 人だが、１人２人世帯が計 55.7%を占める。5 人以上の多人数は計 11.0%である。住戸面積と世帯規模とのミスマッチもみられ、１人世帯の 46.0%が比較的広い都市居住型誘導居住水準以上の住戸に住むのに対し、４人５人世帯の約３割は最低居住面積水準未満となっている。

アンケートでは 37.5%の世帯が物件での生活に不満を覚えており、主な理由は「建物が古い」「部屋が狭い」「設備の不備や故障」である。十分な広さの部屋が確保出来なかったため、入居時には全体の 21.9%、入居後にも 18.4%で世帯分離が生じている。

5)物件退去後の住宅再建の動向

アンケートで「既に退去」「近々退去する予定」と回答したのは計 370 件（全体の 22.4%）で、年収が高い世帯ほど退去の割合が高い。これら再建済世帯のうち 51.9%が「移転先の土地をみつけて新築」している。その他「被災した家を修繕・改修」「元の敷地で再建」も含めると、持ち家の再建が計 69.9%と多い。

再建時の住所の変化では（図-Ⅳ.9.1.2.3）、被災前住所の市町村内で物件をみつけ転出せずに再建する場合(AAA)が 54.8%で最も多いが、借り上げ物件で転出した先の市町村で再建する場合(ABB)が 17.4%で、一旦市町村外に転出したが再建では戻ってきた場合(ABA:13.2%)を上回る。この状況は市町村によって異なり、規模の小さな山田町・大槌町・陸前高田市では借り上げ物件を市町外で確保した世帯がそのまま戻らない割合が高い。

(2)仙台市における借り上げ仮設住宅の状況

1)調査の概要

一般社団法人パーソナルサポートセンターが 2012 年２月に実施した仙台市内の借り上げ仮設居住世帯へのアンケート（郵送実施：配布 2581、回収 1369、回収率 53.0%）に協力し、住宅関連部分の設問の設計及び集計を担当した [5]。またこのアンケートの一環として 20 世帯へのヒアリングを 2012 年８月～2013 年３月にかけて行い、入居の経緯と生活実態を調査した [6]。

2)借り上げ物件への入居に伴う移動状況

仙台市内外及び区間での移動状況をみると（図-Ⅳ.9.1.2.4）、被災時点で元々仙台市内に住んでいたのが 72.3%で、また従前と同じ区内での確保が 7～8 割となっており、多くの世帯は従前居住地近くで確保している。

市外からの移転は 375 件（27.7%）であり、被災時

の住所は石巻市・気仙沼市といった被害の大きな県北の沿岸部のほか、南相馬市など福島県からの移転もみられた。入居した時期は元々仙台市内にいた世帯よりも遅く、５月以降が中心となっている。仙台市に来た理由としては「親類・縁者がいた」「職場・学校があった」の回答の割合が高い。ヒアリング調査では、親類を頼って来たとの意見の他、地元に物件がなかった／入居を拒否されたため仙台に来たとの意見もみられた。

3)生活上の課題

アンケートの「避難生活で困っていること」の自由記述欄では、回答総数の 34.1%が「部屋の設備が不満」としており、具体には「部屋が狭い」とする割合が高い。世帯人数と物件間取りの関係をみても、世帯人数が多いほど「借り上げの目安」（借り上げに際し間取りと人数の関係を県が示したもの：1K で 1 人～3DK で 4 人など）より狭い住戸に住む割合が高い。

ヒアリング調査でも間取りが狭いと感じる世帯が多く、狭さのため子世代との別居を余儀なくされた高齢者がみられる。また、移転してきた世帯の場合、生活環境の変化や近所づきあいの減少等で、健康状態が悪化するケースが高齢者を中心にみられている。

4)住宅再建の見通し

アンケートでは、調査時点で再建の予定・見通しがあるのは全体の 43.4%で、残りの半数は見通しがない。借り上げ仮設住宅の供与期間は当初は２年間とされており（その後１年毎に延長）、64.2%の世帯が当初２年の期間後も借り上げ物件に住み続けたいと回答するが、現在の家賃の自己負担は難しいとしている。

ヒアリング調査では、元々仙台市内にいた世帯は従前地域での持ち家再建を希望しており実現した場合もある一方で、市外から転入した世帯は戻りたいが見通しはつかず自力再建を諦め仙台市内の災害公営住宅への入居を希望する場合が多くみられた。

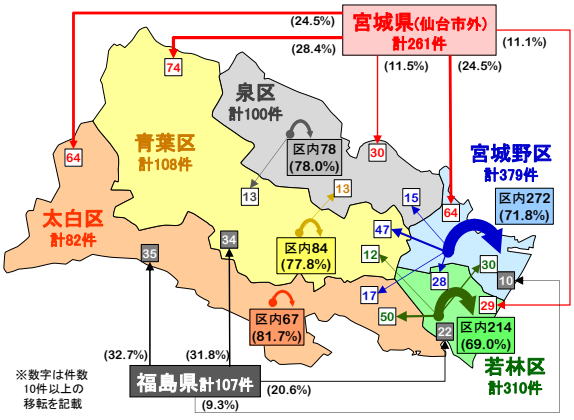



図-Ⅳ.9.1.2.4 居住地の移動状況

参照文献


1) 米野史健、岩手県の借り上げ仮設住宅における契約物件及び入居世帯の実態－東日本大震災後の借り上げに係る賃貸借契約書の記載情報の分析より、都市住宅学 83 号、pp.85-90、2013 年 11 月、都市住宅学会

2) 米野史健、岩手県の借り上げ仮設住宅における被災世帯の入居経緯と居住実態－県全域の入居世帯に対するアンケート調査より、都市住宅学 87 号、pp.133-138、2014 年 10 月、都市住宅学会

3) 米野史健・三井所隆史、岩手県の借り上げ仮設住宅入居世帯における住宅再建の動向－入居中及び退去済の世帯へのアンケート調査より、都市住宅学 87 号、pp.139-144、2014 年 10 月、都市住宅学会

4) 古山周太郎・米野史健、岩手県大船渡市の借り上げ仮設住宅居住世帯の入居経緯と再建動向－市内で物件を確保した世帯へのアンケート及びヒアリング調査より、日本建築学会計画系論文報告集第 719 号、pp.163-170、2016 年 1 月

5) 米野史健、仙台市内の応急仮設住宅としての民間賃貸住宅の借り上げにおける入居の実態－東日本大震災１年後の借り上げ仮設住宅居住者へのアンケート調査より、日本建築学会計画系論文集、第 78 巻第 689 号、pp.1589-1596、2013 年 7 月、日本建築学会

6) 新井信幸・米野史健、仙台市内の民間賃貸借り上げ仮設住宅での被災者の入居プロセスと居住実態、日本建築学会計画系論文報告集第 700 号、pp.1401-1406、2014 年 6 月、日本建築学会

## Ⅳ.9.2 災害公営住宅の供給促進に関する検討

本節では、東日本大震災における災害公営住宅について、被災地における災害公営住宅の供給を推進するため、国総研が現地における技術指導等で関与し本省住宅局による調査で作成された基本計画の内容及び検討経緯を整理するとともに、原発被災者向けの供給計画内容の分析、復興まちづくりに関連した取組についての検討について述べる。

### Ⅳ.9.2.1 災害公営住宅基本計画等事例集

40.国土技術政策総合研究所:東日本大震災における災害公営住宅の供給促進のための計画に関する検討―災害公営住宅基本計画等事例集―、国土技術政策総合研究所資料(第 846 号)、建築研究所:建築研究資料(第 165 号)、2015

平成 23 年度以降、国土交通省住宅局により東日本大震災における災害公営住宅の供給促進のための調査が実施され、同調査において国総研は建研とともに、現地での技術指導を行った。大規模災害の復興段階では、被災地における災害公営住宅の早期・大量供給が必要となるが、大半の地方公共団体ではそのための知見や体制が十分でない。今後の復興段階での行政対応の参考や、災害対策の研究の基礎的資料とするため、復興早期の段階(平成 23 年度から 25 年度)で前記住宅局調査の中で多くの市町村において作成された災害公営住宅の基本計画(岩手・宮城・福島県下 41 市町村、延べ 156 地区(複数年度の重複地区あり))について、検討経緯を含めて統一様式で事例集として整理した。計画概要、経緯の整理により、計画検討段階での都市整備部局や福祉部局との連携・調整の必要性、コミュニティ形成・高齢者配慮・防災性確保などの政策課題への取組み、計画条件変更の経緯等が明らかになり、それらを踏まえた早期計画策定・供給に当たっての留意点をとりまとめた。事例集は今後の災害公営住宅供給の早期供給に当たっての参考となるよう、地方公共団体等へ広く配布した。

### Ⅳ.9.2.2 原発被災者向け災害公営住宅の整備計画の立案支援及び入居者への生活支援スキームの提案

福島県では、地震・津波による住宅の被災に加えて、東京電力福島第一原子力発電所事故(以下「原発事故」という。)により、多くの県民が避難を余儀なくされている。

このうち、原発事故による長期避難者に対して災害公営住宅(以下「原発災害公営住宅」という。)の供給が進められている。国総研では、その的確な供給に向けた整備計画(必要戸数、計画地、住宅の整備水準等の計画)の立案等に対して技術的支援を行った。本項では整備計画における必要戸数・計画地の考え方について述べる。

また、原発災害公営住宅への入居者は、高齢者が多い、仮設住宅から再度の広域的な住み替えを伴う、異なる原発事故の被災自治体の住民が同じ団地に長期居住する等の特徴を有するため、コミュニティの再構築や入居者への生活サポートの提供など福祉との連携が重要な課題となる。このため、入居者に対するコミュニティ形成や見守り・介護予防等の生活サポートの提供の実態・課題等について調査し、生活サポートの提供スキームを提案した。本項ではこの提案の概要についても述べる。

(1) 原発災害公営住宅の整備計画[1)]

1) 避難指示区域の再編・見直し完了後の状況

原発事故の発生後に設定された警戒区域及び避難指示区域について、その後の放射線量の年間積算線量の予測等に基づき、「避難指示解除準備区域」「居住制限区域」「帰還困難区域」の3区域へと再編する見直しが平成 25 年 8 月 8 日に全ての原発事故被災自治体で完了した。表-Ⅳ.9.2.2.1 は各原発事故被災自治体について、再編後の避難指示3区域別に被災時点で居住していた人口(以下「被災時人口」という。)を整理したものである。

双葉町、大熊町、富岡町、飯舘村、浪江町の5町村は、被災時人口ベースで全域が避難指示区域に指定されており、全住民が避難を余儀なくされている。避難指示区域の内訳は、双葉町及び大熊町では帰還困難区域が大半を占める。富岡町は居住制限区域が中心となるが、帰還困難区域を含めると9割を占め、飯舘村も8割以上が居住制限区域に含まれる。浪江町は、居住制限区域が最も多いが、被災時人口の4割が避難指示解除準備区域にも含まれている。一方、葛尾村及び楢葉町は被災時人口ベースでほぼ大半が避難指示区域に

表-Ⅳ.9.2.2.1 各原発事故被災自治体における避難指示区域別の被災時人口の割合

| | 避難指示区域 | | | | 避難指示区域外 | 総計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 帰還困難区域 | 居住制限区域 | 解除準備区域 | 小計 | | |
| 双葉町 | 6,237 | 0 | 255 | 6,492 | 0 | 6,492 |
| | 96.1% | 0% | 3.9% | 100% | 0% | 100% |
| 大熊町 | 10,571 | 362 | 23 | 10,956 | 0 | 10,956 |
| | 96.5% | 3.3% | 0.2% | 100% | 0% | 100% |
| 富岡町 | 4,273 | 8,821 | 1,319 | 14,413 | 0 | 14,413 |
| | 29.6% | 61.2% | 9.2% | 100% | 0% | 100% |
| 飯舘村 | 274 | 5,192 | 784 | 6,250 | 0 | 6,250 |
| | 4.4% | 83.1% | 12.5% | 100% | 0% | 100% |
| 浪江町 | 3,343 | 8,260 | 7,902 | 19,505 | 0 | 19,505 |
| | 17.1% | 42.3% | 40.5% | 100% | 0% | 100% |
| 葛尾村 | 118 | 64 | 1,329 | 1,511 | 0 | 1,511 |
| | 7.8% | 4.2% | 88.0% | 100% | 0.00% | 100% |
| 楢葉町 | 0 | 0 | 7,525 | 7,525 | 50 | 7,575 |
| | 0% | 0% | 99.3% | 99.3% | 0.7% | 100% |
| 南相馬市 | 2 | 510 | 12,238 | 12,750 | 52,425 | 65,175 |
| | 0% | 0.8% | 18.8% | 19.6% | 80.4% | 100% |
| 川内村 | 0 | 58 | 276 | 334 | 2,475 | 2,809 |
| | 0% | 2.1% | 9.8% | 11.90% | 88.1% | 100% |
| 川俣町 | 0 | 127 | 1,077 | 1,204 | 13,882 | 15,086 |
| | 0% | 2.1% | 9.8% | 11.9% | 88.1% | 100% |
| 田村市 | 0 | 0 | 351 | 351 | 39,645 | 39,996 |
| | 0% | 0% | 0.9% | 0.9% | 99.1% | 100% |

出所：平成 22 年国勢調査（総務省）、経済産業省資料をもとに作成

含まれるが、区域の指定は大半が避難指示解除準備区域である。その他の市町村は、避難指示区域が行政区域の一部分のみで、かつ区域の指定は避難指示解除準備区域となっている。

このように、原発事故被災自治体ごとに、避難指示区域の設定状況（被災時人口の割合）は大きく異なり、これにより帰還や復興が可能となる見込み時期も異なる。

2）原発災害公営住宅への入居希望と希望市町村

全域が避難指示区域に含まれ、特に長期の避難を強いられる５町村（双葉町、大熊町、富岡町、飯舘村、浪江町）の避難者に対して、県が中心となり、当該町村区域外の県内に原発災害公営住宅の整備が進められている。

整備戸数は、復興庁・福島県・原発事故被災自治体の共同により毎年度実施されている「住民意向調査（以下「意向調査」という。）」の分析に基づき算定されている。

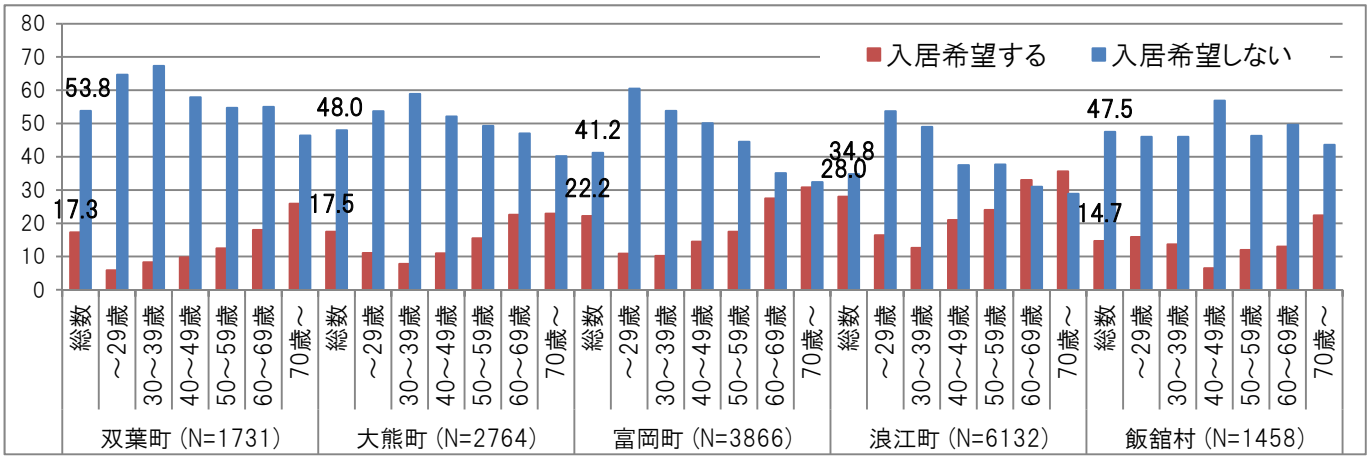
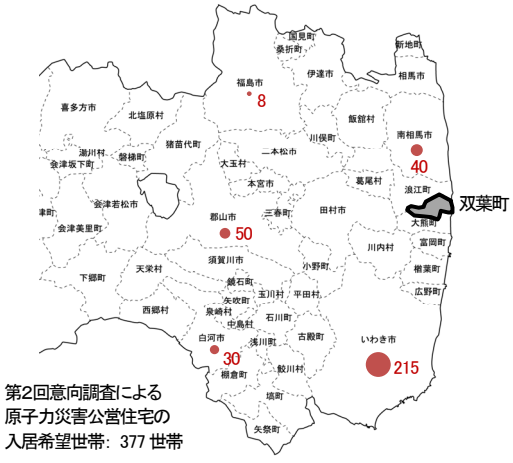


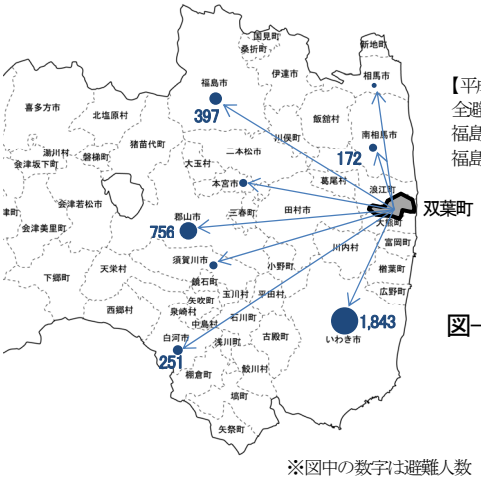

図-Ⅳ.9.2.2.1 原発災害公営住宅への入居希望世帯の世帯主年齢別の割合

出所：平成 25 年度実施の第2回住民意向調査（復興庁・福島県・各原発事故被災自治体）の結果をもとに作成




第2回意向調査による
原子力災害公営住宅の
入居希望世帯：377 世帯

※図中の数字は希望世帯数

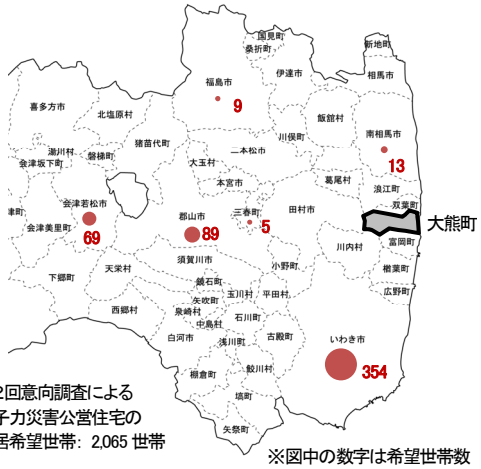



※図中の数字は避難人数

【平成 26 年 5 月 1 日現在の避難者の状況
全避難者数：7,032 人（所在不明等を除く）
福島県内避難者数：4,026 人（全避難者の 57.3%）
福島県外避難者数：3,006 人（全避難者の 42.7%）

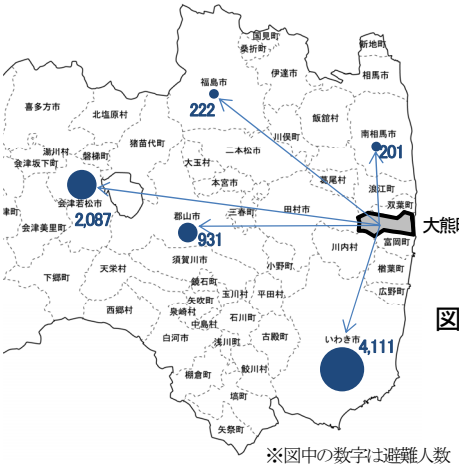
図-Ⅳ.9.2.2.2 「双葉町」における原発災害公営住宅入居希望者の希望先市町村（左図）と避難者の主な避難先市町村（右図）

出所：左図は第2回住民意向調査（復興庁・福島県・各原発事故被災自治体）、右図は各町村のホームページ上の避難者データをもとに作成。図-Ⅳ.9.2.2.3～図-Ⅳ.9.2.2.6 も同様。




第2回意向調査による
原子力災害公営住宅の
入居希望世帯：2,065 世帯

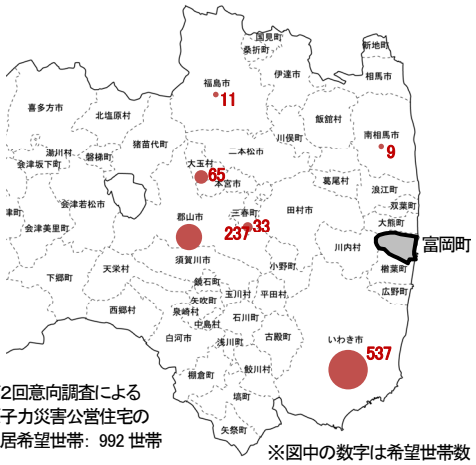
※図中の数字は希望世帯数




※図中の数字は避難人数

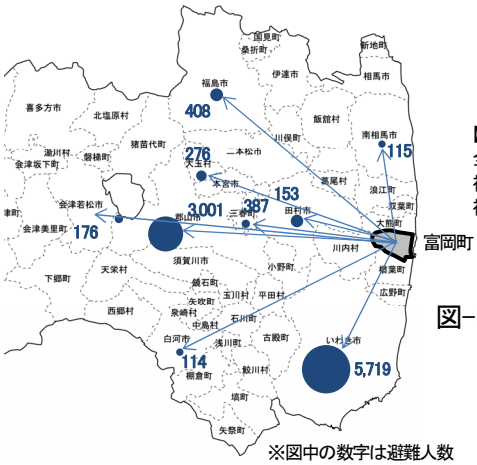
【平成 26 年 5 月 1 日現在の避難者の状況】
全避難者数：10,887 人（所在不明等を除く）
福島県内避難者数：8,278 人（全避難者の 76.0%）
福島県外避難者数：2,609 人（全避難者の 24.0%）

図−Ⅳ.9.2.2.3 「大熊町」における原発災害公営住宅入居希望者の希望先市町村（左図）と避難者の主な避難先市町村（右図）




第2回意向調査による
原子力災害公営住宅の
入居希望世帯：992 世帯

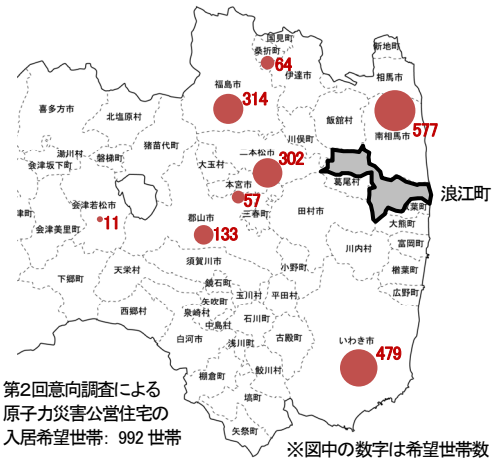
※図中の数字は希望世帯数




※図中の数字は避難人数

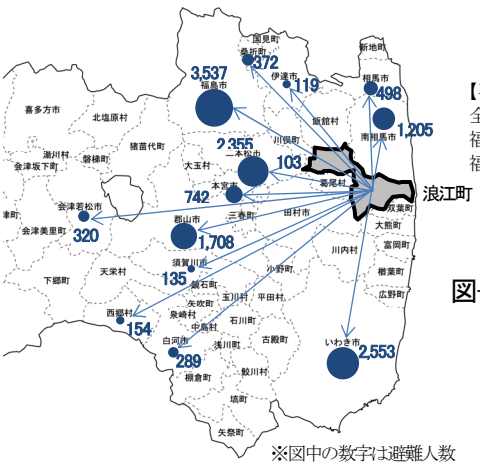
【平成 26 年 5 月 1 日現在の避難者の状況】
全避難者数：15,365 人（所在不明等を除く）
福島県内避難者数：10,968 人（全避難者の 71.4%）
福島県外避難者数：4,397 人（全避難者の 28.6%）

図−Ⅳ.9.2.2.4 「富岡町」における原発災害公営住宅入居希望者の希望先市町村（左図）と避難者の主な避難先市町村（右図）




第2回意向調査による
原子力災害公営住宅の
入居希望世帯：992 世帯

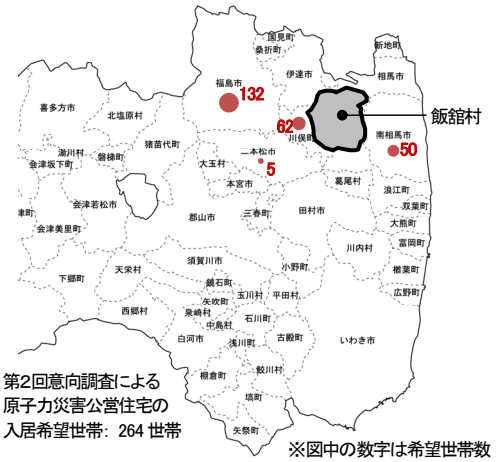
※図中の数字は希望世帯数




※図中の数字は避難人数

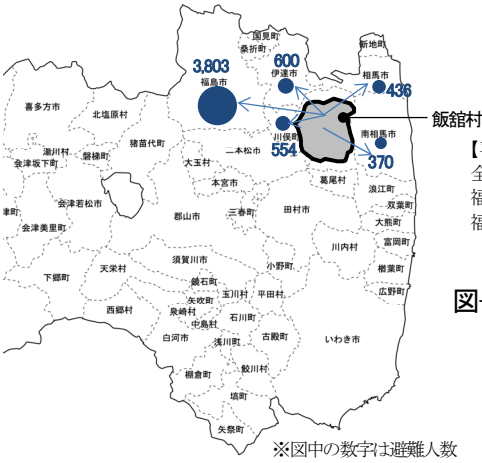
【平成 26 年 4 月 30 日現在の避難者の状況】
全避難者数：21,071 人（所在不明等を除く）
福島県内避難者数：14,668 人（全避難者の 69.6%）
福島県外避難者数：6,403 人（全避難者の 30.4%）

図−Ⅳ.9.2.2.5 「浪江町」における原発災害公営住宅入居希望者の希望先市町村（左図）と避難者の主な避難先市町村（右図）




第2回意向調査による
原子力災害公営住宅の
入居希望世帯：264 世帯

※図中の数字は希望世帯数




※図中の数字は避難人数

【平成 26 年 5 月 1 日現在の避難者の状況】
全避難者数：6,697 人（所在不明等を除く）
福島県内避難者数：6,208 人（全避難者の 92.7%）
福島県外避難者数：489 人（全避難者の 7.3%）

図−Ⅳ.9.2.2.6 「飯舘村」における原発災害公営住宅入居希望者の希望先市町村（左図）と避難者の主な避難先市町村（右図）

2) 原発災害公営住宅への入居希望と希望市町村

全域が避難指示区域に含まれ、特に長期の避難を強いられる５町村（双葉町、大熊町、富岡町、飯舘村、浪江町）の避難者に対して、県が中心となり、当該町村区域外の県内に原発災害公営住宅の整備が進められている。

整備戸数は、復興庁・福島県・原発事故被災自治体の共同により毎年度実施されている「住民意向調査(以下「意向調査」という。)」の分析に基づき算定されている。

図-Ⅳ.9.2.2.1 は平成 25 年度の第２回意向調査の結果に基づき、５町村ごとの原発災害公営住宅への入居希望世帯の割合を世帯主年齢別に示したものである。町村によって入居希望割合には差異があるが、全体的な傾向をみると、「入居希望」は約２割、「希望しない」は約４割、「現時点で決められない」が約４割弱となる。一方、世帯主年齢別にみると、いずれの町村でも年齢が高くなるにつれ「入居希望」の割合が大きくなる傾向にある。入居希望者は高齢者が中心となることが予想される。

次に、５町村ごとに、原発災害公営住宅への入居希望者が希望する整備箇所（整備先の市町村）と、避難者の現在の避難先（市町村）との関係を図示したのが図-Ⅳ.9.2.2.2～図-Ⅳ.9.2.2.6 である。

各左図で、原発災害公営住宅を希望する市町村をみると、「双葉町」では同じ浜通り地域の都市部であるいわき市が圧倒的に多く、ついで郡山市、南相馬市、白河市となる。「大熊町」もいわき市が圧倒的に多く、ついで郡山市、会津若松市が多い。「富岡町」もいわき市が圧倒的に多いが、中通り地域の郡山市やその周辺の大玉村、三春町でのニーズも高い。「浪江町」は南相馬市が最も多いが、いわき市、福島市、二本松市などに希望地が分散傾向にある。一方、「飯舘村」は福島市が最も多くなり、ついで隣接する「南相馬市」や「川俣町」など県北地域でのニーズが大きい。

こうした５町村ごとの原発災害公営住宅の整備希望先の市町村の傾向は、５町村の県内避難者が現在避難している市町村の分布と密接に関係している(各右図)。原発災害公営住宅の希望者は、現在自らが避難している自治体や自町村民の避難者の多い自治体内での整備を強く希望している状況が読み取れる。

3) 福島県における原発災害公営住宅の整備計画

意向調査の結果を踏まえて、福島県では原発災害公営住宅の整備方針や市町村別の整備戸数等を定めた「福島県復興公営住宅整備計画」を策定している。

第２回意向調査を経て策定された「第二次整備計画(H25 年 12 月 26 日公表)」での整備戸数を示したのが表-Ⅳ.9.2.2.2 である。福島県全体で 4,890 戸の整備が予定されており、整備先の市町村をみると、いわき市に最多の 1,760 戸が予定されており、ついで南相馬市の 900 戸、郡山市の 570 戸、福島市の 430 戸の順となる。

また、整備先の市町村に対する意向を踏まえて、各市町村に整備される団地ごとに主な入居対象となる原発事故被災自治体が示されている。表-Ⅳ.9.2.2.3 は原発事故被災自治体と原発災害公営住宅の整備先の市町村との対応関係を示している。表中、◎は特にまとまった数の入居者が想定され、原発事故被災自治体と整備先の市町村との間で避難者に対する行政サービス提供に関する個別協議を実施している関係を示している。

表-Ⅳ.9.2.2.2 県復興公営住宅整備計画での整備戸数

| | | 第一次整備計画（H25 年 6 月） | 第二次整備計画（H25 年 12 月） |
|---|---|---|---|
| 全整備戸数 | | 3,700 戸 | 4,890 戸 |
| 整備先の市町村 | 福島市 | 170 戸 | 430 戸 |
| | 会津若松市 | 100 戸 | 100 戸 |
| | 郡山市 | 390 戸 | 570 戸 |
| | いわき市 | 1,800 戸 | 1,760 戸 |
| | 二本松市 | | 340 戸 |
| | 南相馬市 | 410 戸 | 900 戸 |
| | 川俣町 | | 170 戸 |
| | 三春町 | | 220 戸 |
| | 田村市、本宮市、桑折町<br>大玉村、川内村 他 | 830 戸 | 400 戸 |

表-Ⅳ.9.2.2.3 避難元自治体と原発災害公営住宅の整備先の受入自治体との対応関係

| | | 原発事故被災自治体(避難元自治体) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 富岡町 | 大熊町 | 双葉町 | 浪江町 | 飯舘村 |
| 整備先の市町村 | 福島市 | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ |
| | 会津若松市 | ○ | ◎ | ○ | ○ | |
| | 郡山市 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | |
| | いわき市 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | |
| | 白河市 | ○ | ○ | ◎ | ○ | |
| | 二本松市 | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ |
| | 田村市 | | ◎ | | ○ | |
| | 南相馬市 | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| | 本宮市 | | | | ◎ | |
| | 桑折町 | | | | ◎ | |
| | 川俣町 | | | | ○ | ◎ |
| | 大玉村 | ◎ | | | | |
| | 三春町 | ◎ | ○ | ○ | | |
| | 広野町 | | ○ | ○ | ○ | |
| 計受入自治体数 | | 9 | 11 | 9 | 12 | 4 |

4) 原発災害公営住宅の整備の現状

第二次整備計画をベースとして、平成 26 年度、27 年度の意向調査の結果を踏まえつつ、整備先自治体内の計画敷地において具体的な原発災害公営住宅の整備（計画・建設）が進められている。表-Ⅳ.9.2.2.4 に整備先の各市町村の最新（平成 28 年 3 月末時点）の計画戸数と平成 28 年度末の整備（予定）戸数について、復興庁公表の住まいの復興工程表に基づき整理した結果を示す。

なお、複数の原発事故被災自治体の避難者を受け入れる原発災害公営住宅は福島県営住宅として整備されるが、単一の原発事故被災自治体の避難者のみを受け入れる場合は、当該被災自治体と受入自治体との個別協議により、（原発事故被災自治体又は受入自治体の）市町村営住宅として整備することになる（表-Ⅳ.9.2.2.5）。表-Ⅳ.9.2.2.4 に全体整備戸数とそのうち県による整備分を示している。全計画戸数 4,890 戸のうち県営住宅としての整備は 4,485 戸（63 団地）であり、残り 405 戸（18 団地）は市町村営住宅である。

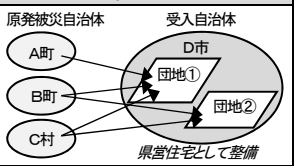
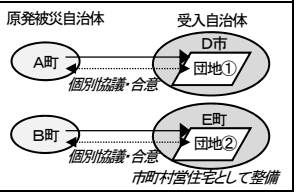
**表-Ⅳ.9.2.2.4 原発災害公営住宅の整備計画と進捗状況**

（計画戸数は平成 28 年 3 月末現在、整備済戸数は平成 28 年度末予定）

| | | 全体整備戸数 | | | うち県による整備 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 計画戸数 | 団地数 | 整備済戸数 | 計画戸数 | 団地数 | 整備済戸数 |
| 整備先の市町村 | 福島市 | 475 | 7 | 345 | 452 | 6 | 322 |
| | 会津若松市 | 134 | 6 | 134 | 134 | 6 | 134 |
| | 郡山市 | 570 | 17 | 570 | 570 | 17 | 570 |
| | いわき市 | 1,768 | 19 | 578 | 1,768 | 19 | 578 |
| | 白河市 | 40 | 2 | 40 | 40 | 2 | 40 |
| | 二本松市 | 346 | 4 | 270 | 346 | 4 | 270 |
| | 田村市 | 18 | 1 | 18 | 18 | 1 | 18 |
| | 南相馬市 | 927 | 5 | 927 | 927 | 5 | 927 |
| | 本宮市 | 61 | 6 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| | 桑折町 | 64 | 2 | 64 | 0 | 0 | 0 |
| | 川俣町 | 120 | 2 | 120 | 80 | 1 | 80 |
| | 大玉村 | 67 | 4 | 67 | 0 | 0 | 0 |
| | 三春町 | 217 | 3 | 217 | 92 | 1 | 92 |
| | 広野町 | 58 | 1 | 0 | 58 | 1 | 0 |
| | 川内村 | 25 | 2 | 25 | 0 | 0 | 0 |
| 計整備戸数 | | 4,890 | 81 | 3,436 | 4,485 | 63 | 3,031 |

出所:住まいの復興工程表(復興庁・平成 28 年 5 月 20 日公表)をもとに作成

**表-Ⅳ.9.2.2.5 原発災害公営住宅の整備主体の考え方**

| 整備主体 | 条件 | イメージ |
|---|---|---|
| ①福島県【県営住宅として整備】 | ・原発事故被災自治体からの要請により、複数の原発事故被災自治体の避難者を入居させる住宅の整備を行う場合 |  |
| ②市町村【市町村営住宅として整備(県による代行整備あり)】 | ・原発事故被災自治体と受入自治体の間の合意で、要請した原発事故被災自治体の避難者のみを入居対象とした住宅の整備を行う場合 |  |

（2）原発災害公営住宅の入居者に対する生活支援の提供の現状・課題と提供スキームの提案

高齢者を中心とした原発災害公営住宅の入居者が、地域での長期避難生活を送るためには、原発災害公営住宅の供給に加え、入居者の地域での暮らしの安心を支える生活サポートの提供が必要不可欠となる。特に、新たな入居者間での自治会の結成や、団地内居住者間及び周辺の地域住民との間のコミュニティ形成が重要な課題となる。また、入居者は特に高齢化率が高いことが予想されることから、入居者個々に対する見守りや介護予防等の生活支援（サポート・サービス）について、仮設住宅等で提供されていたしくみを原発災害公営住宅にいかにスムーズに移行させるかが課題となる。

1) 自治会の結成及びコミュニティ形成に対する取組みと課題

福島県では、原発災害公営住宅の入居募集にあたって「グループ枠」を設定し、２世帯以上でのグループによる申込を可能とすることで、気心の知れた友人同士や分離した家族等がまとまった入居できる工夫をしている。

しかし、新たな地域での長期の生活の安心を確保するためには、限られた者同士の関係にはよらない、多様な住民間のコミュニティや、周辺の以前から住んでいる地域住民とのコミュニティを育んでいくことが課題となる。

このため、福島県では、原発災害公営住宅に「コミュニティ交流員」を配置して対応を進めている。

① コミュニティ交流員の制度概要

コミュニティ交流員は、福島県内の原発災害公営住宅を対象に配置され、その業務は原発災害公営住宅の団地自治体の立ち上げ、交流活動の支援が中心である。見守り・生活相談等を担う生活相談支援員（社会福祉協議会）とも連携しつつ、生活拠点でのコミュニティづくりを進めている。具体的な支援体制は表-Ⅳ.9.2.2.6 に示す３層体制による。コミュニティ交流員は、原発災害公営住宅 100 戸につき 2 名程度の割合で配置される。担当団地制ではあるが、各担当団地に常駐するのではなく、各地域に活動拠点の事務所を設け、そこから各団地を巡回訪問し、団地集会所（原発

表-Ⅳ.9.2.2.6 コミュニティ交流員の配置と役割

| | 配置 | 主な役割 |
|---|---|---|
| コミュニティ交流員 | ・復興公営住宅100世帯に2人程度のコミュニティ交流員を配置。<br>・各コミュニティ交流員は、担当団地制。 | ・復興公営住宅入居者同士、周辺の避難者、地域住民とのコミュニティづくりに向けた交流活動の支援<br>・イベントの企画・運営<br>・コミュニティ情報の発信<br>・交流活動を通じた復興公営住宅入居者への見守り活動 |
| スーパーバイザー（SV） | ・コミュニティ交流員10人に1名程度のSVを配置<br>・各SVは担当エリア制。 | ・コミュニティ交流員の業務内容に関する指導・監督<br>・交流活動への参画と交流員に対する助言<br>・交流員間の連携や情報共有を図るための企画・実施<br>・地域の課題解決に関する市町村や関係団体等との連絡調整 |
| 全体総括 | ・1名配置 | ・業務全体の進度管理（統括）<br>・SV及びコミュニティ交流員の業務に関する指導・監督<br>・SV及びコミュニティ交流員の研修計画の立案・実施<br>・市町村や関係団体等との連携に関する全体調整 |

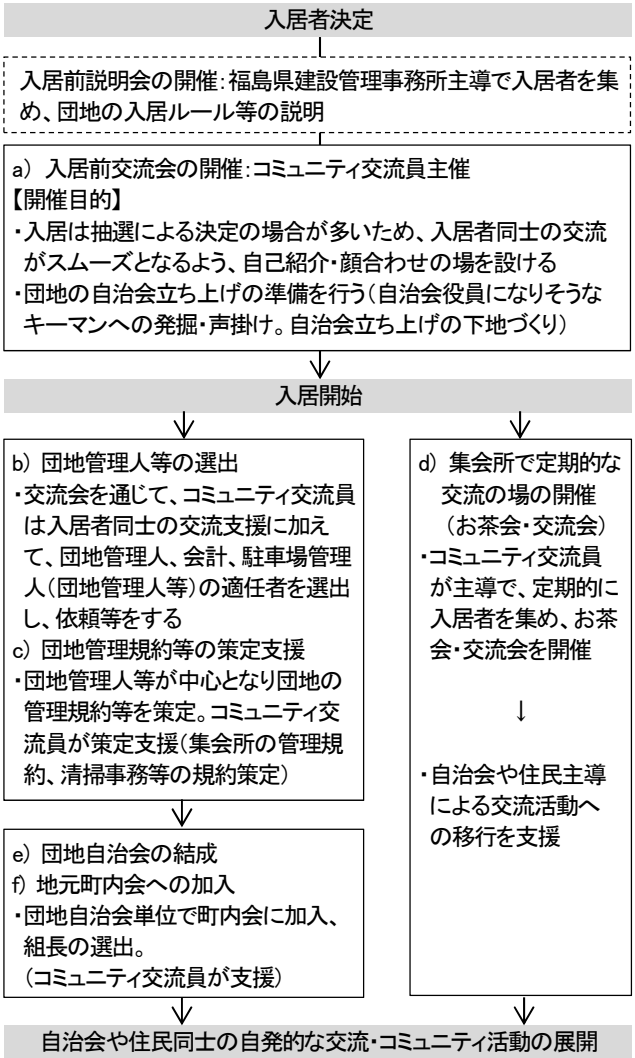



図-Ⅳ9.2.2.7 コミュニティ交流員による初動期支援の流れ

災害公営住宅には、規模にかかわらず原則集会所を併設）を活用するなどして活動する。

なお、コミュニティ交流員の配置にかかる予算は、「コミュニティ復活交付金（福島再生加速化交付金）」の基幹事業である「被災者生活支援事業」を活用している。

② 初動期の自治会結成・コミュニティ形成の取組の流れ

コミュニティ交流員による入居者間の交流、自治会の立ち上げ・町内会への加入の支援プロセスについて調査した。標準的なプロセスは図-Ⅳ.9.2.2.7 のようになる。

③ コミュニティ交流員の取り組みの工夫と課題

コミュニティ交流員は、②で示したプロセスを基本としつつ、各団地の特性等を踏まえた創意工夫による取り組みを行っている。そこで、既に入居が始まっている団地の中から立地・規模等の点で対照的な団地として、既成市街地内に立地する小規模団地（会津若松市年貢町団地・古川町団地）と、既成市街地縁辺部に立地する大規模団地（いわき市下神白団地）の２タイプを取り上げ、担当のコミュニティ交流員にヒアリング調査を行い（平成28年１月）、自治会の結成や入居者のコミュニティ形成に係る取組みの工夫点や今後の課題について整理した。その概要を表-Ⅳ.9.2.2.7 に示す。

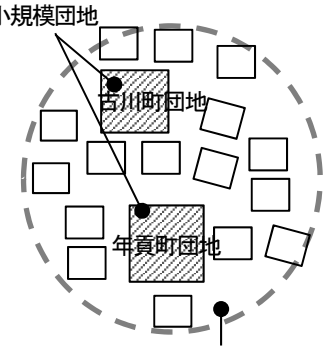
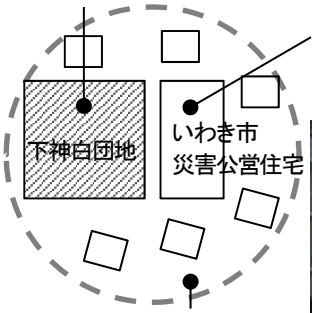
a）入居前交流会の開催

仮設住宅とはまた入居者が異なることから、新しいコミュニティづくりが必要となる。そこで、入居者同士の自己紹介の場として入居前交流会を昼食会形式で開催し、交流のきっかけづくりをする。また、交流会では各入居者の地元自治体の生活支援相談員にも参加してもらい、従前の住まい（仮設住宅等）の人間関係の継承に配慮するなどの工夫を行っている。被災当時から関係の深い生活支援相談員がいることが新たな生活での安心感を高めることにつながるためである。さらに、周辺の生活利便施設（最寄品、病院等）の情報をとりまとめた冊子の配布や入居後に近隣住民とトラブルになりやすいごみの分別方法等のルールの説明をしている。これらの取り組みは各地域・団地に共通である。

b） 団地管理人等の選出

自治会の立ち上げ前に、コミュニティ交流員が早い時期に団地管理人、会計、駐車場管理人（以下「団地管理人等」という。）を選定している。避難元自治体の推薦又は入居前説明会の状況を踏まえ、被災前の地域

表-Ⅳ.9.2.2.7 団地タイプに応じたコミュニティ交流員の取り組みの工夫と課題（平成 28 年 1 月現在）

| | タイプ1：既成市街地内に立地する小規模団地<br>（会津若松市：年貢町団地 50 戸、古川町団地 20 戸） | タイプ2：既成市街地の縁辺部に立地する大規模団地<br>（いわき市：下神白団地 200 戸） |
|---|---|---|
| 入居者の被災自治体 | ・古川町団地：大熊町 12 世帯、浪江町 4 世帯、富岡町 3 世帯、双葉町 3 世帯。<br>・年貢町団地1号棟：大熊町37世帯、浪江町 2 世帯、空室1戸。<br>・年貢町団地 2・3 号棟：大熊町 4 世帯、浪江町1世帯、富岡町 2 世帯 | ・1・2 号棟：富岡町<br>・3 号棟：大熊町<br>・4・5号棟：浪江町<br>・6 号棟：双葉町と浪江町が混住 |
| 現状と主な取組み | 小規模団地<br>  <br><br>  <br>周辺には既存町内会が存在 | 周辺の町内会規模をしのぐ大規模団地<br>  <br><br>  <br>周辺には既存町内会が存在 |
| | ・各団地と規模が小さいため、団地単位で自治会を組織せず、町内会に（団地が）一つの組として加入。<br>・入居当初から町内会の受入体制は良好で、入居開始前の交流会に地域の役員を招くなど、初動期の交流会を通じて入居者同士のコミュニティを形成。入居後も地元町内会との交流活動も活発。<br>・古川町団地は 20 戸のため集会所が設置されず、交流活動は年貢町団地の集会所の活用や、古川町団地の駐車場等を活用（古川町団地で集会所を設置されてないことは団地住民の大きな課題）。<br>・見守りは大熊町社協（大熊町民対象）、会津若松市社協（他の町村は委ねている）。<br>・介護予防活動は年貢町の集会所で大熊町の健康体操を実施（古川町では集会所が無いため未実施）。 | ・大規模団地であり、住棟・入居自治体単位で4自治会（1・2 号棟、3 号棟、4・5 号棟、6 号棟ごと）を設立するが、うち1自治会は未結成。全自治会の結成後に町内会への加入を協議するが、周辺の既存町内会をしのぐ大規模な自治会規模であるため、地元の町内会への受入には時間を要する見込み。<br>・交流員や住民の有志による集会所を活用したイベントは頻繁に開催。<br>・見守り活動は各町村の社協、浪江町は相双保健事務所が実施。介護予防活動は、集会所で相双保健事務所と生協で介護体操を実施。<br>・市営の災害公営住宅との交流は個人ベースではあるが、組織的には行われていない。 |
| 課題 | ・高齢化が進む中で、自治会機能の維持。<br>・集会所の整備されていない団地での住民交流の場の確保、住民の主体的活動による持続的なコミュニティ活動の展開。 | ・自治会の未結成の住棟での自治会の立ち上げ、団地全体の連合自治会の結成と、周辺の既存町内会との交流・加入。<br>・住民の主体的活動による持続的なコミュニティ活動の展開。 |

や仮設住宅で役員等の経験のある人、フットワークの軽い人等を選んで依頼している。また、集会所の鍵の管理を団地管理人だけに委ねず、県建設事務所の了解を得てスペアキーを複製して他の役員も保管するなどして、団地管理人の役職の負担を軽減し、団地管理人になりやすい工夫をしている。これらの取り組みについても各地域・団地に共通である。

c) 団地管理規約等の策定支援

団地共用部分（住棟共用廊下や敷地内）の清掃ルール等の団地管理規約のひな型をコミュニティ交流員が作成し、団地管理人等による団地管理規約の作成を支援している。

地域で異なる規約の内容として、会津地域での冬季の除雪作業がある。高齢化が進行する中で住民による除雪が困難な場合は、同作業をアウトソーシングすることとし、コミュニティ交流員が地元建設業者に除雪費の見積作成を依頼し、委託業者の選定・共益費の設定等の支援をしている。

d) 集会所で定期的な交流の場の開催

交流会のイベントは、現在はコミュニティ交流員が企画して月１回程度の頻度で行われている。多様な仕掛けにより、交流を促すための工夫が行われている。例えば、地域の町内会会長に参加してもらい、入居者が地域と接点を持てる工夫をしている。また、地域の小中学校の活動の発表会等を集会所で開催し、子供達だけでなく、その父母（地域住民）にも参加してもらうなど、多世代交流の場を設けるなどの工夫をしている。さらに、入居者間の交流だけでなく、地元や避難元の関係機関にも声掛けし、情報共有する機会づくりをしている。特に仮設住宅の入居時から関係がある団体（見守り・生活相談活動をしている社会福祉協議会等）に参加してもらうことで、新しい団地での困り事等の相談をしやすくする工夫をしている。

上記の取り組みは各地域・団地に共通の取り組みで

あるが、お互いの顔の見えにくい大規模団地では、交流会の参加者の名札を作成（避難元の町村名や住棟毎に色分け）し、交流会に参加する者同士が顔と名前を覚えやすくしている。またその前提として、コミュニティ交流員は、イベント案内の戸別訪問時に、入居者の顔や名前、部屋番号を整理するとともに、交流会への参加の促しや緊急時に備えて、入居者の交友関係を把握するよう努めている。

なお、交流会の開催については、集会所の併設されていない団地での課題が大きい。原発災害公営住宅では規模によらず集会所の併設を原則としているが、周辺に既存の集会所等がある場合は併設されてないケースもある。周辺団地での集会所で合同の交流会の開催が行われたりしているが、冬期間では住民の足が遠のくなど、コミュニティ交流に支障を来すことが危惧されている。

e)　団地の自治会の結成

入居者に自治会の結成の必要性を認識してもらうため、コミュニティ交流員が、町内会や組長の役割、町内会の仕組み、町内会加入の利点、費用負担等について整理した資料を作成し、支援をしている。

なお、自治会が結成された中程度（50 戸程度）の規模の団地（会津若松市年貢町団地）では、将来的に入居者の高齢化がいっそう進行することが予想される中で、自治会機能の維持が課題である。一方、避難元の単位で入居する住棟ごとに自治会を結成する大規模団地の場合（いわき市下神白団地）、団地全体の連合自治会の結成（どの自治体が連合自治会長の役割を担うのかなど）が次の課題である。

f)　地元町内会への加入の工夫

団地の自治会が結成されると、地域での交流に向けて地元町内会への加入が一般的な流れとなる。

ただし、表-Ⅳ.9.2.2.7 のタイプ１に示した小規模な原発災害公営住宅団地の場合（会津若松市古川町団地）は、団地単位での自治会結成と町内会への加入は二重構造になり、住民の負担になるため、団地自治会を立ち上げず、町内会に加入するなど、団地の状況に応じた対応を行っている。この場合、入居前交流会の時点で、町内会長に参加してもらい、町内会に加入するメリットを説明してもらうことで、町内会への加入の意識を高める工夫をしている。

一方、タイプ２に示したような、団地自治会が既存の町内会の規模をしのぐ大規模団地の場合は、町内会との交流には時間を要しがちである。このため、団地内の各自治会をまず立ち上げ、団地の連合自治会長を擁立したうえで、町内会との交流を進める等のプロセスを、既存町内会に説明をして、団地との関係づくりに理解を得る努力をしている。

2)　高齢者等の見守り・介護予防等の生活支援の提供スキームに関する調査整理

原発災害公営住宅の入居者の居住の安定に向けては、自治会の立ち上げ等を通じたコミュニティの形成に加え、高齢者が中心となる入居者個々に対する生活支援（見守りや介護予防サービス等）の提供が必要となる。避難者が広域化し、原発被災自治体の福祉資源も乏しい中で、これらの支援を効率的に提供することが課題となる。

そこで、避難が最も拡散・広域化している（図-Ⅳ.9.2.2.5 参照）浪江町を対象とし、生活支援の提供スキームに関する調査・整理を行った。具体的には、浪江町及び各避難先市町村の福祉資源の実態や課題等の調査整理を行い、浪江町民の入居予定の原発災害公営住宅の立地市町村ごとの生活支援の提供スキームの検討・提案を行った。

① 浪江町の避難状況

浪江町は全人口約 2.1 万人が全町避難し、町役場機能を二本松市に移転している。約７割が県内に避難しており、県内の避難先は、中通り（福島市、二本松市、郡山市、本宮市等）と浜通り（いわき市、南相馬市等）を中心に拡散している（図-Ⅳ.9.2.2.8）。応急仮設住宅は、福島市、二本松市、本宮市の中通り北部に集中している（図中、青丸表示）。

② 浪江町における福祉資源の実態及び課題

応急仮設住宅においては、高齢者等の生活サポートをするために有効な施設として「高齢者等サポート拠点」の設置が推奨されている（「応急仮設住宅地域における高齢者等のサポート拠点等の設置について」（厚生労働省老健局振興課・平成 23 年 4 月 19 日付事務連絡））。

浪江町民の入居している応急仮設住宅では５カ所（二本松市内２カ所、本宮市・福島市・桑折町内に各１カ所）に「高齢者等サポートセンター」が設置されている。そこで、各高齢者等サポートセンターの事業主体に対して、運営の状況、サービス提供内容、原発災害公営住宅が整備された場合のサービス提供等の継続化の意向等について調査した（平成 26 年度）。その結果を表-Ⅳ.9.2.2.8 に示す。

原発災害公営住宅へのサービス提供の継続化の意向について示す。社会福祉法人博文会は、中通り地域で

は有能なスタッフ確保の問題等により事業化の課題があるが、事務所機能のあるいわき市内では、継続的な支援（デイサービス、交流機能の提供等）が可能であるとの意向を得た。NPO 法人 ＪＩＮについては、現在のサポートセンター機能を維持することで、中通り地域に整備される原発災害公営住宅の入居者への支援が可能であること、南相馬市内に整備される原発災害公営住宅の入居者に対しては、NPO の本部機能を拠点に支援が可能であるとの意向を得た。

一方、浪江町の社会福祉協議会では現在、28 名の生活支援相談員を配置して避難者の見守りを行っている。配置の拠点は二本松市（17 名）、福島市（8 名）、南相馬市（3 名）であり、各拠点から巡回訪問している。仮設住宅、借上げ住宅、原発災害公営住宅の全世帯にまず 1 回訪問をして状況把握をした上で、その後は基本的に 65 歳以上の高齢者、独居者（年齢不問）、継続訪問が必要と思われる世帯（健康面での問題のある者等）を対象に定期的な見守り訪問を行っている。なお、いわき市には町の生活支援相談員を配置していないため、日本赤十字や県双相保健福祉事務所に訪問活動を依頼している。

また、避難者に対する介護予防サービスとして、各

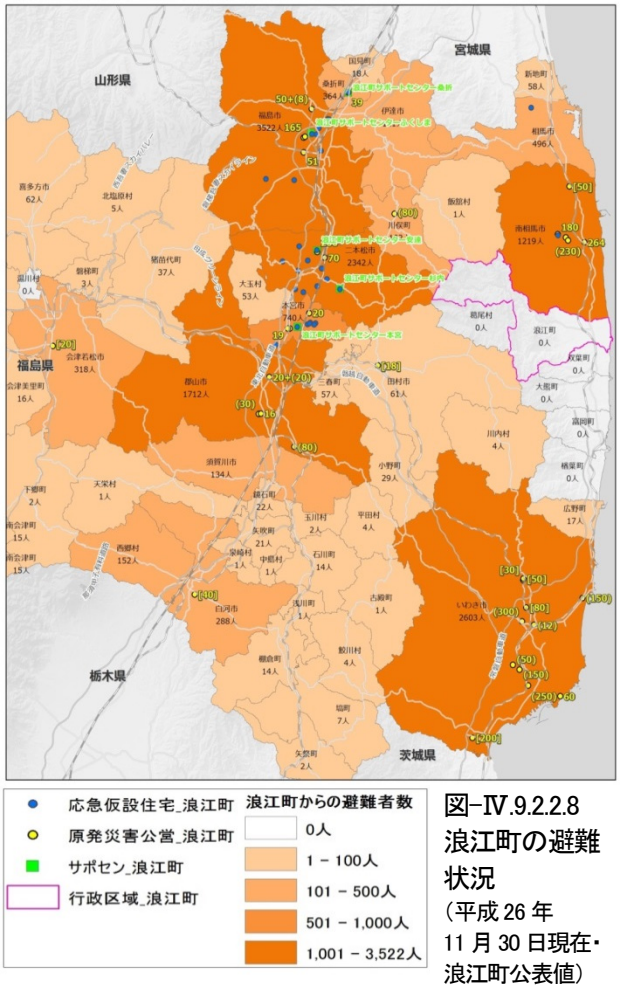



図-Ⅳ.9.2.2.8 浪江町の避難状況
（平成 26 年 11 月 30 日現在・浪江町公表値）

表-Ⅳ.9.2.2.8 浪江町の高齢者等サポートセンターの運営実態等（平成 27 年 1 月末現在）

| 名称 | 浪江町サポートセンター安達（二本松市） | 浪江町サポートセンター桑折町（桑折町） | 浪江町サポートセンター杉内（二本松市） | 浪江町サポートセンター本宮（本宮市） | 浪江町サポートセンター福島（福島市） |
|---|---|---|---|---|---|
| |  |  |  |  | （写真なし） |
| 運営主体 | 社会福祉法人 博文会 | 社会福祉法人 博文会 | NPO法人 JIN | NPO法人 JIN | NPO法人 JIN |
| | ・浪江町で居宅介護事業所を中心に福祉事業を展開。いわき市で病院も経営。<br>・避難により現在、いわき市に事務所機能を置き、仮設特別養護老人ホームを開設。 | | ・平成 17 年に NPO 法人を設立し、浪江町で高齢者・障害者・子供を対象としたデイサービス事業、障害者のリハビリ事業を展開。<br>・避難により現在、南相馬市に事務所機能を置き、障害者の就労支援動の場として、南相馬市、浪江町でサラダ農園を開設。 | | |
| 提供サービス | ・介護：デイサービス、訪問介護<br>・介護予防：体操教室、いきがいデイ<br>・子育て：学童保育<br>・生活支援：総合相談<br>・コミュニティ：サロン | ・介護：デイサービス、訪問介護<br>・介護予防：体操教室、いきがいデイ<br>・子育て：学童保育<br>・生活支援：総合相談<br>・コミュニティ：サロン | ・介護：デイサービス<br>・介護予防：体操教室<br>・子育て：一時保育、学童保育<br>・生活支援：総合相談、見守り<br>・コミュニティ：サロン | ・介護：デイサービス（平成 25 年まで）<br>・介護予防：体操教室<br>・子育て：学童保育<br>・生活支援：配食（平成 25 年まで）<br>・コミュニティ：サロン | ・介護：なし<br>・介護予防：体操教室<br>・子育て：学童保育<br>・生活支援：総合相談<br>・コミュニティ：サロン |
| 職員体制 | ・13 名（常勤 12 名、非常勤 1 名）。<br>・専門職：准看護師、栄養士、介護福祉士 | ・9 名（常勤 8 名、非常勤 1 名）<br>・専門職：准看護師、栄養士、介護福祉士 | ・15 名（常勤 9 名、非常勤 6 名）、専門職：准看護師、社会福祉士、理学療法士、介護支援相談員 | ・6 名（常勤 6 名）。<br>・専門職：看護師、健康運動指導士、栄養士 | ・5 名（常勤 5 名）。<br>・専門職：看護師、健康運動指導士 |
| 意向 | ・中通りでは、有能なスタッフ確保が課題。事務所機能のあるいわき市内の原発災害公営住宅については、支援が可能（デイサービス、交流機能の提供等） | | ・杉内・本宮のサポートセンター機能は、二本松市内の原発災害公営住宅に併設される高齢者施設に移行し、事業展開が可能。NPO の本部機能の南相馬市を拠点に、南相馬市に整備される原発災害公営住宅への支援が可能。 | | |

種主体と連携して、福島市、二本松市等の地域集会所を活用して、健康体操教室、サロン等を実施している。

③ 受入自治体における福祉資源の実態及び課題

福島県内の各自治体における高齢者等の見守り、生活相談等の生活支援を強化するため、福島県では、平成 27 年度より「生活支援相談員」を 400 名に倍増し、各市町村の社会福祉協議会に派遣することとした。その一方で、原発避難者等の受入自治体における原発災害公営住宅の入居者に対する生活支援については、福島県の調整下で、表-Ⅳ.9.2.2.9 に示す方針が定められた。

すなわち、原発事故による避難者に対しては、「原発避難者特例法」に基づく行政サービスの提供として、避難者の受入自治体の社会福祉協議会等が中心となって生活支援サービスを提供することを基本としているが、いわき市、南相馬市ではその例外である。両市では、自市住民の被災者も多く、介護職の避難・流出等により、他町村からの避難者に十分な福祉サービスの提供ができないのが実状である。このため、避難元の原発事故被災自治体が主体となって福祉サービスを提供する必要があるが、避難者が広域化し、福祉資源の乏しい状況において、効率的で良質なサービス提供のしくみづくりが課題である。④ いわき地域での４町連携による介護予防事業

上記の課題を踏まえ、いわき市への避難住民が多い浪江町、富岡町、大熊町、双葉町では、平成 27 年度後半より「４町連携による介護予防事業」を実施している。各町とも介護職員の不足等により、介護予防の体操教室等を頻繁に開催することは難しい状況にあり（せいぜい月１回程度）、効果的な介護予防につながらないことが危惧されている。このため、４町が連携・補完しあいながら、各町の既存の福祉資源を有効活用し、避難者に対して介護予防サービスを受ける機会を拡大するため事業が開始された。各町が開催する介護予防教室に他町の避難者も参加可能とするものである。費用は開催自治体が負担することとし、県双相保健福祉事務所いわき出張所が企画・連絡、各町の避難者への開催通知、参加申込の窓口等の調整機能を担っている（図-Ⅳ.9.2.2.9）。

運用上の課題として、当初、避難者の中には他町主催の教室へは参加しづらいと感じる者が少なくないことが指摘された。そのため現在、開催案内や申し込み時に、友人等にも声を掛けて一緒に参加することを勧める、避難元の町の職員やボランティアが同行して参加する等の工夫がされている。各町の壁を越えて参加しやすい環境づくりや、主体となる住民ボランティアの育成を行うとともに、４町連携のしくみを原発災害公営住宅の地域に円滑に移行していくことが今後の課題となっている。

⑤ 福島県双相保健福祉事務所いわき出張所の役割

県双相保健福祉事務所いわき出張所は、いわき市内に整備された原発災害公営住宅の入居者に対して「個別支援（家庭訪問）」と「集団支援（健康教育）」を行っている。

個別支援は、いわき市内に生活支援相談員を配置していない浪江町の依頼を受けて、保健士と看護師が対象者の住宅を個別訪問するものである。一方、集団支援は、災害公営住宅の集会所で、看護師が健康講話を行い、いわき市のシルバーリハビリ体操指導士と連携して介護予防体操等の健康支援を行うものである。

⑥ 原発災害公営住宅への生活サポートの提供スキームの整理・提案

浪江町及び受入側自治体それぞれの福祉資源には様々な制約があるなかで、原発災害公営住宅の入居者の居住の安定を確保するためには、既存の資源をうまく組み合わせて活用していく必要がある。前記の調査

表-Ⅳ.9.2.2.9 原発災害避難者に対する生活支援の提供の考え方

| | 状況・課題等 | 対応 |
|---|---|---|
| 中通りの市町村（福島市、郡山市、二本松市他） | ・自市町村の被災者が相対的に少ないため、原発避難者に対するサービス提供を行うことは可能 | ・受入自治体で、原発災害公営住宅の入居者等の介護予防、見守り・生活相談等のサービスを提供（原発避難者特例法に基づく行政サービスの提供） |
| いわき市 南相馬市 | ・自市町村の被災者が相対的に多いため、原発避難者に対するサービス提供を行うことは不可能（人的資源の不足等） | ・避難元の自治体が主体となって、原発災害公営住宅の入居者等の介護予防、見守り・生活相談等のサービスを提供（原発避難者特例法の適用外） |

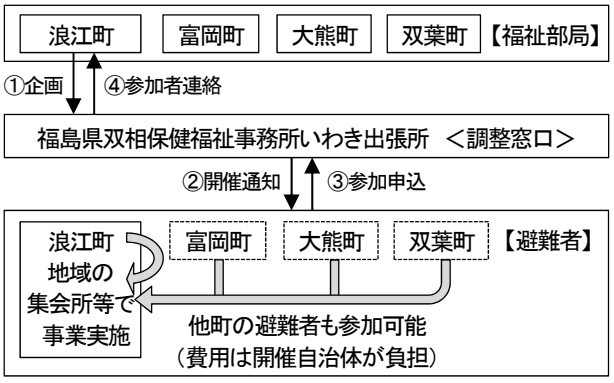
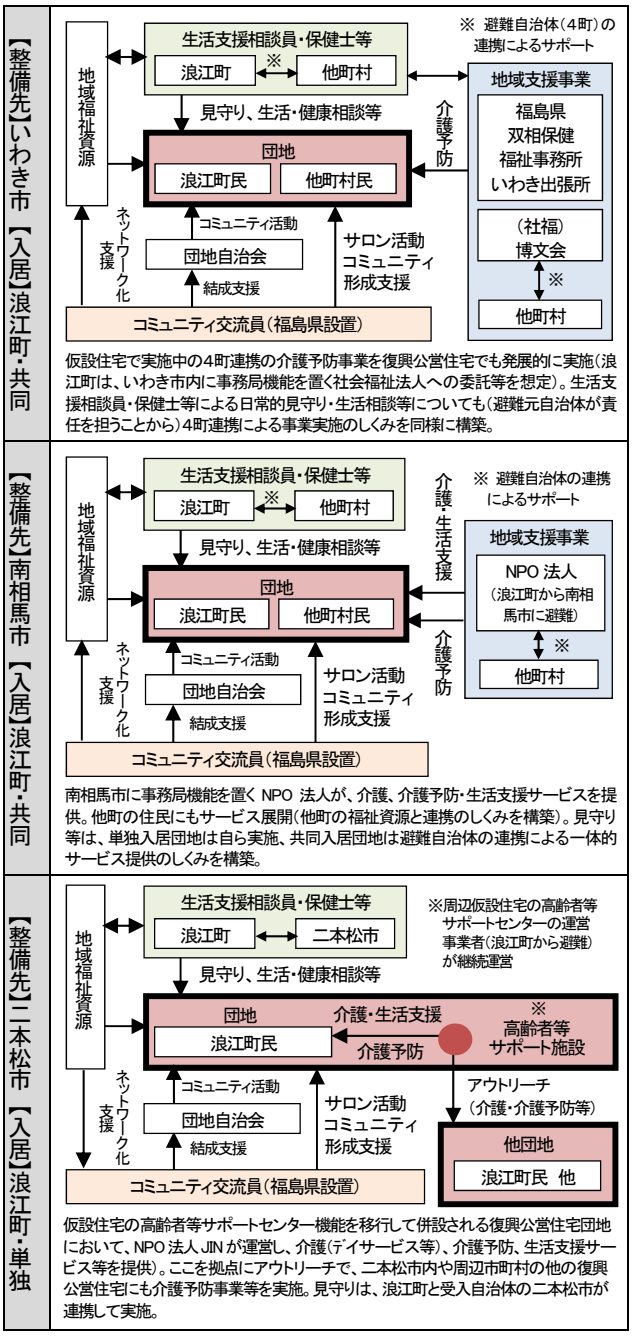



図-Ⅳ.9.2.2.9 ４町連携による介護予防事業のスキーム

での福祉資源の実態や福祉事業者の意向等を踏まえ、浪江町民の入居が予定される原発災害公営住宅の整備先自治体（いわき市、南相馬市、二本松市）ごとに生活サポートの提供スキームを検討・提案した。提案したスキームを表-Ⅳ.9.2.2.10 に整理して示す。

**表-Ⅳ.9.2.2.10　原発災害公営住宅への生活サポートの提供スキームの提案（整備先自治体別）**




いわき市に整備される原発災害公営住宅は複数の避難自治体の住民が共同入居する団地が多い。一方、いわき市の福祉資源を利用するうえでも制約が大きい。このため、仮設住宅で実施中の４町連携の介護予防事業を原発災害公営住宅の地域でも発展的に実施する必要がある。浪江町は、同町からいわき市に避難して事務局機能を置いている社会福祉法人への委託等が想定できる。生活支援相談員・保健士等による日常的な見守り・生活相談等については、（浪江町の社会福祉協議会はいわき市内に事務所機能を置いていないため）社会福祉法人、日本赤十字、県双相保健福祉事務所いわき出張所等との重層的な連携体制の構築により継続的に対応することや、生活支援相談員を新設して、４町連携による事業実施のしくみを構築していくことなどが想定される。

南相馬市に整備される原発災害公営住宅についても他の避難自治体との共同入居の団地が多い。浪江町から同市に避難している福祉系 NPO 法人が介護、介護予防等の生活支援サービスを提供し、見守りは共同入居する他の自治体との連携により提供することが考えられる。

一方、二本松市に整備される原発災害公営住宅は浪江町民の単独入居の団地が多い。高齢者等サポート施設が併設される団地があり、この施設が当該団地や周辺団地の住民に介護・介護予防サービスを提供する。見守りは浪江町と地元の二本松市の連携により提供する。

（３）おわりに

国総研では、（１）原発災害公営住宅の整備計画について、被災自治体の意向調査を踏まえた計画立案の考え方等についての技術的支援を行った。また、（本稿では触れなかったが）具体の計画敷地での原発災害公営住宅の計画づくりにあたって、平成 25～26 年度に国土交通省住宅局により福島県等における原発避難者向け災害公営住宅の供給を推進するための計画に係る検討が実施され、同調査において現地での敷地調査や基本計画の策定に係る技術指導を行った。

また、（２）原発災害公営住宅の入居者に対する生活支援の提供の現状・課題と提供スキームの提案については、原発事故被災自治体及び受入自治体との協議を深め、提案した生活支援提供スキームを精査し実現化を図っていくことが残された課題である。

参照文献

1) 長谷川洋、福島原子力災害避難者の長期避難生活拠点の形成に向けた取組みと課題、都市住宅学 86 号、pp.12-17、2014 年 7 月、都市住宅学会

### Ⅳ.9.2.3　公営住宅の建設と復興まちづくり

(1)復興まちづくりにおける災害公営住宅の役割

地域のまちづくりを踏まえて災害公営住宅を計画する際に考慮することが求められる事項として、次のような観点を設定した上で、災害公営住宅の整備における取組の事例について収集し、整理した。

①まちに人を住まわせる：浸水地の嵩上げや高台の造成などで整備される新たなまちで、暮らしの基盤となる住まいを計画的に提供して住民をつなぎとめる。

②まちに必要な機能を提供する：まちづくりの計画を反映させる形で、公共施設を合築・併設したり敷地・建物の一部をまちに開いて、地域の核として活用する。

(2)まちに人を住まわせるための取組

岩手県陸前高田市の下和野団地（120 戸）は、津波で甚大な被害を受け広範囲での土地区画整理事業が行われる高田地区の山側に位置しており、早期整備のため先行工区として設定し、起工承諾の手続をとって工事に着手している。周辺地域で計画されている高さの嵩上げを当該敷地において先行的に実施し、その上に５～７階建の住棟を建設している。この住宅は防潮堤の整備よりも早く 2014 年度に完成するため、１階は非居住用途にするとともに、２階部分に回廊を設けて万が一浸水した場合でも住棟間での移動が出来るようにしている。あわせて集会所は最上階に設置して、災害時の避難場所となるようにもしている。

宮城県気仙沼市内湾地区では、地権者による共同建替え事業（優良建築物等整備事業）のグループ形成と検討支援を行政が行うとともに、整備された建物の上層階を災害公営住宅整備事業で買い取ることで、生活利便性の高い市街地中心部での居住を誘導している。あわせて低層階部分には地権者らが営む共同店舗等を整備して、当該地区での生業の核にしようとしており、これらの運営のためまちづくり会社等の主体の形成も検討されている。このような形で早期の整備を行うため、土地区画整理事業区域の中で共同化の敷地３地区（その他事業区域外に１地区あり）を先行街区として位置づけ、売却意向のある土地を集めて先行換地を行い、施工同意により事業推進を早めるとしている。

防災集団移転促進事業と合わせた災害公営住宅の整備では、前者での造成宅地に建設される自力再建住宅と調和するよう、災害公営住宅も戸建で建設される場合が多いが、さらに自力再建住宅と災害公営住宅のエリアを分けつつも混在する配置として、一体性をより高める対応もなされている。戸建物件の敷地を広くとって自力再建住宅と規模の差がない形で連続的に配置する岩手県田野畑村の各団地や、自力再建住宅の敷地と戸建災害公営住宅が緩やかに混ざり合う配置を検討している宮城県石巻市北上のにっこり団地地区、集団移転先を一箇所に集約した上で元の集落単位で自力再建住宅と災害公営住宅をグルーピングする宮城県岩沼市玉浦西地区（計 210 戸）などがある。

(3)まちに必要な機能を提供する取組

先に挙げた岩手県陸前高田市の下和野団地では、１階の非居住用途部分には店舗や高齢者支援拠点等を導入し、周辺の市街地が整備される前に入居が行われても生活が出来る機能を入れている。

宮城県多賀城市の桜木地区では、４棟計 160 戸の災害公営住宅のうちの１棟の２階部分に、保育所が併設されている。また各棟をつなぐ形でコミュニティデッキが整備され、周辺の居住者も一時避難が出来るようにするほか、デッキに面する位置に居住者等が集える「みんなのリビング」という空間が設けられている。

宮城県女川町の陸上競技場跡地（200 戸）では、災害公営住宅の住民のみならず地域にも開かれる「コミュニティプラザ」が配置されており、集会室のほかカフェや生活支援施設などが整備されている。

災害公営住宅で一般に整備される「集会室」を地域に開いてコミュニティ拠点として活用する取組も各所でみられる。宮城県南三陸町では、入居予定者や周辺住民が集まって集会所や屋外空間の作り方や使い方について意見交換する「くらしの懇談会」を開催している。そこで出された要望や意見を、既に工事中の２団地と設計中の３団地の集会所に活かすとともに、意見を反映した集会所の標準プランなどもまとめている。

このほか、災害公営住宅の集会所に生活支援相談員の事務所を整備して地域福祉の拠点とする、災害公営住宅の集会所前に移動販売を行うなどの物販拠点として使える空間を整備する、災害公営住宅団地に隣接する形で地域福祉や生活支援の拠点となる施設を整備するなど、様々な形が検討・実践されている。

参照文献

1) 米野史健、公営住宅の建設と復興まちづくり、東日本大震災合同調査報告書編集委員会編『東日本大震災合同調査報告 都市計画編』、pp.100-106、2015 年 1 月、日本都市計画学会

## Ⅳ.9.3　被災地域の住宅生産体制に関する調査

本節では、国総研が震災後に住宅生産及びその体制について現地で実態調査した結果について記述する。特に、岩手県を中心にして実施した現地調査した結果から、工務店などの地域の小規模住宅生産者がどのような体制を組み、被災住宅の補修・改修、仮設住宅の建設などを展開したかに焦点を絞り、記述する。

### Ⅳ.9.3.1　地域型復興住宅の生産体制

東日本大震災は強い揺れと巨大な津波を引き起こし、震源域に近い岩手県、宮城県及び福島県（以下、被災3県と略記）では、甚大な被害が生じ、震災後、自治体主導の下で地域型復興住宅の生産体制が構築された。そこで、地域型復興住宅の生産体制の経緯とその内容について記す。

（1）地域型復興住宅の生産体制の構築の経緯

本震災では、東北地方沿岸地域を中心にして多くの家屋が被害を受けた。平成23年12月末時点の被災3県の公表データを合せると、全壊・半壊した家屋は約31.8万棟を数える。この値は、震災前の被災3県における住宅ストック数の20%程度に相当する。

このような甚大な被害状況を受けて、同年中に岩手と宮城県は復興計画・方針として住宅確保のために供給・整備すべき計画戸数の目安を、それぞれ 1.6～1.8万戸、7.2 万戸と発表し、それ以降、各地で災害公営住宅の供給や民間の住宅再建が精力的に進められている。

被災地域で豊かな住環境を築くためにも、地域の工務店を中心とした木造住宅の生産システムが主要な生産体制の１つとして期待される。そこで、被災者の自力再建のための一定のコンセプト（①長期利用、②将来成長、③環境対応、④廉価、⑤地域適合、⑥需要対応の６つ）を満たす木造戸建て住宅の設計計画と、平時を超える需要に対応して円滑に供給するための生産システムを備えた、地域型復興住宅の生産者グループ（①原木供給、②製材、③建材流通、④プレカット、⑤設計、⑥施工、⑦その他の７つの業種で構成）の組織化が構想された[1)]。

平成23年9月に被災3県の官民関係団体等の連携により各県の地域型復興住宅連絡会議が発足した。住宅金融支援機構等の協力を得て、同 12 月に「設計と生産システムガイドライン」を取りまとめた。平成24年2月には、当該連絡会議を改組して各県の地域型復興住宅推進協議会（以下、協議会と略記）が設置され、

表-Ⅳ.9.3.1.1　生産者グループの登録数、代表事業者の地域分布と業種

| | 地域分布 | | 業種別 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 設計 | | 施工 | |
| | 実数 | % | 実数 | % | 実数 | % |
| 岩手県 | 135 | 100.0 | 30 | 22.2 | 94 | 69.6 |
| 県北 | 17 | 12.6 | 7 | 41.2 | 9 | 52.9 |
| 県央 | 46 | 34.1 | 6 | 13.0 | 37 | 80.4 |
| 県南 | 44 | 32.6 | 10 | 22.7 | 29 | 65.9 |
| 沿岸 | 28 | 20.7 | 7 | 25.0 | 19 | 67.9 |
| 宮城県 | 79 | 100.0 | 26 | 32.9 | 40 | 50.6 |
| 気仙沼 | 1 | 1.3 | 0 | 0.0 | 1 | 100.0 |
| 石巻 | 10 | 12.7 | 2 | 20.0 | 5 | 50.0 |
| 登米 | 4 | 5.1 | 1 | 25.0 | 1 | 25.0 |
| 栗原 | 1 | 1.3 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 大崎 | 9 | 11.4 | 3 | 33.3 | 5 | 55.6 |
| 仙台 | 50 | 63.3 | 20 | 40.0 | 24 | 48.0 |
| 仙南 | 4 | 5.1 | 0 | 0.0 | 4 | 100.0 |
| 福島県 | 90 | 100.0 | 14 | 15.6 | 63 | 70.0 |
| 県北 | 26 | 28.9 | 6 | 23.1 | 20 | 76.9 |
| 県中 | 29 | 32.2 | 3 | 10.3 | 23 | 79.3 |
| 県南 | 3 | 3.3 | 1 | 33.3 | 2 | 66.7 |
| 会津 | 9 | 10.0 | 2 | 22.2 | 6 | 66.7 |
| 南会津 | 3 | 3.3 | 1 | 33.3 | 2 | 66.7 |
| 相双 | 5 | 5.6 | 0 | 0.0 | 4 | 80.0 |
| いわき | 15 | 16.7 | 1 | 6.7 | 6 | 40.0 |

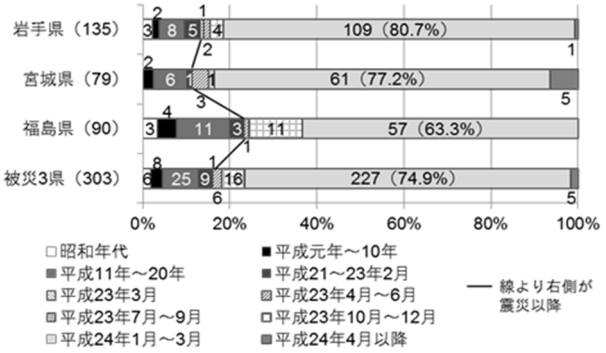



図 - Ⅳ.9.3.1.1　生産者グループの設立時期

当該ガイドラインに沿った地域型復興住宅の担い手を組織化するため、同3月上旬まで生産者グループの募集・登録を進めた。

表-Ⅳ.9.3.1.1 のように、生産者グループとして、岩手県で 135 グループ、宮城県で 79 グループと福島県で 90 グループ、被災3県で合計 304 グループが登録された。

(2)地域型復興住宅の生産者グループの組織的特徴

生産者グループの代表事業者は、施工を業務とする者であり、占める割合は岩手県 69.6%、宮城県 51.9%、福島県 70.0%である。各県同様に、生産者グループは通常、地域の工務店等の木造住宅を施工する能力を有する事業者が中心となり組織化されていると言える。次いで多い業種は、設計であり、特に宮城県では30%程度を占める。

表 - Ⅳ.9.3.1.2　代表事業者の所在地域別に見た施工事業者の地域分布

| | 岩手　代表事業者の所在地域 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 県北 | 県央 | 県南 | 沿岸 | 計 |
| 県北 | 66<br>83.5 | 3<br>3.8 | 7<br>8.9 | 3<br>3.8 | 79<br>100.0 |
| 県央 | 4<br>2.03 | 150<br>76.1 | 39<br>19.8 | 4<br>2.0 | 197<br>100.0 |
| 県南 | 0<br>0.0 | 19<br>8.8 | 188<br>86.6 | 10<br>4.6 | 217<br>100.0 |
| 沿岸 | 2<br>1.44 | 10<br>7.2 | 28<br>20.1 | 99<br>71.2 | 139<br>100.0 |
| 県外 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 |
| 計 | 72<br>11.4 | 182<br>28.8 | 262<br>41.5 | 116<br>18.4 | 632<br>100.0 |

（横軸）代表事業者の所在地域
（縦軸）施工事業者の所在地域
（上段）施工の事業者数
（下段）施工の事業者の構成比率
代表事業者と施工業者が同一

| | 宮城　代表事業者の所在地域 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 気仙沼 | 石巻 | 登米 | 栗原 | 大崎 | 仙台 | 仙南 | 計 |
| 気仙沼 | 24<br>50.0 | 0<br>0.0 | 6<br>12.5 | 0<br>0.0 | 1<br>2.1 | 17<br>35.4 | 0<br>0.0 | 48<br>100.0 |
| 石巻 | 0<br>0.0 | 63<br>52.9 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 4<br>3.4 | 51<br>42.9 | 1<br>0.8 | 119<br>100.0 |
| 登米 | 0<br>0.0 | 5<br>11.4 | 21<br>47.7 | 0<br>0.0 | 7<br>15.9 | 11<br>25.0 | 0<br>0.0 | 44<br>100.0 |
| 栗原 | 0<br>0.0 | 1<br>4.3 | 5<br>21.7 | 0<br>0.0 | 9<br>39.1 | 8<br>34.8 | 0<br>0.0 | 23<br>100.0 |
| 大崎 | 0<br>0.0 | 8<br>6.2 | 8<br>6.2 | 0<br>0.0 | 87<br>67.4 | 25<br>19.4 | 1<br>0.8 | 129<br>100.0 |
| 仙台 | 0<br>0.0 | 7<br>1.7 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 14<br>3.3 | 388<br>92.6 | 10<br>2.4 | 419<br>100.0 |
| 仙南 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 9<br>8.3 | 61<br>56.5 | 38<br>35.2 | 108<br>100.0 |
| 県外 | 0<br>0.0 | 2<br>11.1 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 2<br>11.1 | 13<br>72.2 | 1<br>5.6 | 18<br>100.0 |
| 計 | 24<br>2.6 | 86<br>9.5 | 40<br>4.4 | 0<br>0.0 | 133<br>14.6 | 574<br>63.2 | 51<br>5.6 | 908<br>100.0 |

| | 福島　代表者の所在地域 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 県北 | 県中 | 県南 | 会津 | 南会津 | 相双 | いわき | 計 |
| 県北 | 207<br>81.2 | 39<br>15.3 | 1<br>0.4 | 1<br>0.4 | 7<br>2.7 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 255<br>100.0 |
| 県中 | 89<br>23.7 | 257<br>68.5 | 6<br>1.6 | 11<br>2.9 | 10<br>2.7 | 0<br>0.0 | 2<br>0.5 | 375<br>100.0 |
| 県南 | 28<br>35.0 | 8<br>10.0 | 43<br>53.8 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 1<br>1.3 | 0<br>0.0 | 80<br>100.0 |
| 会津 | 31<br>26.7 | 19<br>16.4 | 0<br>0.0 | 60<br>51.7 | 5<br>4.3 | 0<br>0.0 | 1<br>0.9 | 116<br>100.0 |
| 南会津 | 4<br>18.2 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 3<br>13.6 | 15<br>68.2 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 22<br>100.0 |
| 相双 | 40<br>35.1 | 5<br>4.4 | 0<br>0.0 | 2<br>1.8 | 9<br>7.9 | 50<br>43.9 | 8<br>7.0 | 114<br>100.0 |
| いわき | 38<br>18.4 | 17<br>8.2 | 0<br>0.0 | 1<br>0.5 | 6<br>2.9 | 0<br>0.0 | 145<br>70.0 | 207<br>100.0 |
| 県外 | 0<br>0.0 | 4<br>40.0 | 1<br>10.0 | 2<br>20.0 | 0<br>0.0 | 0<br>0.0 | 3<br>30.0 | 10<br>100.0 |
| 計 | 437<br>100.0 | 349<br>100.0 | 51<br>100.0 | 80<br>100.0 | 52<br>100.0 | 51<br>100.0 | 159<br>100.0 | 1179<br>100.0 |

代表事業者の所在地を見ると、各県共に県内有数の大都市を拠点に、施工事業者が中心となって生産者グループを組織している傾向は共通して強く見られた。ただし、宮城においては仙台の設計事務所を中心に形成された生産者グループが、岩手・福島に比べて多かった。

図-Ⅳ.9.3.1.1 に示したように、生産者グループの多くは、震災後に形成されている傾向が強く、被災 3 県全体で 8 割を超える。特に地域型復興住宅の生産者グループの登録を進めた平成 24 年 1～3 月に設置されたものが最も多く、被災 3 県全体の 3/4 程度に相当する。また、組織形態は法人格を持たない任意団体が非常に多く、被災 3 県で 290 グループ（85.5%）を数える。これらのことから、連携し、木造による復興住宅を生産・供給する緩やかなネットワーク組織として整えられたものであることが分かる。

図-Ⅳ.9.3.1.2 に示したように、平均的な生産グループの事業者数は岩手で 17.9 社、宮城で 28.1 社、福島で 34.8 社である。業種別の構成比を見ると、各県とも施工事業者の占める比率が高い。施工事業者数は平均で、岩手で約 5 社、宮城と福島では約 10 社である。業種別の構成比が小さい施工以外の事業者については、各県共に 1～2 社程度であり、プレカットや建材流通も少ないように、資材調達ルートを限定した生産体制を構築していることになる。

表-Ⅳ.9.3.1.2 で生産者グループの構成員、特に施工事業者の地域分布を見ると、代表事業者の所在地のあるエリアに拠点を置く施工事業者を構成員とする傾向が強い。例えば、岩手県では 70%以上に及ぶ。宮城県

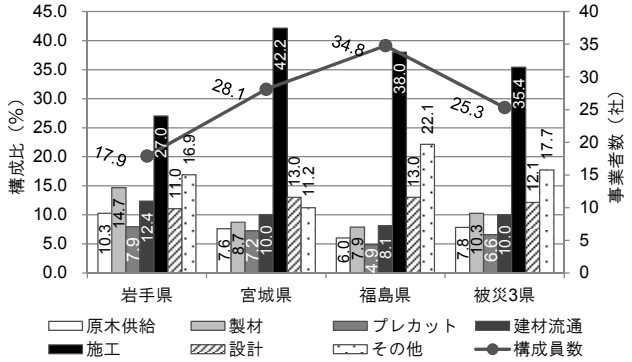



図 - Ⅳ.9.3.1.2　生産者グループの構成員数

や福島県ではこの傾向は弱まり、他地域の施工事業者を構成員とする傾向が強まる。つまり、生産者グループは代表事業者の所在地域を中心とした供給エリアを設定しながらも、他地域の施工事業者と協力・連携することにより、地域型復興住宅を広域的に供給できる生産体制を構築している。

### Ⅳ.9.3.2　地域型仮設住宅

東日本大震災後、これまで応急仮設住宅の建設を担ってきたプレハブ建築協会規格建築部会（以下、規格部会と略記）の会員企業以外に加えて、同協会の住宅部会の会員企業、並びに地域の工務店等の建設業者が本格的に応急仮設住宅（以下、仮設住宅と略記）の建設事業に取り組んだ。ここでは、そのうち地域の工務店等の建設業者（以下、地域建設業者と略称）による仮設住他（以下、地域型仮設住宅と略称）について、岩手県における事業の経緯とその実績について記す。

表-Ⅳ.9.3.2.1　東日本大震災における仮設住宅建設戸数

| | | プレハブ建築協会 | | 県公募 | 他 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 規格部会 | 住宅部会 | | | |
| 被災3県 | 供給戸数 | 28,409 | 14,546 | 8,715 | | 51670 |
| | 団地数 | 556 | 253 | 193 | | 1002 |
| | 戸／団地 | 51.1 | 57.5 | 45.2 | | 51.6 |
| 岩手県 | 供給戸数 | 7,822 | 3,677 | 2,352 | 133 | 13,984 |
| | 団地数 | 124 | 115 | 78 | 3 | 320 |
| | 戸／団地 | 63.1 | 32.0 | 30.2 | 44.3 | 43.7 |

※1　プレハブ建築協会及び岩手県からの提供資料を参考にして作成
※2　遠野市及び住田町の独自発注で建設されたものは岩手県では「その他」、被災3県では「県公募」に分類した。

(1)岩手県における地域型仮設住宅の建設事業の経緯

災害救助法の施行以降の災害対応を振り返って見た場合、仮設住宅は一般的に、都道府県の自治体から発注を受けた建設事業者により建設され、費用は全て災害救助法に基づいて厚生労働省が負担されることにより供給される。自治体は規格部会と「災害時における応急仮設住宅の建設に関する協定書」を締結しており、震災時にはこの協定に従い、規格部会の会員企業が仮設住宅を建設することになる。ところが、東日本大震災では仮設住宅の必要戸数が、規格部会が期間内に生産・建設できる量を大きく上回った。これを受けて、大手住宅メーカーなどで構成される住宅部会の会員企業や地域建設事業者も加わり、仮設住宅の建設にあたった。

岩手県では、仮設住宅の必要戸数を算定した結果、当初は約 8,000 戸であり、その後一時約 18,000 戸まで増えた。建設を進める中で、必要戸数が調整され、最終的には約 14,000 戸の仮設住宅を建設した。

震災直後から、岩手県は規格部会に対し応急仮設住宅の建設要請を行っていたが、4 月になると仮設住宅の供給を早めるため住宅部会への発注を開始した。その後、地域経済の活性化を目的として、県内の地域建設事業者への優先的な発注や県産資材の使用をプレハブ建築に求めた。

さらに、岩手県は 3 月下旬に規格部会・住宅部会以外の選択肢として県内の地域建設事業者への発注を検討したその結果、これらを対象とした「平成 23 年岩手県応急仮設住宅公募供給事業」を開始した。この事業は 4 月 18 日から 5 月 2 日までの期間に建設事業者の募集を行い、5 月 6 日に建設事業者を選定した。応募総数 89 社の中から 21 社（うち 9 者が複数の事業者で構成されたグループ事業者）を選定した。

(2)岩手県における地域型仮設住宅の実績

岩手県の公募事業による地域型仮設住宅の建設は、78 団地、2,352 戸という実績を残した。規格部会が建設した 124 団地、7822 戸、1 団地当たり 63.1 戸と比べると、地域型仮設住宅は 1 団地当たり 30.1 戸と少なく、狭い敷地で建設される傾向があった。これは地域型仮設住宅の着工時期が規格部会と比べて遅かったために広い敷地での仮設住宅の建設が規格部会によりすでに着手されていたことに加えて、大型の重機を要した規格部会による仮設住宅に比べて、在来木造構法の導入が積極的になされた地域型仮設住宅の建設は狭い敷地でも対応できたことなどが理由であった。

地域型仮設住宅を担った地域建設事業者 21 社の主要な業態は、工務店やビルダーのような地元で住宅建設を主とする事業者とゼネコンのような住宅以外の建設を主体とする事業者に二分される。



写真 - Ⅳ. 9. 3. 2. 1　狭小地での地域型仮設住宅の建設



写真 - Ⅳ. 9. 3. 2. 2　木造による地域型仮設住宅

地域型仮設住宅に採用された構工法に関して、木造が供給戸数の 9 割を占め、それ以外に軽量鉄骨造を採用するケースがあった。木造では軸組工法が最も多く、

表 - Ⅳ.9.3.3.1　東日本大震災における被災 3 県の住宅ストック・フロー及び再建に必要な生産資源量

| | 人口・世帯※1 | | 住宅ストック※2 | | | | | | 住宅フロー※3 | | 東日本大震災 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 住宅数 | | | 棟数 | | | | | 全壊・半壊家屋※4 | | | 必要再建戸数を年間平均着工戸数で除した値※5 | | | |
| | 人口 | 世帯数 | 全体 | 木造 | 木造率 | 全体 | 木造 | 戸建率 | 平均着工戸数 | 平均床面積 | 住家 | 被災比率 | 住宅数 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 |
| （地域） | （人） | （世帯） | （戸） | （戸） | （%） | （棟） | （棟） | （%） | （戸/年） | （㎡/戸） | （棟） | （%） | （戸） | | | | | |
| 岩手県 | 1330147 | 483934 | 470700 | 405100 | 86.1 | 419800 | 408100 | 95.7 | 7461 | 99.5 | 24736 | 5.9 | 27735 | 3.7 | 3.0 | 2.2 | 1.5 | 0.7 |
| 沿岸地域 | 274077 | 101919 | 90710 | 82450 | 90.9 | 89030 | 86710 | 97.3 | 947 | 105.7 | 23419 | 26.3 | 24006 | 25.3 | 20.3 | 15.2 | 10.1 | 5.1 |
| 宮城県 | 2348165 | 901862 | 869700 | 583400 | 67.1 | 602900 | 563500 | 93.4 | 17785 | 87.5 | 211966 | 35.2 | 326413 | 17.2 | 13.8 | 10.3 | 6.9 | 3.4 |
| 沿岸地域 | 1843736 | 741636 | 706550 | 435320 | 61.6 | 444870 | 409670 | 91.9 | 15258 | 84.5 | 205522 | 46.2 | 305767 | 21.4 | 17.1 | 12.8 | 8.6 | 4.3 |
| 福島県 | 2029064 | 720794 | 699700 | 550200 | 78.6 | 593500 | 559200 | 95.2 | 11723 | 98.5 | 81637 | 13.8 | 96245 | 8.2 | 6.6 | 4.9 | 3.3 | 1.6 |
| 沿岸地域 | 527639 | 192100 | 173420 | 134800 | 77.7 | 150150 | 140000 | 95.4 | 3076 | 97.5 | 47009 | 31.3 | 54294 | 17.6 | 14.1 | 10.6 | 7.1 | 3.5 |
| 被災３県 | 5707376 | 2106590 | 2040100 | 1538700 | 75.4 | 1616200 | 1530800 | 94.7 | 36969 | 93.4 | 318339 | 19.7 | 429747 | 11.6 | 9.3 | 7.0 | 4.6 | 2.3 |
| 沿岸地域 | 2645452 | 1035655 | 970680 | 652570 | 67.2 | 684050 | 636380 | 93.4 | 19282 | 87.6 | 275950 | 40.3 | 404714 | 21.0 | 16.8 | 12.6 | 8.4 | 4.2 |

※1　平成22年国勢調査結果の値を引用。　※2　平成20年住宅・土地統計調査結果の値を引用。　※3　建築統計年報（平成17～21年度）の平均値を引用。
※4　「全壊・半壊棟数」は、岩手・宮城及び福島県が平成23年12月末日までに公表した住家を対象にした値を引用。なお、「被災比率」は住宅ストック数に対する全壊・半壊家屋数の割合。また、「全壊・半壊住宅数」は住宅ストックの棟数当たりの住宅数の値（住宅数／棟数）を全壊・半壊家屋棟数に掛けた値。
※5　「必要再建戸数」は、全壊・半壊住宅数に、再建（新築及びそれと同等の改修を含む）する住宅数の比率（再建率：100%・80%・60%・40%・20%）を掛けた値。



写真 - Ⅳ.9.3.3.1　地域工務店による被災住宅の補修

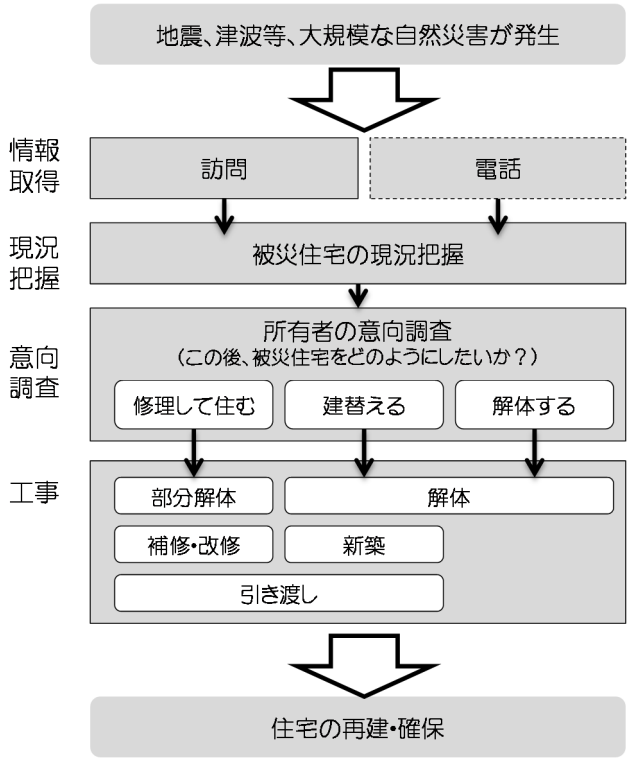



図 - Ⅳ.9.3.3.1　地域工務店による被災住宅への対応

枠組壁工法やパネル化工法を導入するケースも見られた。地域型仮設住宅の多くは木造が適用されている一方で、その担い手は平時から木造住宅を建設する工務店に限らず、非住宅の建設を事業としているゼネコンのような事業者であった。

地域型仮設住宅の中には、岩手県の公募に対して、様々なアイデアを盛り込んだ提案がある。例えば、コミュニティを意識した配置計画を持つ事例、将来移築することを想定した土台を二重に敷いた事例、柱材を垂直に連結した壁パネルを導入した事例、ロフトを設けた事例などがある。この他にも、福島県の事例になるが、ログハウスを導入したものも見られた。

### Ⅳ.9.3.3　地域工務店の活動

震災後、岩手県を中心にして被災地域の建築生産システムの動向を、工務店を中心に調査・研究してきた。そこで、住宅を中心に当該調査・研究において明らかとなった地域の建築生産システムの動きの概要を記す。ここでまとめた調査結果・分析の成果を、被災地域の工務店が所属する業界団体等に提供した。

(1)被災３県の住宅の生産力

表-Ⅳ.9.3.3.1 に、被災三県の人口、世帯数、住宅ストック、過去 5 年間の平均的な住宅フロー、及び東日本大震災での全壊・半壊家屋数、並びに必要再建戸数を年間平均着工戸数で除した値を示す。

住宅フローとして平成 17～21 年度の 5 年間の平均着工戸数を見ると、被災 3 県全体では年間 3.7 万戸程度である。沿岸部では約 1.9 万戸である。岩手県に着目すると、住宅フローは県全体で年間 0.7 万戸／年程度、沿岸部では 0.1 万戸/年弱である。沿岸部に位置する陸前高田市では、90 戸/年弱と非常に小さい。これを地域における住宅の生産力とすれば、岩手県では他 2 県に比べて生産力は小さく、沿岸部では特に小さいという特徴を持つ。

全壊・半壊家屋のうち再建する住宅戸数を必要再建戸数とし、それを年間平均着工戸数で除した値を見る。この値は、震災前の住宅建設で用いた年間の生産資源

量を 1.0 として、住宅再建に必要な生産資源量の大きさを倍率でつかめる。再建率 60%とした場合、岩手県は 2.2 倍、沿岸部は 15.2 倍、さらに陸前高田市は 21.9 倍の生産資源の投入が必要なる。また、同様に被災 3 県を見ると、全体では 7.0 倍、沿岸部では 12.6 倍となる。

仮に再建期間を 10 年間に設定した場合、この値を 10 で除すことにより住宅再建に必要な年平均の生産資源量を把握できる。岩手県全体では約 0.2 倍、沿岸部では 1.5 倍、陸前高田に限って見れば 2.1 倍の生産資源を必要とする。また、被災 3 県全体では 0.7 倍、沿岸部では 1.3 倍の生産資源が必要となる。

この値は住宅再建に限られ、復興期において岩手県、宮城県及び福島県の各県全体で必要な生産資源量を把握するためには、通常の住宅建設需要等を加味する必要がある。これを 0.8 倍と設定した場合、被災 3 県全体では 1.5 倍、沿岸部では 2.3 倍、岩手県全体では 1.0 倍、沿岸部では 2.1 倍、陸前高田では 2.9 倍の生産資源が被災地域に必要となる。簡易な推計ではあるが、1 年間で必要な生産力は、平時よりも 2 倍程度以上大きくなることが明らかとなった。

(2) 被災地域での地域工務店の活動

このように住宅建設需要が増加した被災地域の中で、震災前から地域の木造住宅生産を担ってきた工務店等が展開した活動は以下の通りである。

第 1 に、仮設住宅の建設である。これは主に県公募による地域型仮設住宅の供給によるもので、Ⅳ.9.3.2 で記述したとおりである。なお、県の公募とは別に、住宅部会の参加企業の立場で地域の工務店が仮設住宅の建設を請け負う事例もあった。

しかし、このような仮設住宅の建設に、沿岸部で平時活動するすべての工務店や職人が関与したわけではない。いくつかの理由があると考えられるが、顧客・被災住宅等への対応が主な理由としてあげられる。つまり、写真-Ⅳ.9.3.3.1 のような被災住宅の補修・改修工事が、第 2 の地域工務店による活動である。

岩手県沿岸部では地震が発生した直後に生活インフラが停止し、復旧には数ヶ月を要した。ガソリン不足も起き、解消には約 1 ヶ月を要した。また、地区によっては、津波が運んできた瓦礫により道路が封鎖され、数日間孤立状態となった場所もあった。

このような状況下で、図-Ⅳ.9.3.31 に示したように、工務店の中には道路通行が可能となった直後から顧客訪問を開始し、住宅の被災状況の確認と応急処置に加えて、補修・改修、建替え、解体といった住宅再建に



写真 - Ⅳ. 9. 3. 3. 2　被災地域における宅地造成



写真 - Ⅳ. 9. 3. 3. 3　間伐材を利用した住宅再建の事例



写真 - Ⅳ. 9. 3. 3. 4　再建された住宅事例

関する意向を聞き取り始めた。4 月中旬になると、県で義捐金に関する検討が開始されたことをきっかけに、比較的規模の大きな改修工事が増え、職人・資材等の調達状況に合わせ順次着手した。

このような動きを示した地域工務店が多く、被災地

域の各地で、被災者にとって資金の見通しが立ち始めたこの時期から改修工事が本格化することが明らかとなった。

被災住宅の補修・改修工事に目途が立った時期は、地域工務店によって異なるため明言できないが、平成23 年中には被災地域で住宅再建のための新築工事を着手する者も現れた。これが、第 3 の活動である。

民間による住宅再建のスピードは地域により異なるが、全般的に緩やかに始まり、特に津波により被災した地域でも、宅地造成を含め住宅を再建する用地があり、かつ被災した宅地の買取価格が決定している地域においては、住宅再建が比較的早く進んだ。しかし、前述のように、地域の工務店による新築住宅の建設については、被災住宅の補修・改修等の顧客対応を優先しているために全体としての足並みが揃い難い傾向があった。

地域工務店による被災地域での木造住宅の建設は、できる限り低廉な価格で再建できる工夫や、住環境を良くするために様々な工夫、さらには地域資源を最大限に活用することを意識した工夫など、震災を契機に様々なアイデアが提案されたことが分かった。具体的には、震災後遊休資源となった間伐材の利用促進を図る新構法開発などの事例も見られた。

また、震災直後に営業所等を設置したハウスメーカーが高台の一部で宅地分譲または分譲住宅の販売を進め、民間による住宅再建が早く進んでいた地域も一部で確認できた。地域工務店が住宅再建に積極的に取り組む環境として、宅地の計画・整備が肝要であることが明らかとなった。

参照文献

1）角倉英明、『震災復興初期における地域の工務店による住宅再建の現状と課題』、住宅と木材、pp.24-28、2012 年 11 月

## Ⅳ.9.4　被災前景観の３Ｄデータの作成

住宅等を記録した三次元データの、住宅の管理・流通・まちづくり等への活用には、住宅の寿命を超えたデータを長期保存する技術が前提となる。国総研では、各種の記録形式で保存されたレガシーデータの解読手順を記述する言語を定め、これに基づいて作成されたメタファイルをデータファイルに添付して長期保存する手法を開発した。

利活用処理系の中核は、メタファイルからコンバータ実行形式を生成するシンプルで別途永久保存されるコンパイラである。実行形式が呼び出すライブラリ関数の実装内容により様々な利活用処理方法の実現を可能とした。保存データと利活用処理系の一例として、災害滅失した集落の記録を GPS 座標と姿勢センサを用いて元の場所に再現表示する AR アプリを試作した。



写真　奥尻島体験教室風景(2014. 10)

上記内容を、国総研資料として2016年度出版予定。

### 参考文献


1) 新井信幸、米野史健、仙台市内の民間賃貸借り上げ仮設住宅での被災者の入居プロセスと居住実態、日本建築学会計画系論文報告集、第 700 号、pp.1401-1406、平成 26 年 6 月.
2) 米野史健、岩手県の借り上げ仮設住宅における被災世帯の入居経緯と居住実態、都市住宅学、87 号、pp.133-138、平成 26 年 10 月.
3) 米野史健、三井所隆史、岩手県の借り上げ仮設住宅入居世帯における住宅再建の動向、都市住宅学、87 号、pp.139-144、平成 26 年 10 月.
4) 古山周太郎、米野史健、岩手県大船渡市の借り上げ仮設住宅居住世帯の入居経緯と再建動向、日本建築学会計画系論文報告集、第 719 号、pp.163-170、平成 28 年 1 月.
5) 米野史健、仙台市内の応急仮設住宅としての民間賃貸住宅の借り上げにおける入居の実態－東日本大震災 1 年後の借り上げ仮設住宅居住者へのアンケート調査より、日本建築学会計画系論文集、第 78 巻,第 689 号、pp.1589-1596、2013 年 7 月.
6) 長谷川洋、福島原子力災害避難者の長期避難生活拠点の形成に向けた取組みと課題、都市住宅学、第 86 号、pp.12-17、2014 年 7 月.
7) 米野史健、公営住宅の建設と復興まちづくり、東日本大震災合同調査報告書編集委員会編『東日本大震災合同調査報告 都市計画編、pp.100-106、平成 27 年 1 月.
8) 角倉英明、渡邊史郎、 浦西 幸子、藤田香織、有川智、森 正志、地域型復興住宅の生産グループにおける木造住宅の生産体制に関する統計的把握、日本建築学会技術報告集、Vol. 19. No. 43、pp.1155-1160、平成 25 年 10 月.
9) 渡邊 史郎、角倉 英明、藤田 香織、岩手県における地域型仮設住宅の統計的把握　その 1　2011 年東日本大震災における地域生産システムの役割に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 684 号、pp.309-316、平成 25 年 2 月.
10) 角倉 英明、Study on Utilization of Regional Builders for Post-Disaster HousingA case study of the construction project of temporary houses in Iwate prefecture after the 2011 Tohoku earthquake and tsunami、IASUR・Sustainable Society as Our Challenge、pp.567-573、平成 26 年 10 月.
11) Shiro Watanabe、Hideaki Sumikura、Kaori Fujita、STUDY ON WOODEN TEMPORARY HOUSES SUPPLIED BY LOCAL BUILDERS AFTER THE TOHOKU EARTHQUAKE、World Conference on Timber Engineering・Auckland 2012・Architecture and Engineering Case Studies、平成 24 年 7 月.
12) 角倉 英明、震災復興初期における地域の工務店による住宅再建の現状と課題、住宅と木材、第 419 号、平成 24 年 11 月.
13) 角倉 英明、東日本大震災が地域工務店の復旧・復興活動に及ぼした作用、建築雑誌、第 1632 号、pp.22-23、平成 24 年 5 月.

# Ⅳ.10　震災対応能力の高い都市づくり方策

国総研の都市分野では東日本大震災をうけて、東日本大震災復興費及び事項立て「沿岸都市の防災構造化支援技術に関する研究」によって、津波避難円滑化、防災拠点のリダンダンシー確保、宅地の液状化対策に取り組んだ。ここではこれらの検討、技術開発成果について述べる。

## Ⅳ.10.1　津波避難安全性確保のための市街地整備手法に関する研究

本節では、津波避難安全性を評価する津波避難シミュレータのモデルの開発概要及び、同シミュレータを用いた市街地整備への適用について述べる。

### Ⅳ.10.1.1　津波避難シミュレータの開発

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第52号）、2016.6

(1)背景及び目的

東日本大震災では多数の人的被害が発生した。津波対策のうち人的被害軽減としては、短期的には迅速かつ的確な避難誘導等が求められる一方、中長期的には市街地整備というハード対策を行っていくことが必要である。市街地整備による津波対策については整備に時間を要すること、膨大な費用が必要となることから、効果的・効率的な整備を進めていくことが必要となる。そのため、市街地の津波避難安全性評価に基づきながら効率的に整備していく必要がある。

そこで、津波避難安全性評価手法として津波避難シミュレータの開発を行った。開発に際しては、実際に行われた避難行動を再現するのではなく、ある程度合理的・理想的な避難行動が行われることを前提として、その中で、市街地の構造としてどの程度の安全性を確保できるかを評価できるモデルを作成することに主眼を置いた。また、避難手段としては、徒歩避難及び車両避難によるものとした。

(2)徒歩避難のモデル開発

避難者の避難開始、避難経路及び避難先の選択等については、下記に基づくものとした。

・火災や津波が迫ると避難開始
・安全な避難地を選択
・安全な避難経路を選択
・避難地に危険が迫ると再避難
・一定以上の火災による熱を受ける又は一定以上の水深になると避難失敗

避難行動モデルについては、エージェントモデルを前提として、周囲の情報（避難経路の混雑状況、津波の状況等）、身体的特性（歩行速度、通過可能な段差や傾斜等）等に基づき、エージェント（避難者）が個別に状況判断して行動を決定するものとした。

避難開始の意思決定については、現在地における避難者が認知する津波リスク（以下、「認知津波リスク」）が避難者自身の許容リスクを超えた時点で避難を開始するものとした。なお、避難場所等に到着した場合であっても、津波に関する情報の更新によって認知津波リスクが増加すれば、再度、別の避難場所への避難を開始するものとしている。

避難目的地及び目的地への移動経路の選択モデルについては、避難者が周囲に複数の避難場所を認知している場合、1つの避難場所を選択し、当該避難場所までの移動経路を選択するものとした。これらの選択は、現在地から避難場所までの移動経路上で津波に巻き込まれるリスク及び避難場所が津波に巻き込まれるリスクを総合した総合避難リスクが最小となる選択を行うものとしている。

(3)車両避難のモデル開発

交通シミュレータについては現在様々なものが開発されているが、本研究では津波避難を円滑化するための市街地整備に資するよう、交通挙動を図-Ⅳ.10.1.1.1及び表-Ⅳ.10.1.1.1 のように設定することによって開発を進めた。

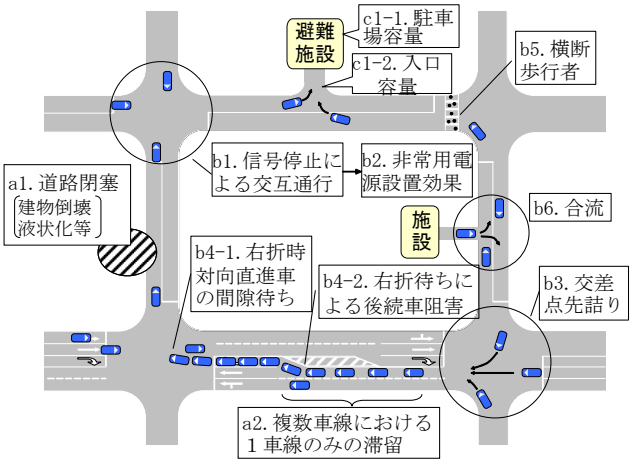



図-Ⅳ.10.1.1.1 津波避難シミュレータで表現する交通挙動

表-Ⅳ.10.1.1.1 津波避難シミュレータで表現する交通挙動

| 箇所 | 影響要因 | 交通挙動 | 考え方 |
|---|---|---|---|
| A 単路部 | a1.道路閉塞（建物倒壊、液状化等） | ・道路寸断に対応した避難経路の変更 | ・都市構造の安全性評価の上で重要 |
| | | ・幅員減少に対応した速度低下（合流） | |
| | a2.複数車線 | ・複数車線における1車線のみの滞留 | ・避難遅れに影響する要素 |
| B 交差点部 | b1.信号機停止 | ・交錯交通との相互干渉 | ・全ての信号機への非常用電源設置は非現実的<br>・交互通行は、通常渋滞時の挙動に近く、切迫避難でない限りは現実的 |
| | b2.信号制御 | ・信号機制御に従った通行 | ・非常用電源設置及び防災型信号設置による効果を検証 |
| | b3.交差点先詰り | ・交差点手前での空き待ち | ・渋滞の伝播を反映 |
| | | ・交差点での経路変更 | ・渋滞時の経路変更を反映 |
| | b4.右折 | ・対向直進車に対する間隙待ち | ・避難遅れの重要な要素 |
| | | ・右折待ちに伴う後続直進車の阻害 | ・避難遅れの重要な要素 |
| | b5.横断歩行者 | ・横断歩行者に対する間隙待ち | ・避難遅れの重要な要素 |
| | b6.合流 | ・施設（街路）から幹線道路への合流時の間隙待ち | ・交互通行は非現実的な合流なため（渋滞時は交互通行） |
| C 避難先 | c1.避難施設の容量 | ・駐車容量不足による滞留 | ・避難遅れの重要な要素 |
| | | ・入口容量不足による滞留 | ・避難遅れの重要な要素 |

車両の移動については、車両の密度（K）に応じて通行可能な交通容量（Q）が規定される QK 曲線に従うものとして計算を簡略化して大規模ネットワークに対応するとともに、非現実的な容量が出現することの回避をはかった。また、車線数別容量や交差点における進行方向別の容量及び右折付加車線の影響も考慮可能なものとした。なお、既存の QK モデルでは対応が困難なものもあるため、下記の改良を行うことで問題の解決を図った。

○交差点進行方向別容量は時間一定ではなく、逐次の交錯交通量によって時間可変

・交錯交通の密集状況が時間によって大きく変化するため、交錯交通は、車両相互と車両対歩行者で分類する。

○複数車線における車線別混雑状況を計算に反映

・通常時の都市部における慢性的な渋滞とは特性が異なるため、QK モデルにおける右折レーンの考え方を拡張することで対応する。

○任意時刻におけるリンク上の位置（座標）を算出

・個別車両のログから算出する。

○経路選択

・一般的な車両モデルと同様の選択性を追加する。

なお、車両移動計算においては、個別の車両の移動を計算するのではなく、走行中、交差点手前、交差点内ごとに、それぞれに該当する車両を一つのものとして単純化することで、計算の簡略化を図った。

これらのモデルによって開発した津波シミュレータによる計算例を図-Ⅳ.10.1.1.2に示す。

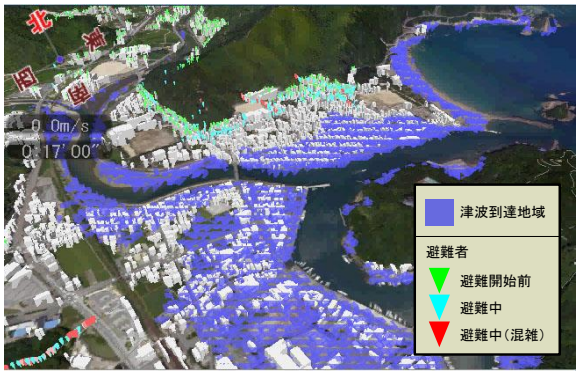



図-Ⅳ.10.1.1.2 津波避難シミュレータによる計算例[3)]

また、今回開発した津波避難シミュレータについては、今後刊行予定の国総研資料において詳細を解説するとともに、同シミュレータを国総研の都市研究部都市防災研究室ホームページから提供予定である。

### Ⅳ.10.1.2 津波避難を円滑化する市街地整備の計画手法に関する検討

地方公共団体が、津波避難安全性を将来のハード整備によって向上させる際に、開発した津波避難シミュレータを用いることによって、効果的な整備箇所をみつけ、その効果を確認しながら対策を実施していくことが可能となる。この市街地整備によって津波避難円滑化を図る際の流れを　図-Ⅳ.10.1.2.1 に示す。

(1) の現状の避難安全性評価・避難阻害箇所の特定の段階では、現状市街地に対してシミュレーションを行うことにより、避難阻害箇所、避難困難地区を導いた後、効果的な整備箇所を特定する。

(2)の避難阻害要因解消のための対策案検討においては、避難を阻害する箇所やその要因から、避難場所の整備、避難経路等、対策可能な整備についてシミュレーション結果を参考に対策案を検討

する。

(3)の対策効果の確認においては、(2)で検討した対策案について、シミュレーションを行うことにより、避難阻害箇所が解消されているか、避難失敗者が減少しているか、等の観点からその効果を確認する。

(4)の住民等への説明においては、(3)までの検討・確認結果をもとに、市街地整備の必要性と効果を住民に説明して理解を深めてもらうともに、必要に応じて代替案についてもその効果を検証しいていく。

これらのプロセスを経ることにより、効果的かつ住民の理解を得ながら市街地整備を進めることが可能となる。

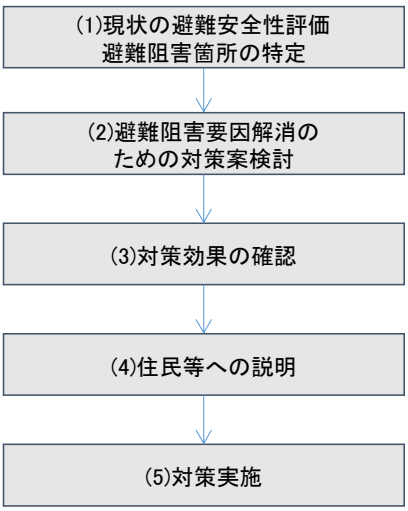



**図-Ⅳ.10.1.2.1　市街地整備による津波避難円滑化の流れ**

参照文献

1)『国総研プロジェクト研究報告書　第52号 津波からの多重防護・減災システムに関する研究』、2016年発刊予定、国土交通省国土技術政策総合研究所

2)岩見達也、竹谷修一「津波と火災を考慮した複合災害避難シミュレーションツールの開発」、日本建築学会第37回 情報・システム・利用・技術シンポジウム 論文集、2014年12月、日本建築学会

3)岩見達也、竹谷修一「安全な市街地整備に向けた津波避難安全性評価手法の開発」、国総研レポート2014、2014年4月、国土技術政策総合研究所

## Ⅳ.10.2　大規模被災時の防災拠点機能のリダンダンシー確保の計画手法に関する研究

東日本大震災では、数百年～千年に１回とされる巨大津波により、役場や病院、消防署、避難所等の災害対応に関わる都市防災拠点施設の多くが浸水して機能を発揮できず、都市としての自立的な災害対応に支障が生じた。本節は、こうした都市防災拠点施設や都市防災拠点機能の東日本大震災における機能喪失状況等の調査結果及び、防災都市づくりによる機能確保の方策について述べたものである。

### Ⅳ.10.2.1　東日本大震災被災都市における都市防災拠点機能の喪失状況

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第52号）、2016.6

(1)岩手県及び宮城県の沿岸都市における被災状況

表-Ⅳ.10.2.1.1 は、東日本大震災による岩手県及び宮城県の太平洋沿岸の 28 市区町村での、中心市街地の浸水、役場の本庁舎、災害拠点病院等、及び消防本部の被災と機能喪失状況を文献やインターネット情報等により収集・整理して、まとめたものである。これによれば、中心市街地が津波により浸水した 14 都市の内、都市防災拠点施設が無被害であったのは 3 都市に過ぎず、それ以外の都市では複数の種類の防災拠点施設が使用不能となるなどの大きな被害にあっている。実は、これらの都市における中心市街地の浸水の状況及び都市防災拠点施設の中心市街地への立地の状況、都市防災拠点施設の立地の点在・分散・集積の状況はさまざまであるが、こうした状況にかかわらず、津波被災時の都市防災拠点機能の維持が、沿岸都市にとっての大きな課題であることがわかる。

(1)ケーススタディ都市における実態調査結果

上記の整理結果を踏まえて、状況の異なる石巻市・釜石市・大船渡市・南三陸町の４市町を対象に、東日本大震災の翌年度（平成 23 年度）から翌々年度（平成 24 年度）にかけて、都市防災拠点施設の被害とそれによる機能確保上の支障、機能回復と活動等の状況を文献や現地でのヒアリング等や視察により調査した。対象とする都市防災拠点機能（施設）は、災害対策の諸活動を統括する災害対応・復旧指令機能（災害対策本部が設置される市町村役場庁舎等）や、火災や被災者にかかわる消防・救援活動機能（消防本部）、傷病者の救命・治療等の災害医療・救急活動機能（災害拠点病院等）、被災者の避難生活を受け入れる避難者収容機能（避難所）、及び外部支援の受入機能（運動公園等）とした。

表-Ⅳ.10.2.1.1　都市防災拠点施設の被災状況

| | | 中心市街地の浸水 | 災害対応・復旧指令 | 災害医療・救急活動 | 消防・救急活動機能 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 役場本庁舎 | 災害拠点病院等 | 消防本部等庁舎 |
| 岩手県 | 洋野町 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 久慈市 | － | ◎ | ◎ | ◎ |
| | 野田村 | 有 | ○ | － | △ |
| | 普代村 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 田野畑村 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 岩泉町 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 宮古市 | 有 | △ | ◎ | ○ |
| | 山田町 | 有 | △ | (×) | △ |
| | 大槌町 | 有 | × | (×) | × |
| | 釜石市 | 有 | × | △ | × |
| | 大船渡市 | 有 | ○ | ○ | ○ |
| | 陸前高田市 | 有 | × | (×) | × |
| 宮城県 | 気仙沼市 | 有 | ◎ | ◎ | ◎ |
| | 南三陸町 | 有 | × | (×) | × |
| | 女川町 | 有 | × | (×) | × |
| | 石巻市 | 有 | △ | ◎、(×) | ○ |
| | 東松島市 | 有 | ◎ | － | ◎ |
| | 松島町 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 利府町 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 塩釜市 | 有 | ◎ | ○ | ◎ |
| | 七ヶ浜町 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 多賀城市 | 有 | ◎ | － | ◎ |
| | 仙台市 宮城野区 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 仙台市 若林区 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 名取市 | － | △ | － | ◎ |
| | 岩沼市 | － | ◎ | － | ◎ |
| | 亘理町 | － | × | － | ◎ |
| | 山元町 | － | ◎ | － | ◎ |

◎：無被害、○：被害軽微、△：部分被害、×：使用不能
（×）：災害拠点病院以外の病院が使用不能、－：該当無し

調査により、各都市における以下の状況について情報を得ることができた。

①各都市防災拠点施設における拠点機能の確保・喪失・回復等の状況

②都市防災拠点機能の代替・移転・集約・閉鎖といった、拠点機能の確保にあたっての施設利用の状況

③都市防災拠点施設を利用した主な災害対応活動や、活動にあたっての施設間の連携等の状況

④上記の状況と、都市防災拠点施設の立地や施設相互の位置関係、幹線道路等との関係

得られた情報は、都市防災拠点機能及び施設毎にフロー図として時間軸上で整理するとともに、災害対応のフェーズ毎に地図上に空間的な位置関係を記載した。想定を上回る津波被害であったため、従来の地域防災計画に定めた対応とは多くの都市で異なったが、結果として、都市防災拠点施設（代替施設を含む）の都市・

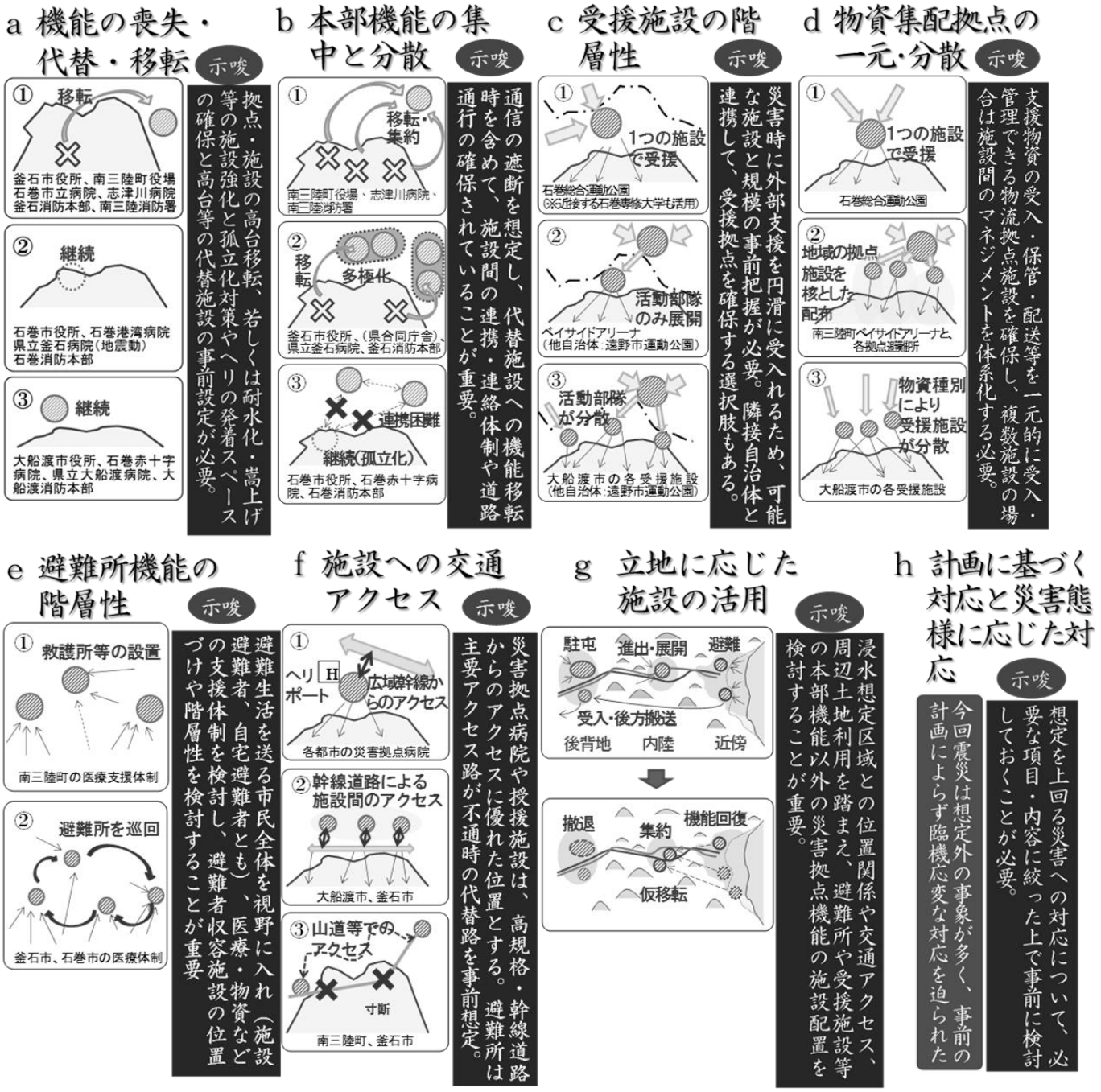



図-Ⅳ.10.2.1.1　防災拠点機能確保に関して見られた都市・地区レベルでの現象

地区レベルにおける空間的な事象（配置・施設相互や幹線道路との位置関係等）が、施設の被災状況のみならず、応急対応及び復旧・復興期におけるその機能に影響を与えていることが調査からわかった。

防災拠点機能の他の施設への移動や、防災拠点施設への外部支援部隊・支援物資の受け入れ、施設間の人員・支援物資の移動等に関してみられた事象、及び都市防災拠点機能の確保や相互連携も含めた活動の円滑化に向けて得られた知見を図-Ⅳ.10.2.1.1 に整理し、以下に簡単に解説する。

・災害時の拠点機能の確保に関しては、施設の安全な場所への移転の他に、代替施設の事前設定も考えられるが、その施設が代替の機能を発揮できるように留意しておく必要がある。また、拠点機能の被災・孤立対策として、施設からの緊急避難場所の確保や施設へのアクセス経路の強化も図る必要がある。(a.)

・各拠点機能の活動の円滑化に関しては、拠点機能間の相互連携が可能となるよう、拠点施設の集約化は有効であるが、それ以外の場合においては、拠点施設間の被災時の連絡経路の確保が重要である。(b.)

・外部支援の受け入れに関しては、施設の許容量を想定して支援部隊等が滞在する受援拠点施設を事前に設

定しておくこと、特に隣接都市との協力による大規模な受援施設の確保が重要である。本部機能と受援拠点との連絡手段にも留意する必要がある。(c.)

・支援物資の受け入れに関しては、その受け入れ・管理・配送等を行う物流拠点施設を事前に設定することに加えて、受け入れ・管理・配送等の体制整備にも留意する必要がある。(d.)

・避難所機能に関しては、医療・介護・物資の提供などの避難者の生活支援を行う拠点施設と実施体制を事前に検討しておく必要がある。(e.)

・災害医療機能に関しては、災害拠点病院の災害時の広域アクセスの確保や、浸水想定区域に立地する医療機関の機能継続性の強化が重要であるとともに、他の拠点施設へのアクセス経路等の強化を図る必要がある。(f.)

・防災拠点機能の配置計画の事前検討においては、施設の立地に応じたフェーズ毎の活用や、想定を上回る災害への対応方法にも留意する必要がある。(g.、h.)

### Ⅳ.10.2.2　津波被災リスクのある都市における防災拠点の機能確保手法に関する検討

6.国土技術政策総合研究所：津波からの多重防御・減災システムに関する研究プロジェクト研究報告書、国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告（第52号）、2016.6

(1)南海トラフ巨大地震による津波被災想定都市でのケーススタディ

東日本大震災津波被災都市での実態調査結果を踏まえて、平成25～26年度には、南海トラフ巨大地震の津波による被災想定都市において関係の自治体等の協力を得て、防災拠点機能確保のケーススタディを行った。対象は、津波防災地域づくり法に基づく最大規模の津波被災想定が示された東海～南海トラフ沿岸において、中心部を含む広範囲が浸水区域に含まれる徳島県美波町、和歌山県田辺市及び静岡県焼津市である。

ケーススタディ都市においては、上記の津波被災想定や地域防災計画の想定をもとに、津波や地震動による都市防災拠点施設の被災等のパターンを複数設定した。その上で、当該都市の都市防災拠点施設に関するデータや地域防災計画やＢＣＰ等を収集・整理し、施設管理者や自治体担当部局へのヒアリング等も踏まえ、防災拠点施設の津波被災等の様相及び防災拠点機能の対応シナリオを作成した。

対応シナリオは、東日本大震災被災都市における調査結果から得られた知見を活用しつつ、都市防災拠点機能の活動の概要及びそれに伴う人・モノ・情報の動き等の相互関係を網羅する災害対応フロー図、及び対応フェーズ毎のこれらの活動の状況等を地図上に図化した活動展開図として整理した。活動展開図においては、大都市圏から当該都市への広域支援の到達に、途中経路の浸水等被害により困難が予想されることや、隣接都市を含む圏域での活動展開が想定されていること、散在する沿岸集落の状況の考慮の必要性などから、都市及び広域を対象とする２種類を作成した。シナリオの整理と記載にあたっては、本部機能、関係機関の機能移転をはじめ、医療・消防機関、地域住民、外部支援の動きを記載した。さらに、各機関の対応に併せて、初動期における住民や各機関職員の一時避難、応急・復旧期における道路・航路啓開の情報等についても記載した。

その上で、ケーススタディ都市の関係機関（自治体及び県（支分局）、警察、消防、災害拠点病院、海上保安庁、国道事務所等の地元機関の担当者を集めて、意見交換会を各２回ほど開催した。意見交換会では、まず、こうしたシナリオや図面をもとに、津波浸水時の各機関の対応と代替施設の確保や、医療救護施設の連携体制、外部支援の受入拠点、道路・航路啓開等についての各機関の方針や考え方などについて確認・情報交換を行った。次に、防災拠点機能が発揮されるために対応が必要と考えられる時期毎の課題を提起するとともに、こうした課題に対応する東日本大震災での教訓や他都市の取組事例等の参考事例を紹介し、災害時における各防災拠点施設の災害対応・復旧指令機能の代替庁舎等における確保とＢＣＰ（事業継続計画）の作成や、ＳＣＵ（広域搬送拠点臨時医療施設）の運用と患者の搬送ルート、ＤＭＡＴ（災害派遣医療チーム）の受け入れ、拠点病院における傷病者や避難住民への対応、想定される外部支援と活動スペースの確保、外部支援の受け入れに係る航路啓開の時間の想定等についての課題や意見、取組みについて議論を交わした。意見交換会を通じて、防災拠点機能・防災拠点施設の強化に必要と考えられる対策や、対策実施による災害対応活動への効果等を整理することができた。

意見交換会の参加者からは、これまで他機関にまたがる実質的な情報交換の場はなく、こういった情報の整理と共有に基づく意見交換会が有意義であったとの意見をいただいている。

(2)「津波防災都市づくりにおける都市防災拠点機能確保のための検討の手引き（案）」の作成

以上の検討結果を踏まえて、平成26年度には以下を骨子とする「津波防災都市づくりにおける都市防災

拠点機能確保のための検討の手引き（案）」を作成した。手引き（案）作成の主な目的・効果は、次のように考えられる。

主な目的：

津波災害時における都市防災拠点施設の機能の強化に係わる計画と整備を、防災都市づくりの一環と位置づけ、これらの施設が津波災害時の活動拠点としての機能を発揮できるよう、市町村が他機関と協力して総合的に検討する手順を解説するものである。

主な効果：

手引きによる検討過程を通じ、必要な施策を市町村の都市部局や企画・政策部局等のまちづくりを所管する部局において、防災都市づくり計画、津波防災地域づくり推進計画、国土強靭化地域計画に反映することができる。防災・危機管理部局においても、地域防災計画、ＢＣＰ、地区防災計画、津波避難計画、警戒区域指定等の場面で、都市防災拠点施設の防災機能強化の効用を検証できる。また、検討において作成した資料は、平時の防災訓練におけるシナリオ検討や広域支援を行う関係機関から建物レベルの施設管理者まで多様な関係主体との防災対策の調整協議のたたき台資料としても活用できる。

手引き（案）の構成として、想定される災害対応に裏付けられた計画策定やまちづくりに係る以下の具体的な検討手順を、参照資料、参考事例とともに解説している（図-Ⅳ.10.2.2.1）。

①都市防災拠点施設に係わる被害想定や災害対応業務、既往の整備計画など、基礎情報を収集・分析し、前提となる被災シナリオを抽出・整理する。

②発災後に展開される災害対応の各シナリオに基づく、時系列での活動展開と相互の関連を、災害対応フロー図及び空間展開図として整理し、都市防災拠点機能と対応時期の組み合わせの項目毎に、ボトルネックとなりうる課題を抽出する。

③想定される災害対応上の課題について、総合的な防災まちづくり事業の中で、対策を講じていくこととし、事前対策としてのソフト及びハードの取り組みからなる計画策定等の多様な対応策を実施可能時期毎に整理する。

作成した手引き（案）については、関係部局との調整を踏まえて近日中に国総研のホームページ等において公表する予定である。

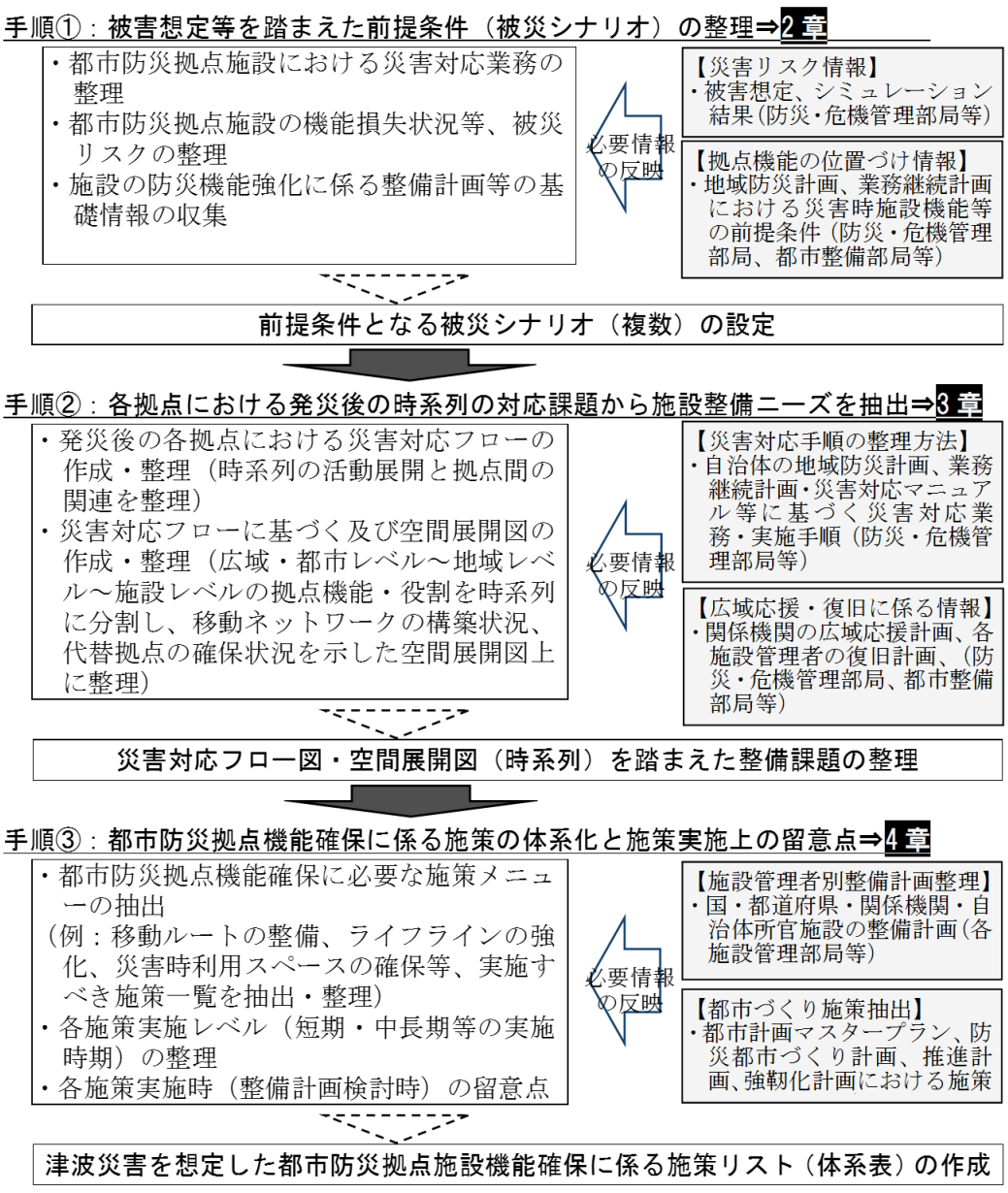



図-Ⅳ.10.2.2.1　手引き（案）の構成と都市防災拠点機能確保に関わる検討の流

参照文献

1)『国総研プロジェクト研究報告書　第 52 号 津波からの多重防護・減災システムに関する研究』、2016 年発刊予定、国土交通省国土技術政策総合研究所

2) 木内望、竹谷修一、岩見達也、勝又済、前川祐介、星野澄人「東日本大震災の津波被害を中心とした被災都市における防災拠点機能の喪失と回復の実態」、日本建築学会東日本大震災２周年シンポジウム（一般講演）梗概、2013 年 3 月、日本建築学会

3) Nozomu Kiuchi “Studies on the Urban and Local Level Securement of Disaster Preparedness Functions of Coastal Cities and Towns after the Great Tohoku Earthquake” Proceedings of International Symposium on City Planning 2013, Aug. 2013, City Planning Institute of Japan

4) 木内望「津波防災都市づくりにおける防災拠点機能の確保について」、都市計画学会誌 318 号、2015.12、日本都市計画学会

## Ⅳ.10.3　市街地の液状化対策に資する技術開発

平成 23 年 3 月の東日本大震災では、東京湾沿岸部の埋立地などで 27,000 棟に及ぶ広範囲な液状化被害が発生した。

国総研では、液状化被災地の復旧・復興を支援するために国土交通本省都市局市街地整備課及び都市安全課（以下、本省都市局という）と連携して自治体向けに各種の支援ツールを開発し提供した。これらのツールは、国総研「宅地防災」のページ[1)]からダウンロードすることが可能である。

また、これらのツール開発の検討過程から得られた技術的知見は、「液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について　（ガイダンス（案））、平成 25 年 1 月」[2)]及び「液状化被災市街地における格子状地中壁工法の検討・調査について　（ガイダンス（案））、平成 25 年 4 月」[3)]へ反映された。さらにこれらのガイダンスは、平成 27 年 12 月に本省都市局により「市街地液状化対策推進ガイダンス」[4)]として取りまとめられた。

以下、上述の各種ツール開発について概説する。

### Ⅳ.10.3.1　東日本大震災による液状化被災地の復旧・復興支援技術

国総研では、平成 24 年度から 25 年度にかけて、「地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」及び「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」の開発に取り組み、その成果を順次国総研ホームページに掲載し、各種計算シート等をダウンロードできるようにするとともに記者発表を行い、公表、普及に努めた。

これらの計算シートはエクセルで作成されており、液状化被災地において再液状化対策の初期の検討段階において活用され、液状化対策工法選択の迅速化に役立てられた。その後、それぞれの自治体の検討委員会により、潮来市、神栖市、鹿嶋市、千葉市、久喜市では地下水位低下工法、浦安市では格子状地中壁工法の採用が検討されている。

(1)「地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」の開発[6)]

1) 開発の背景

東日本大地震では、住宅地が広範に液状化の被害を受けた。宅地地盤の液状化対策は、建物のない「更地」の状態で実施された例はあるが、既に住宅が建て込んだ「市街地」に対しては講じられた例がほとんどない。

このため、液状化被災住宅地の再液状化対策については、どのような工法が選択肢になり得るのかといったこと自体が、各自治体において手探りで検討されているのが実情であった。

このため、国総研では、本省都市局とともに、液状化の被害を受けた住宅地の復興に向け、被災地自治体に対する技術支援として、道路などの公共施設と宅地を一体的に行う液状化対策の研究を進めた。

その検討により、戸建て住宅地に適用可能性のある工法として地下水位低下工法と格子状地中壁工法の 2 つの工法が有力となった。

地下水位低下工法は、住宅地の道路部分に地下水を浸透・流下させる管路を埋め込むなどにより、地下水位の高さを下げて地盤面下の数メートルを非液状化層とすることにより、液状化の被害を抑制する工法である。液状化は、地下水に浸かっている砂地盤が、地震の振動で高まった水圧に耐えきれずに破壊されて発生する現象である。このため、地下水が抜けた層では水がないため液状化が発生しなくなるとともに、その下の層も従前の浮力相当分の重さが砂粒子を抑えつける力として加わるため、液状化が起きにくくなる。また、この工法は、工事を道路等の公共施設の区域内で行うことが出来るため、住宅が建ったままでも実施可能という点で優れている。

しかしながら、地下水位低下工法にも弱点があり、深層部に緩い粘土層がある地域において発生する圧密沈下という副作用が発生する可能性がある。特に、液状化層が分厚い地域では地下水位を大幅に低下させなければ効果が出にくいため、圧密沈下が大きくなりやすいことが問題である。また、砂層に粘土粒子が多く混じった地域でも地下水が透過しにくい難点から、地下水位低下工法には向いていない。

そこで、国総研では、地下水位低下の効果と影響を簡易に計算できる技術支援ツールを作成・公開し、被災地の自治体をはじめ誰もがダウンロードして利用できる環境を整備することとした。

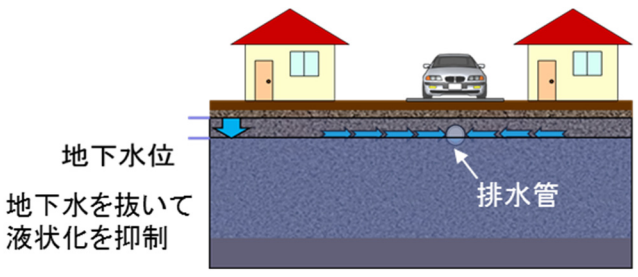



図-Ⅳ. 10. 3. 1. 1 地下水位低下工法のイメージ

2) 計算シートの特徴

この計算シートは、地域一体で行う液状化対策の有力な工法である「地下水位低下工法」について、各地区で実施する場合の効果と影響を簡易に把握するための技術支援ツールである。

各地区において、地盤調査のデータと、想定する地震規模を入力することによって、地下水位を現状よりどれだけ低下させるかに対応した液状化の抑制効果と、この工法の副作用である下部粘土層の圧密沈下の量について、学会等の基準に基づく計算値を簡易に得ることができる。

なお、この支援ツールによる計算結果は概括的な予測を目的としており、工法を実際に適用した場合の詳細は、地盤調査の精度、設計・施工管理の方法、地盤状態の経年的な変動、遭遇する地震波の特性などの影響を受けることに留意が必要である。

この計算シートは国総研の「宅地防災」のページ[4]からダウンロード可能である。同ページからダウンロードできる「例題編」ファイルには、あらかじめサンプル地区の地盤調査データ、地下水位、想定地震規模が入力されている。これらの数値を入力シートで任意に変更すると、プレゼンシートに計算結果が反映され、効果・影響の変化を見ることができる。なお、このツールでは、「地下水位」のほかに、「飽和度」の値も変化させることができる。これを使えば、地盤内に空気を混入させる液状化対策の効果も試算することができる。

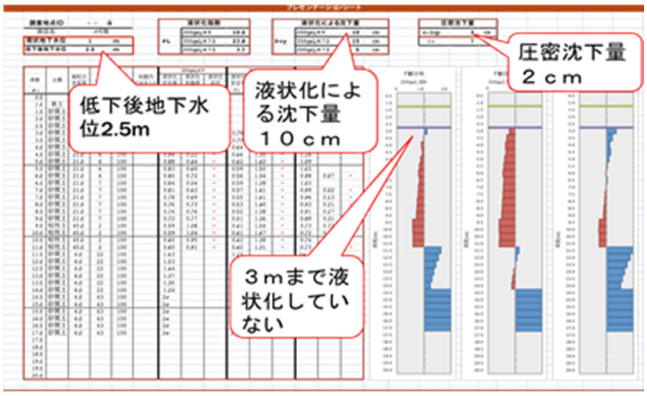



**図-Ⅳ.10.3.1.2 地下水位低下工法の効果・影響の簡易計算シート**

(2) 「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」の開発[7]

1) 開発の趣旨

この「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」は、「地下水位低下工法の効果・影響簡易計算シート」と同様に宅地の液状化対策工法の検討を支援するツールとして開発したものであり、主に自治体の宅地防災・復興部局をユーザーと想定している。

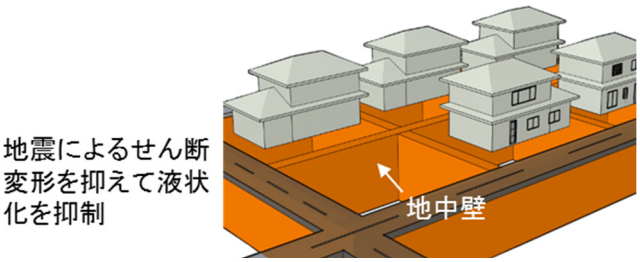



**図-Ⅳ.10.3.1.3 格子状地中壁工法のイメージ**

格子状地中壁工法は、図-Ⅳ.10.3.1.3 に示すように地中に土とセメントを混ぜた壁を格子状に形成し、液状化しやすい砂地盤をこの地中壁でとり囲むことにより、地盤のせん断変形を抑え液状化を抑制する工法である。この工法は、比較的大がかりな工事を要するが、圧密沈下を招くことはなく、透水性の低い地盤にも適用できるという特徴から、地下水位低下工法に不向きな地域において、地下水位低下工法の次に検討すべき有力な工法と考えられる。

しかし、住宅が現に建っている市街地では、住宅の真下に地中壁を造ることは困難であるとともに、敷地の境界線や埋設管路もあることから、地中壁を形成できる位置には制約があり、地中壁格子の間隔が住宅敷地の区分けに対応して広くならざるを得ない。そのような物理的な特性があるため、この工法を適用した場合に果たして十分な液状化抑制効果が見込まれるのかどうかが問題となる。また、コストダウンには逆に地中壁の量や排土を少なくすると有利であるが、それで必要な効果が得られる見込みがあるのかどうかの情報が重要である。そして、それを知るには高度なコンピュータ解析が必要であり、そのことが、被災地自治体における検討において障害となっていた。

そこで、国総研では、地盤や地中壁格子の多様なケースについて、大量の解析計算を高速コンピュータを用いてあらかじめ行い、その解析結果を一般の人にもなじみのあるエクセルベースのシートにまとめて公開した。具体的には、地盤条件、地中壁格子の規模や強度、地震動のレベルといった計算条件をプルダウンメニューから選択すると、対策の効果の程度がわかりやすいグラフで簡単に表示される仕組みとなっている。

2) 解析計算の概要

①地盤モデル

液状化のおそれのある宅地地盤といっても、液状化層となる砂層地盤の層厚、固さ（又は緩さ）、土質など

地域の状況により、条件は多様である。そこで、多様な地域が各々の状況に比較的近い条件による計算結果を得ることができるようにするため、液状化層厚（4種類）、砂層地盤のＮ値（4 種類）、細粒分含有率（4種類）、地下水位（2 種類）を設定した。

表Ⅳ. 10. 3. 1. 1 地盤モデルの基本ケース

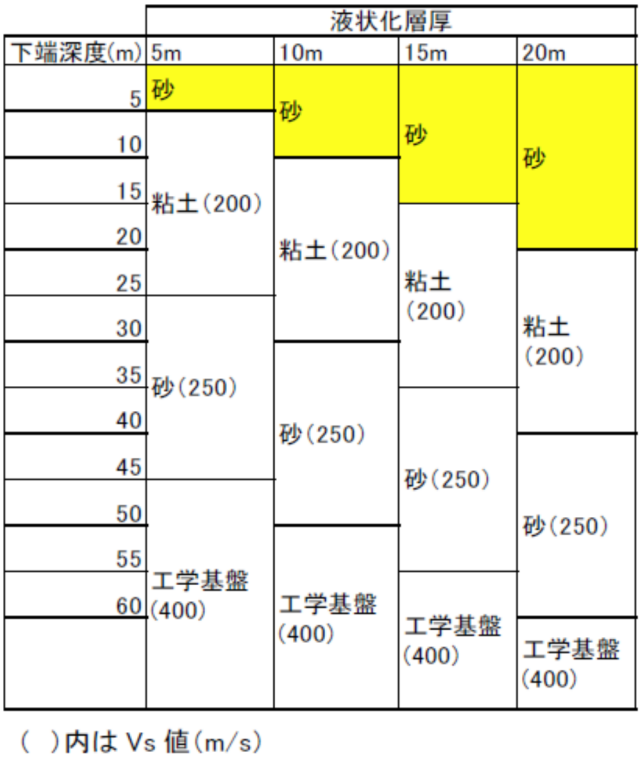



表-Ⅳ. 10. 3. 1. 2 地盤状況の設定ケース

| 地盤の状況 | 設定ケース |
|---|---|
| 液状化層の厚さ | 5m、10m、15m、20m |
| N値 | 3、5、10、15 |
| 細粒分含有率 | 0%、10%、20%、30% |
| 地下水位 | GL－1m、－2m |

表-Ⅳ. 10. 3. 1. 3 住宅敷地（格子形状）と地中壁強度の設定ケース

| 敷地の奥行き | 敷地の幅 |
|---|---|
| 10m | 6m、8m、10m、12m、14m、16m、20m |
| 15m | 6m、8m、10m、12m、14m、16m、20m |
| 30m | 15m、20m、30m、40m |
| 地中壁の強度 | 0. 75、1. 0、1. 5、3. 0 (N/mm²) |

表-Ⅳ. 10. 3. 1. 4 入力地震動

| 地震動の波形 | 地表加速度 | 震源規模 |
|---|---|---|
| (a) 東日本大震災の夢の島観測波 | 200ガル | M9. 0 |
| (b) 中央防災会議東京湾北部想定波 | 350ガル | M7. 3 |

表-Ⅳ.10.3.1.1 は解析計算を行った地盤モデルの断面パターン、表-Ⅳ.10.3.1.2 は地盤状況の設定ケースを示している。

②格子状地中壁のモデル

格子状地中壁のモデルは、住宅敷地の多様な規模・形状を想定して、表-Ⅳ.10.3.1.3 に示す 18 ケースを設定し、解析計算を行った。また、地中壁の強度について、機械式攪拌を想定した 1.5N/mm2 を標準と想定して、表-Ⅳ.10.3.1.3 下欄に示す４種類により解析計算を行った。

③入力地震動

入力地震動は、表-Ⅳ.10.3.1.4 に示す(a)地表最大加速度 200 ガル、震源規模マグニチュード 9.0 と、(b)地表最大加速度 350 ガル、震源規模マグニチュード 7.3 の２種類で行った。地震波の波形には、(a)に東日本大震災の夢の島観測波、(b)にいわゆる首都圏直下型地震を想定した中央防災会議による東京湾本部地震の想定地震波を用いた。

特に、(a)波は東日本大震災の液状化被災地を想定した地震動で、震度５強程度の長時間の揺れを表している。これは、地盤の液状化が、一般の構造物の破壊とは違って、たとえ加速度が大きくなくても、地震動の継続時間が長いと大きな被害を発生しやすいという特有の性質があることに対応したものである。

④ 解析計算

解析計算は、等価線形解析により行った。地震動の入力は工学的基盤で行い、入力振幅を地表面最大加速度が(a)波、(b)波それぞれ 200 ガル及び 350 ガルとなることを目標に調整した。なお、解析プログラムには Super FLUSH（等価線形解析）を用い、計算機には高速コンピュータ（IBM System x3850 M5）を使用した。

4) 解析結果の概要

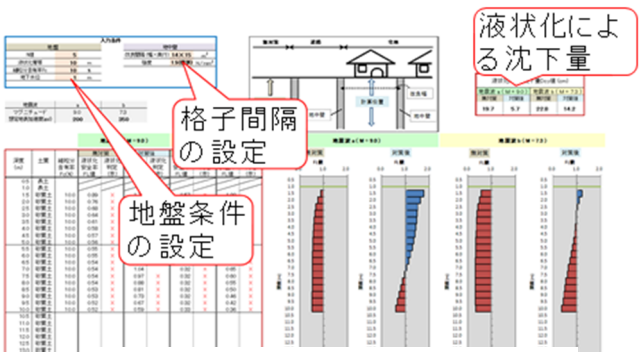



図-Ⅳ. 10. 3. 1. 4 解析計算の結果表示

解析計算の結果は、図-Ⅳ.10.3.1.4 に示すように、地盤の深さ 0.5m ごとに FL 値（液状化抵抗率）の表とグラフ、及び、液状化による予想沈下量の値（Dcy 値など）により表示される。これらの４つの表示区分は、(a)「地表加速度 200 ガル、震源規模 M9.0」（震度 5 強
程度であるが長時間継続する地震）の場合の「無対策」と「対策後」、(b)「地表加速度 350 ガル、震源規模 M7.3」（直下型の大地震）の場合の「無対策」と「対策後」に、それぞれ対応している。

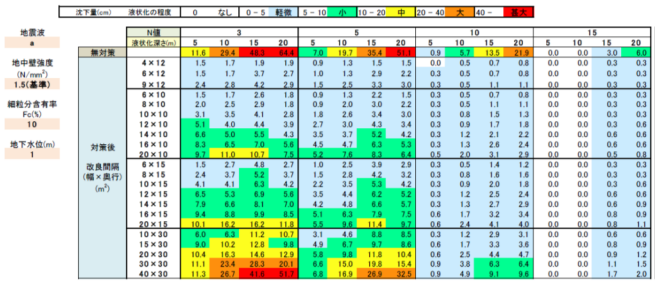


図-Ⅳ.10.3.1.5 解析結果における Dcy 値の分布（一部）（200 ガル、M9.0 の場合）

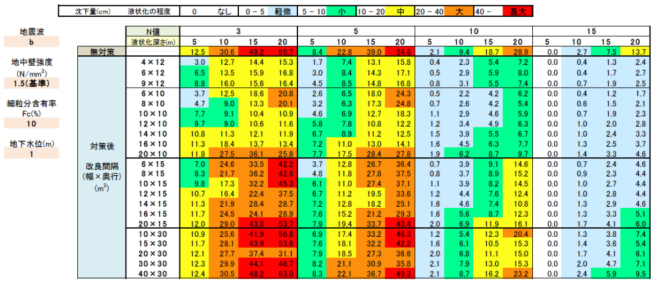


図-Ⅳ.10.3.1.6 解析結果における Dcy 値の分布（一部）（200 ガル、M9.0 の場合）

図-Ⅳ.10.3.1.5 及び図Ⅳ.10.3.1.6 は、計算結果の一部を、液状化による予想沈下量（Dcy 値）の分布により表示したものである。建築基礎構造設定指針（日本建築学会）[8] に照合すれば、白色（Dcy＝0cm）が液状化の被害なし、水色（Dcy≦5cm）又は緑色（Dcy≦10cm）の部分が液状化の程度が軽微又は小、黄色（Dcy≦20cm）、橙色（Dcy≦40cm）又は赤色（Dcy>40cm）の部分が液状化の程度が中、大又は甚大に相当している。

このように、格子状地中壁工法により効果が見込まれる地盤及び格子の規模等の条件を示している。

5) 留意事項

このツールを使用する際には、以下のことに留意する必要がある。

このツールの計算結果は、一定の条件を前提にして２次元 FEM 解析を行った計算値を示したものであり、概括的な予測を目的としている。工法を実際に適用する場合には、各地域の詳細な地盤状況や、住宅地の敷地割りなどを考慮して、設計・施工のための具体的な検討が必要である。

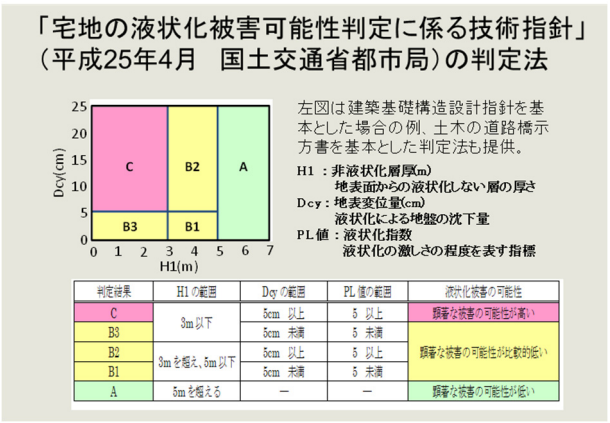
ここでの解析計算は、N値を深さによらず一定としているが、一般に実地盤では深くなる程N値が大きくなる傾向がある。このため、実地盤の場合には、解析計算と比較して FL 値が浅い層ではやや低く、深い層ではやや高くなる傾向がある。

また、地中壁格子の幅と奥行きの比が 1:1.5 を超えるケースについては、地震波の入力も縦横２方向で行い、厳しい方の値を採用しているが、幅・奥行き比が大きいケースの検討に当たってはさらに安全率の余裕を見込むことを推奨する。

ここでの計算は、地盤の状態が一様であるなどの仮定を前提としている。しかし、実際の地盤は必ずしも一様ではなく、地震波も地震ごとに多様なため、工法適用の検討においては適切な余裕幅や安全率を考慮することが必要である。

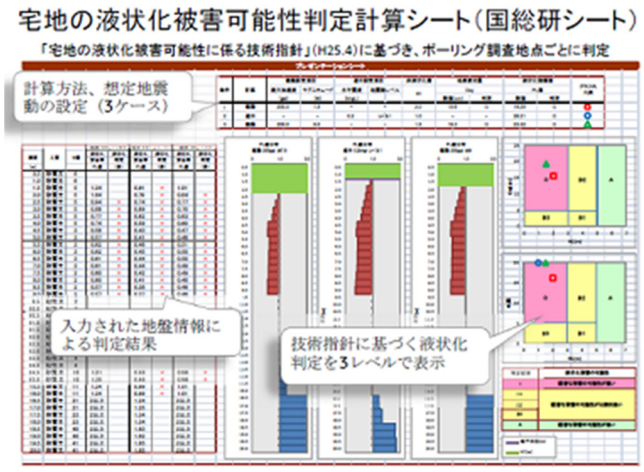
## Ⅳ.10.3.2 宅地の液状化マップ作成支援ソフトの開発

国総研では、平成 25 年 4 月に本省都市局から発出された「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」[5] に連動して「宅地の液状化被害可能性判定計算シート」を開発し、国総研ホームページ[4] 上でダウンロード公開した。また、この計算シートを利用して平成 27 年 3 月に「宅地の液状化マップ作成支援ソフト」を開発し、自治体向けに配布を開始した。これらは、東日本大震災被災地を含む全国の自治体等で今後予想される巨大地震に備えた液状化対策の検討に活用されてい




| 判定結果 | H1の範囲 | Dcyの範囲 | PL値の範囲 | 液状化被害の可能性 |
|---|---|---|---|---|
| C | 3m以下 | 5cm 以上 | 5 以上 | 顕著な被害の可能性が高い |
| B3 | | 5cm 未満 | 5 未満 | 顕著な被害の可能性が比較的低い |
| B2 | 3m を超え、5m 以下 | 5cm 以上 | 5 以上 | |
| B1 | | 5cm 未満 | 5 未満 | |
| A | 5m を超える | － | － | 顕著な被害の可能性が低い |

図Ⅳ.10.3.2.1 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針の判定法




**図Ⅳ. 10. 3. 2. 2 宅地の液状化被害可能性判定計算シートの表示イメージ**

る。

(1)「 宅地の液状化被害可能性判定計算シート」の開発

液状化現象に対しては、昭和 39 年の新潟地震以降研究や各種技術基準等の策定が進められ、その被害可能性を判定する手法について、学会や国において検討が進められてきた。

東日本大震災による液状化被害を踏まえ、国土交通省に設置された「宅地の液状化対策の推進に関する研究会」において、東日本大震災における被害実態と既存の各種判定手法による判定結果の指標とを比較検討し、被災実態と判定結果との整合を図り、宅地の液状化被害可能性についてランク付けを行う判定法と判定に当たっての留意事項等をまとめた「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」（平成 25 年 4 月）がとりまとめられた（図-Ⅳ.10.3.2.1）。

この指針は、東日本大震災において、震源地から離れた東京湾岸の住宅地等においても大きな液状化被害が発生し、その復興対策と事前予防対策が急務となったことを踏まえ、中地震発生時に懸念される地盤の液状化現象に対し、戸建て住宅地の液状化被害の可能性を判定することを目的とし、震度 5 程度の中地震を対象としている。

この指針では、地形データ等の既存資料により、二次判定の要否を判定する一次判定から、地盤調査結果に基づき、顕著な被害の可能性を 3 ランクで判定する二次判定、さらに必要に応じて、詳細な調査・解析により、顕著な被害の可能性を 3 ランクで判定する三次判定の手法が示されているが、二次判定に用いる液状化指標値（PL 値）、地表変位量（Dcy 値）の算定は複雑な計算処理が必要であり、簡便な計算ツールが求められていた。

このため、国総研では、国の技術指針に準拠して、ボーリング調査結果を用いて、個々の地点における宅地の液状化被害の可能性を容易に判定できるよう、一般に広く用いられているエクセルシートにボーリング調査や土質試験から得られた細粒分含有率やN値等の地盤条件の値を入力すると液状化被害の可能性について二次判定が行える支援ソフト「 宅地の液状化被害可能性判定計算シート」（図-Ⅳ.10.3.2.2）を開発した。

開発に当たっては、東日本大震災において液状化が発生した関東地域の複数の液状化被害地区の地盤条件を当該支援ソフトに入力し、判定結果と東日本大震災における液状化被害の状況を照合して支援ソフトの信頼性について検証を行った。

(2) 「宅地の液状化マップ作成支援ソフト」の概要

ハザードマップの１つである宅地の「液状化マップ」については、現在、自治体から公表されているものの、自治体によって、想定地震動の設定や液状化の可能性の区分の仕方が様々である。このため、前述の国の技術指針を基に、戸建て住宅を想定した液状化危険度マップを簡便に作成することのできるマップ作成支援ソフトが求められていた。

このため、国総研では、前述の宅地の液状化被害可能性判定計算シートを利用して、複数のボーリング調査等のデータから計算された結果をベースに、液状化マップを容易に作成することのできる「宅地の液状化マップ作成支援ソフト」を開発した。ソフトによって作成される液状化マップの表示イメージを図-Ⅳ.10.3.2.3 に示す。

「宅地の液状化マップ作成支援ソフト」は、自治体による液状化マップ作成を技術的に支援することを目

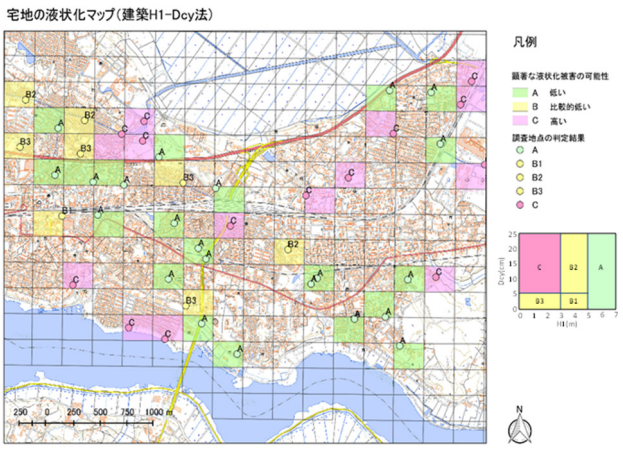



**図-Ⅳ. 10. 3. 2. 3 宅地の液状化マップの表示イメージ**

的として開発したものであり、このソフトで液状化マップを作成するためには、「宅地の液状化被害可能性判定計算シート」へ入力するボーリング柱状図、土質試験結果などのデータを広域的に入手することが必要である。土質試験のデータが揃わないときには、専門家判断で周辺のデータや既往試験の結果等を参考に与えることが必要であるため、土質や地盤に関する専門知識を必要とする。

最終的な表示内容は、目的に応じて表示項目の選択や凡例の追加などのレイアウトの調整をする必要がある。また、作成された液状化マップは PDF の他、様々な GIS ソフトで利用可能なシェープファイル形式で出力されるため多様な利用が可能である。

このソフトは、試行版として自治体向けに配布をしており、国総研の宅地防災のページ[4)] から申し込むことが可能である。平成 27 年 3 月現在で 6 市へ配布を行っている。

参照文献

1)国総研（宅地防災）のホームページ
http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/takuti.html
2)液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について （ガイダンス（案））、平成 25 年 1 月、国土交通省都市局・国土技術政策総合研究所
3)液状化被災市街地における格子状地中壁工法の検討・調査について （ガイダンス（案））、平成 25 年 4 月、国土交通省都市局・国土技術政策総合研究所
4)市街地液状化対策推進ガイダンス、平成 27 年 12 月、国土交通省都市局
5)宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針、平成 25 年 4 月、国土交通省都市局
6)国総研技術速報 No.2、地域で取り組む地盤の液状化対策のための「地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」（試行版）公開、平成 24 年 8 月、国土交通省国土技術政策総合研究所 都市研究部
7) 国総研技術速報 No.4、地域で取り組む住宅地の液状化対策のための「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」（試行版）公開、平成 25 年 2 月、国土交通省国土技術政策総合研究所 都市研究部
8)建築基礎構造設計指針、2001.10、日本建築学会

**参考文献**

1) 岩見達也、竹谷修一、津波と火災を考慮した複合災害避難シミュレーションツールの開発、日本建築学会 第37回 情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、平成 26 年 12 月.
2) 岩見達也、竹谷修一、安全な市街地整備に向けた津波避難安全性評価手法の開発、国総研レポート 2014、2014 年 4 月.
3) 木内望、竹谷修一、岩見達也、勝又済、前川祐介、星野澄人、東日本大震災の津波被害を中心とした被災都市における防災拠点機能の喪失と回復の実態、日本建築学会東日本大震災 2 周年シンポジウム（一般講演）梗概、平成 25 年 3 月.
4) Nozomu Kiuchi、Studies on the Urban and Local Level Securement of Disaster Preparedness Functions of Coastal Cities and Towns after the Great Tohoku Earthquake、日本都市計画学会 Proceedings of International Symposium on City Planning 2013、平成 25 年 8 月.
5) 木内望、津波防災都市づくりにおける防災拠点機能の確保について、日本都市計画学会誌 318 号、平成 27 年 12 月.
6) 国総研技術速報 No.2、地域で取り組む地盤の液状化対策のための「地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」（試行版）公開、国総研 HP、平成 25 年 1 月.
7) 国総研技術速報 No.4、地域で取り組む住宅地の液状化対策のための「格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」（試行版）公開、国総研 HP、平成 25 年 4 月.

# Ⅳ.11　復興および防災・減災に関わる公園緑地整備手法

東日本大震災において公園緑地は、避難地や避難路、救助救援の活動拠点や後方支援基地として、さらに給水等の生活支援の場や仮設住宅の空間として活用された。特に、津波災害については、緑地による津波エネルギーの減衰に関わる機能が認められた一方、樹木が津波により流出するなど緑化樹木に対する津波災害の影響も確認された。このほか、首都圏で大量に発生した帰宅困難者の収容に寄与する公園緑地の機能が確認された。

こうした状況を踏まえ、国総研は、大規模災害時における公園緑地の防災・減災効果発現事例に関する研究に取り組み、平成 27 年 9 月に『防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案)』を改訂した。また、被災地における樹木の根の伸長に関する調査を行い、植栽地の盛土方法等に関する基礎資料を提示した。

## Ⅳ.11.1　東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備の技術的指針の検討

2.国土技術政策総合研究所 : 2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号)、pp.215～220、2013)

国土交通省は、地方公共団体による被災都市の復興まちづくり計画の検討や、復興事業における公園緑地の計画・設計等の技術的資料をとりまとめるため、造園、都市計画、津波災害、土木工学、環境地盤工学等の専門家から構成される「東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備検討委員会」を設置し、平成 23 年 8 月から平成 24 年 2 月にかけて 4 回にわたる委員会を開催した。この委員会には、国総研から緑化生態研究室長が参画し、公園緑地の整備等における技術的な資料提供や助言を行った。

本検討委員会では、被災都市における復興まちづくり計画、事業計画等の検討・実現の参考となる最終報告として、「東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針」をとりまとめるとともに、技術的指針の参考資料として、本指針の根拠となる現地調査や工学的検証等の結果を示した「技術資料」や「関連資料」、災害廃棄物の有効活用のための「関連資料」、「活用手順（案)」等をとりまとめた。

本指針は、津波災害における被災状況や公園緑地が果たした機能を踏まえ、津波被害を軽減するための津波エネルギー減衰や避難地・避難路としての機能等の検証を行った上で「津波災害に強いまちづくりにおける公園緑地の整備」をとりまとめるとともに、再生利用可能な災害廃棄物をできる限り活用するための「公園緑地の整備における災害廃棄物の活用」についてとりまとめ、被災都市の復興まちづくり計画の検討や、復興事業における公園緑地の計画・設計等において活用できるものである。

## Ⅳ.11.2　防災公園計画・設計に関するガイドライン（案）の改訂に関する国総研の取り組み

41.国土技術政策総合研究所 : 防災公園の計画・設計に関するガイドライン(案)(平成 27 年 9 月改訂版)、国土技術政策総合研究所資料（第 857 号)、pp.241、2015

国土交通省は、阪神・淡路大震災後の平成 11 年に公表した「防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案)」をもとに、地震に起因する市街地火災の発生時に避難地や防災活動拠点等となる防災公園の整備を推進してきた。

一方、東日本大震災等では、公園の新たな役割と、防災・減災機能を発揮するための課題が確認され、教訓を今後の公園計画・設計に活かす必要があった。そこで国総研では、国土交通省都市局とともにガイドラインを改訂した。

改訂のポイントとしては、津波からの緊急支援避難場所や帰宅困難者の支援といった、防災公園の新たな役割を位置づけたことがあげられる。

津波からの緊急避難場所については、高さとアクセス性を重視する公園配置の考え方を示すとともに、防災機能を有する公園施設の一つとして、「津波からの緊急避難場所となる築山」を位置づけ、迅速かつ安全な避難を確保するための設計上の留意事項を示した。具体には、迅速に避難できるよう、ランドマークを設置することや、避難路に街路樹やサインを配置すること、避難した高台が津波によって崩壊しないよう、安定勾配を確保し緩やかな傾斜とすること等を示した。

また、帰宅困難者の支援については、防災公園の種別のひとつとして、「帰宅支援場所」を位置づけ、配置や施設内容に関する考え方を示した。具体には、帰宅支援対象道路から 500m 以内の地域に配置することや、帰宅困難者の発生や帰宅行動時のボトルネックなどに配慮すること、徒歩帰宅者が求める水、トイレ、災害関連情報を提供できるようにすること等を示した。

本ガイドラインは、国総研資料として公表しており、ホームページで閲覧可能である。今後、地方自治体の公園部局、まちづくり部局の担当者や、建設コンサルタントの実務者等に活用いただき、防災公園の効果的な整備が一層推進されることを期待している。

参照文献

1) 2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、2013、国土交通省国土技術政策総合研究所

2) 国土交通省都市局公園緑地・景観課、東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針、平成 24 年 3 月 27 日、国土交通省 HP、http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000097.html

## Ⅳ.12　大規模災害時の危機対応の向上

災害危機対応は文字通り、突然発生した危機への緊急対応であり、準備期間が無いため災害発生時の人的・物的資源による総力戦を余儀なくされる。そのような状況で災害対応にあたった者がどのような活動を行い、何を達成し何を教訓として得たのかを詳らかにしておくことは、将来の大規模災害への備えを考える上で不可欠である。以下では地震発生直後から復旧作業・救助活動等を担った地域建設業、および道路の啓開・復旧の任に当たった道路管理者の活動実態の調査結果を紹介する。

また、危機対応の向上を図る新たな取り組みとして研究開発を進めている、地震被害を速やかに把握し迅速な意思決定を支援するための即時震害推測技術、並びに､大規模災害への危機管理方策を｢ツールキット｣を用いて効果的・効率的に検討する手法を紹介する。

### Ⅳ.12.1　地域建設業による大規模災害時の支援活動

42.国土技術政策総合研究所 : 国土技術政策総合研究所資料（第 729 号)、森望、小橋秀俊、竹谷修一、大橋幸子、渡辺健一及び横井宏行著、東日本大震災における建設関連企業の活動実態調査―被災地の支援・復旧に向けた初動の記録―、2013.3

#### Ⅳ.12.1.1　調査内容

東日本大震災においては、巨大地震による強い揺れに加え、地震後に発生した大津波による大量のがれきが地域を孤立させる中で、被災者の支援が急務となった。被災地への一刻も早い救援を導くためには、まず失われたインフラの迅速な機能復旧が不可欠であり、国、県、市町村や建設企業等の関係者が協力し対応にあたった。そのような状況の中、地震発生直後からの現場の復旧作業、そして重機を使った近隣住民の救助活動等を担った地域建設業の初動の実態は、これまで十分には明らかにされていなかった。

国総研は災害が繰り返し発生する我が国において、来るべき災害に備えるためには、被災地への支援・救援を導いたインフラ復旧活動の調査・分析が重要であると考え、東北地方整備局、東北建設業協会連合会、公益社団法人土木学会・東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会、東北大学等と協力し、東日本大震災における建設業の活動実態調査を行った。調査は、インフラの復旧、建設企業の被災状態、人命救助等の活動等の災害後の活動を中心に、災害協定の締結状況、BCP 策定状況、防災訓練等の平常時における活動も含めて行った。

#### Ⅳ.12.1.2　調査結果

調査の結果、被災地域内の建設企業はその多くが自らも被災した中で、社会資本の点検・応急復旧、がれきの撤去等の支援活動を震災直後から展開したこと、また被災地域外の企業は、専門的な技術力を活用した支援活動や広域的なネットワークを駆使した物資等の調達・提供を展開したことが明らかとなった。これらの迅速かつ的確な作業に寄与した要因として、建設機械を自社で確保していたこと、従業員が地元の地理に明るかったことなどが挙げられた。一方、活動で直面した困難として、燃料（軽油、ガソリン）の不足による作業や移動の制約、電話回線の不具合など連絡・通信手段の断絶による内外調整や情報収集の困難、従業員の過労・精神的負担などが挙げられた。

災害協定については、8 割以上の建設関連業界団体が国、県、政令市と協定を締結していた。災害発生後 3 日以内に行われた支援活動では災害協定に基づく支援活動が 7 割以上あり、そのうちの約 2 割は要請がない状態で建設企業の自主的な判断により活動を行っていた。事前の災害協定の締結が復旧活動の円滑な実施に有効であったと考えられる。一方、半数以上の建設企業で、協定に基づかない支援要請も含め複数の支援要請への対応を迫られた状況も明らかになった。

このほか、BCP や災害対応マニュアル、防災訓練についても効果が確認された。

#### Ⅳ.12.1.3　まとめ

東日本大震災では津波による広域的な被害により地域が孤立した状況下で、インフラの機能復旧と住民の救援活動を地域自ら行う必要に迫られ、被災地域内の建設企業が大きな役割を果たした。そして、孤立状況が解消され始めた後には、地域外からの支援を得ながら救援と復旧が進められることになった。

これらのことを踏まえ、今後予想される広域大災害に備えるためには、発災直後に求められる「地域自己対応力」と、復旧まで継続して求められる「広域的協力体制」の 2 つの要素が必要であると考えられる。

## Ⅳ.12.2　東日本大震災における道路管理者の対応の記録

(1)はじめに

東日本大震災では、人命救助や物資輸送のため、道路の被災状況の把握、地震及び津波により被災した道路の啓開及び復旧を迅速に行うことが、道路管理者に要求された。また、これらの活動を支援するため、全国各地の地方整備局の職員が被災地に派遣された。

今後、道路管理者が大規模地震への対応を迅速に行うためには、本災害における具体的な対応状況と得られた課題や教訓を取りまとめ、残していくことが重要である。

本調査は、東日本大震災の経験をもとに今後の災害対応の参考となる事例集、教訓集を作成することを目的として、道路管理などの災害対応業務にあたった職員などを対象としたヒアリング調査結果などを踏まえ、災害発生時における道路管理者の対応や被災施設の復旧にあたっての課題や問題点について整理した。

なお、Ⅳ.12.1 での地域の建設業者などを対象にした災害時の活動についてのアンケート調査およびその定量的な評価に対し、本調査は災害対応の流れや背景など、定量的評価が困難な記録について、当事者の生の声を残すことをその趣旨としている。

(2)震災時の道路管理者の対応に関するヒアリング調査

道路管理者の対応については、本災害で大きな被災を受けた地域における道路管理者を対象にヒアリング調査を行った。具体的な調査対象は、国土交通省では、2 地方整備局（東北地整, 関東地整)及び 8 事務所(東北地整：三陸国道，岩手河川国道，仙台河川国道，福島河川国道，磐城国道，関東地整：常陸河川国道，千葉国道，東京国道)、直轄国道以外を管理する機関としては、5 県(岩手，宮城，福島，茨城，千葉)及び 1 政令市(仙台)の道路管理系の業務にあたる職員とした。また、全国より被災地の支援を行った職員などにも同様に調査を行った。

なお、ヒアリング調査は、「災害エスノグラフィー」[1](災害及びその対応を特定の集団、民族が持っている既知ではない一つの文化と捉えて記録する調査手法)を参考に実施した。災害エスノグラフィー調査では、災害時の体験を自由に語って頂くこと基本とし、内容についての質問はその後補足的に行うこととしており、本ヒアリング調査でもそのように心がけた。しかしながら、ヒアリング対象者が当時の状況を体系的に思い出すことにも配慮し、発災からの時系列を追う形でインタビューを行った。ヒアリングは、それぞれ 2 時間程度実施し、対象者は約 100 名にのぼった。(写真-Ⅵ.12.2.1)

また、本地震により被災した道路施設とその復旧に関する事例については、各道路管理者が公表している資料などから約 200 事例を収集するとともに特徴的な事例を対象に、具体的な対応状況等についてのヒアリング調査を実施した。

(3)震災時の道路管理における対応事例の取りまとめ

ヒアリングにより得られた対応事例は、地震発生からの時系列に応じた各フェーズとして下記の様に分類するとともに対応結果を類型化してとりまとめた。

① 体制の確立と地震情報の収集(発災直後):災害対策本部(支部)の設置とその運営(電源や通信の確保、職員の交代など)、地震の震度分布及び津波などの基本的な情報収集
② 緊急点検(発災直後～1･2日後):地震後の緊急点検の実態と被災情報の伝達、共有
③ 道路啓開、緊急対応(発災1日後から1週間程度):緊急車両が通行できるようにするための道路啓開(津波によるがれきの移動など)の緊急措置、通行規制、迂回路対応
④ 応急復旧(発災1週間後から半年程度):一般車両の通行を条件(車線規制、車両重量など)付きながらも可能とした復旧内容
⑤ 本復旧、復興(応急復旧以後):本格的な復旧の計画、実施状況や復興の現状



写真-Ⅵ.12.2.1　ヒアリング調査の様子

【津波警報発令時の道路パトロール】
一年前に発生したチリ地震の経験から、津波に対応した道路パトロールのマニュアルを作成していたが、遠地地震を対象にしていた。そのため、到達予定時刻までに半日～1日程度の余裕がある場合を想定していた。
（沿岸部国道事務所）
事務所の道路パトロールは、津波警報による浸水想定エリアがある事務所では、浸水エリアに入らない事とした。このため、出張所内または津波浸水予想エリア直前で待機している状態となり、浸水エリアの情報はテレビに頼る状況であった。
（地整道路管理課）
当初の津波警報は3mとなっていたが、直後に3m以上の大津波警報に変わり、その後10m以上に変わった。最初に点検に出た職員は、10m以上の予想される津波高さの情報を持たずに道路パトロールに出ていった。
（沿岸部国道事務所）
地震発生直後に道路パトロールの指示を出したが、その後に津波警報の発令を確認したため、すぐに「戻れ」の指示をしようとしたが、電話回線が不通となり連絡が取れなかった。その後の維持業者との連絡で無事を確認する状況だった。
（沿岸部国道事務所・道路維持出張所）
地震発生翌日の朝の時点では、県内沿岸には依然として津波警報が出ており、まだ道路パトロールは出来ない言う話は出ていたが、自主判断でパトロールを実施していた。
（沿岸部国道事務所・道路維持出張所）
津波警報が出ていたため、沿岸の沈埋トンネルは道路パトロールを見合わせていたが、トンネル内はモニターカメラで状況確認が可能であった。
（高速道路会社）
津波が来た際の道路パトロールの基準に関しては特に定められておらず、地震発生時には土木事務所の判断で点検に行かなかった所や津波が来るために警察が立ち入り禁止の措置を行った区間などがある。
（県道路部）

【燃料の確保、運用】
事務所の近くにあるプラントが地震により操業停止となっていたので、プラント操業用の燃料を提供してもらった。
（国道事務所）
非常用発電機の燃料(A重油)の調達は、非常に難しい状況にあった。このため、比較的調達しやすかった軽油で駆動する小型の発電機を別途用意し、切り替えながら電源を確保した。
（国道事務所）
内陸及び日本海側の事務所、出張所、河川排水機場などのタンクから汲み上げて燃料を確保した。また、除雪ステーションの備蓄タンクから、季節的に今期はもう使用しないと思われる機械用の燃料を転用していた。なお、燃料の搬送には、維持業者などの協力で行った。
（国道事務所）
除雪の実施にあたり、隣接する事務所に可能な範囲で協力してもらい事務所内の燃料消費を抑え、沿岸部に燃料を送れるようにした。
（国道事務所）
庁舎の非常用発電の燃料が厳しくなってきた際、部署によっては夜間の給電を停止した。その場合、メールなども使用できなくなるので、守衛室の電話1本でやり取りを行った。
（県道路部）
非常電源用の燃料タンクとしては72時間程度分以上の容量を持っているが、毎年の訓練などでは数時間分しか消費しない。燃料を長期間保存しておくと劣化の恐れがあったため、発災時にはタンクの半分程度の燃料しか備蓄していなかった。
（国道事務所）
道路パトロール、除雪などの維持作業用の燃料が少なくなってきたため、ある時期より正確な数量管理を行うとともに、余震発生時の緊急パトロールなどに備え、通常パトロールの回数を減らした。
（国道事務所）

図-Ⅵ.12.2.1　それぞれの事務所などにおける対応を整理した個表(例)

対応結果の類型化にあたっては、臨機の対応により得られた、好事例や教訓となる事例を抽出しやすくする工夫も別途行った。

これらの整理を全てのヒアリング対象ごとに実施し、得られた事例については、それぞれの対応フェーズ、活動内容に応じて個表として整理した。図-Ⅵ.12.2.1は、津波警報発令時の道路パトロール及び燃料の確保、運用時の対応について整理した事例である。

これらを見ると、今回の震災対応では、想定されていなかった事象への対応を多くの場面で求められたことが明らかとなった。一方、これまでの災害対応や平常時の維持管理業務の経験及びその外挿的な対応により乗り切っていった現場の様子が浮き彫りとなった。また、ある事象について、想定に基づく事前の備えをしていたが、実際に起こった災害の規模がさらに大きかったことなどが原因で、それらの効果発揮が十分とまでは行かなかった事例も明らかとなった。

(4)災害支援対応の調査

東日本大震災では広域にわたって甚大な被害が生じたため、当該地域の道路管理者のみでは適切な対応をすることが困難となる状況が多く発生した。このため全国の地方整備局の職員が、被災事務所の支援などを行うための緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)及び県や市町村などへ情報収集活動を行う情報連絡員(リエゾン)として派遣された。

これらの職員の活動状況についても調査を行い、派遣先や派遣期間などに応じた活動状況の特徴や問題点

表-Ⅵ.12.2.1　復旧方策における道路管理者の対応事例

| 地震発生の時間フェーズ | 復旧方策における道路管理者の対応事例 |
|---|---|
| 発災前準備 | 仮橋を保管している事務所では運用マニュアルを作成し、仮橋組立を実際に行う訓練を実施している。実際に災害で運用した後に、発生した不具合（例えば接合部）を解消した。 |
| | 津波の浸水エリアを想定し、迂回路を決めていた。また、発災時にはその迂回路を使用することができたため、緊急点検、緊急措置、応急復旧が迅速に行えた。 |
| 緊急措置・道路啓開 | 緊急措置時に、対応する車両の燃料、通行止めを表示する資材（カラーコーン、バリケード等）が不足した。<br>不足した燃料、資材を被害の比較的小さい内陸部や日本海側から支援を受けた。 |
| | 停電によってアスファルトプラントが稼働しないことから、アスファルト合材をつかえず段差のすりつけには砕石を利用している事例が多数。 |
| | 津波によって流出した、がれき等を移動する道路啓開は維持業者や災害時協定業者が対応した事例が多数。現地で自衛隊と啓開する範囲を調整した事例もある。 |
| 応急復旧 | 応急復旧に必要となる測量、地質調査、設計は緊急的に随意契約を結んだコンサルタントが行った。<br>TEC-FORCEによる調査結果をもとにコンサルタントがとりまとめる方法を行った箇所もある。<br>工法決定において、有識者等の委員会を立ち上げて決定した例はほとんどなく、多くの場合は道路管理者が決定している。<br>仮橋の設置においては、直轄では他地整や自衛隊が保有している仮橋について災害対策本部（局）が調整した事例があった。 |
| | 応急復旧はほとんどの場合、維持業者、災害時協定業者が対応した。県単位で建設業協会が被災の大きい沿岸部への応援業者の割り振りを調整している事例もあった。 |
| 本復旧・復興 | 津波の被害が大きい沿岸部では、市町村の復興計画と歩調を合わせた復旧を見据えており、計画待ちの事例があった。 |

をとりまとめた。

調査の結果、発災直後には収集した情報の伝達が困難となる状況やそれぞれ派遣者間での連携(隣接市町に派遣された TEC-FORCE の間、リエゾンの間、TEC-FORCE とリエゾンの間など)の必要性が明らかとなった。また、TEC-FORCE、リエゾンの活動を後方から支援するロジスティクス担当(派遣者の活動管理，移動・宿泊などの調整，活動物品の調達など)の重要性が浮き彫りとなった。

(5)被災道路施設の復旧事例調査

収集した道路施設被害及びその復旧事例(約 200)については、下記の点に着目し、整理、取りまとめを行った。特徴的な事例を表-Ⅵ.12.2.1 に示す。表形式のとりまとめにあたっては、地震発生から復旧に係る時間的なフェーズに分けて整理を行った。

① 被災施設:道路路面、切土、盛土、橋梁、トンネル等
② 災害要因:地震動による被災、津波による流失
③ 道路ネットワーク上の位置付け:緊急輸送道路等
④ 地震に対する事前準備:資機材の確保等

この整理結果より、沿岸部にアクセスする道路では、構造的な大きな損傷はほとんど見受けられなかった。一方で、道路路面に段差が生じる被害が多く、緊急車両の通行を確保するために、限られた資機材で対応した状況などが明らかとなった。

これらの復旧事例は、今後の震災対応において迅速な震災復旧を行うために必要な技術的手法として活用していく。

(6)まとめ

東日本大震災発生時における道路管理者の対応より得られた経験などについてヒアリングを中心とした調査を実施した。この結果、多くの貴重な事例収集をするとともに大規模地震災害に備えるための課題が浮き彫りとなった。

今後、これらの調査結果については、情報伝達や道路復旧といった道路管理者の役割とその行動を踏まえた更なる整理を実施し、道路管理者が災害対応の参考にすることができる事例集、教訓集としてとりまとめる予定である。

謝　辞

今回ヒアリング調査に対応していただいたみなさまには、多忙な中、ご協力を賜りました。深く謝意を表します。

参照文献

1) 林春男、田中聡、重川希志依他：防災の決め手「災害エスノグラフィー」～阪神・淡路大震災秘められた証言～、NHK出版、2009.

## Ⅳ.12.3　大規模広域型地震時の即時震害推測技術の開発

### Ⅳ.12.3.1　はじめに

地震発生時における国土交通省の所管施設の管理では、大きな震度が観測されたエリアで点検を実施している。しかしながら東日本大震災では、被害が甚大であった東北、関東地方は点検終了まで多大な時間を要した。同様に広域かつ多様な被害が想定される南海トラフ地震や首都直下地震では、被害の概況把握すら困難になることが懸念される。

このように所管施設の被害が把握できない状況が続くと、災害対策本部などでは迅速な初動対応のための的確な意思決定が困難になる。

そこで、国総研では、地震発生直後に各種観測網より得られる強震記録から地震動分布を推計する手法および地震動分布と所管施設の基礎情報をもとに被害状況を精度良く推測する手法の開発を行ってきた[1)]。また、開発成果を踏まえ、施設管理者などの意思決定の支援を目的に地震発生直後の情報の少ない段階においてインフラ施設の被害推測情報などを提供する、「即時震害推測システム」を構築し、災害対応現場の担当者との意見交換などを踏まえ、基本的な機能に加え、災害時の意思決定支援に資する機能を備えた。

### Ⅳ.12.3.2　地震災害時における道路施設管理

地震災害が発生した際のインフラ施設管理の具体例として、道路施設の管理の現況を記す。

一般道路の地震をはじめとする災害時における管理は、鉄道や高速道路の交通インフラ、ガス、電気、通信などのライフラインの管理とは、運行や供給サービスの停止を管理者自らが行えない点で大きく異なる。

例えば鉄道では、所定以上の地震が発生するとただちに列車の運行が停止され、その後、線路などの点検を行い、安全の確認がなされた後に運行が再開される。このため管理者が把握できていないところでの二次災害の発生は、基本的には生じ得ない。しかしながら、一般道路において災害に伴う道路の異常に対する予防的措置としての通行規制などは、雨量を指標とする事前通行規制はあるものの、地震発生を以て利用者の通行をただちに自動的に規制する枠組がない(ただし、警視庁管内においては、震度 6 弱以上の地震が発生した場合、警視庁長官の判断により、道路交通法及び災害対策基本法に基づき、高速道路及び一般道路に対し交通規制を実施する)ため、一刻も早い道路状況の把握、情報の共有を行う必要がある。

一方、震後における負傷者の搬送や被災者に緊急物資を届けるための救援ルートの確保には、緊急車両が通行できるルートを選定し、道路構造物の被災やガレキなどにより通行に支障が生じたルートを切り啓く「道路啓開」をいち早く行う必要がある。

国土交通省では、首都直下地震や南海トラフ地震を想定した道路啓開計画[2), 3)]などを策定している。これらの計画では、地震発生後、被災状況の把握、集約と優先啓開ルートの決定を速やかに行い、啓開に必要な人員、資機材の応援を他の管理路線、区間よりも優先して集結させることとしている。

なお、直轄国道の地震時における道路施設の状況把握は、路線踏破による巡視点検を基本としており、震度 4 以上の地域の路線全てをパトロールカーで往復走行している。往路では、自動車の通行に支障をきたす異常を把握するため、舗装の段差、陥没、落石、崩土の有無など道路の全体概況に着目した点検を行う。点検時は、基本的にパトロールカーを走行させながら、車中より確認を実施する。

一方、復路では、余震の発生や通行継続による二次災害の危険性を把握するため、道路を構成する橋梁、盛土、法面などの変状や異常を点検する。例えば橋梁では、橋脚などの構造部材の目視確認を実施する。

点検班は、点検者と運転手の 2 名もしくはそれ以上で構成されており、各班の点検延長は、往路点検を通常の走行で 90 分以内に終えられるように区間割りされている。さらに、休日や夜間に地震が発生した場合でも速やかに点検を開始できる体制を常時維持している。

しかしながら、実際の地震発生時には、様々な震後対応のための車両や高速道路の通行規制に伴い一般道に排出された車両などにより発生した渋滞による点検の遅延、携帯電話の通話通信制限などに伴う現地からの伝達の遅延や情報の集計作業に要する時間などにより、情報の即時性は上位機関になるほど乏しくなる状況にあり、これらを解

消するための各種のツール [4]などが開発されている。

以上の状況に鑑み、「即時震害推測システム」は、地震災害時における点検情報を補完することを主たる目的としている。それ以外にも、地震時における道路管理に限らず、災害対応に役立てる位置付けから、本システムは、地震発生直後に被害の程度やその広がりを把握するⅣ.12.3.4 で示す様々な機能を備えている。

なお、地震発生直後から巡視点検結果が取りまとまるまでの数時間において本システムは確実に稼働する必要がある。また、道路をはじめとするインフラ施設管理者の災害対応を支援することを目的としており、被害推測結果をはじめとする各種の情報は、関係機関および災害対応従事者間で共有することを念頭においている。このため、システムは災害対応実施機関の内部で稼働し、災害発生時の停電や通信インフラに対する冗長性は当該機関の耐性に依存する。例えば、国土交通省では、商用電源が失われた場合においても 72 時間は執務庁舎および各種情報システムのサーバ、通信インフラなどの機器が運用できるように非常電源などを整備している。

### Ⅳ.12.3.3　即時震害推測システム

a)即時震害推測システムの概要

地震発生直後に得られる情報としては、気象庁が発表する震度階級が一般的であるが、震度階級だけでは多様な振動特性を有する各種施設の被害を推測するのは難しいことが指摘されている[6]。土木構造物の被害程度と比較的相関のある地震動指標としては、SI 値(スペクトル強度)が知られており、耐震設計における地盤の液状化判定などでは、最大加速度が用いられている。

また、地震の揺れによる施設被害を推測するにあたっては、その施設の直近で観測された地震動強さが必要となる。しかしながら、施設近傍で地震観測が行われているものは少なく、複数地点での観測記録をもとに地震動強さの空間分布を推計する必要がある。

一方、地震動強さから施設被害を推測するにあたっては、施設が経験した地震動強さの他に、構造形式やその構造物の耐震設計レベル(一般的には設計された年代)が大きな影響を及ぼす。

「即時震害推測システム」は、これらを踏まえ、地震観測記録を用いてインフラ施設などの被害推測を行う。被害推測のフローを図-Ⅵ.12.3.1.1に示す。

現在、本システムは、中部地方のデータを使用したシステムとして構築し、国総研内で試験運用しており、即時震害推測情報を災害対応現場で実践的に活用するための検討を行っている。

b)強震記録活用の仕組み

施設被害の推測に用いる地震観測記録は、全国約 1,000 箇所に設置された強震計からなる(国研)防災科学技術研究所(以下、防災科研) K-NET[7]の強震記録を活用しており、地震動分布をより精度良く推計するため、適宜国総研の観測記録などを統合している。

関係するサーバの構成および機能とデータの流れは図-Ⅵ.12.3.1.2 の通りである。

地震発生後、防災科研において K-NET の観測記録を用いて、計測震度、最大加速度、SI 値の算

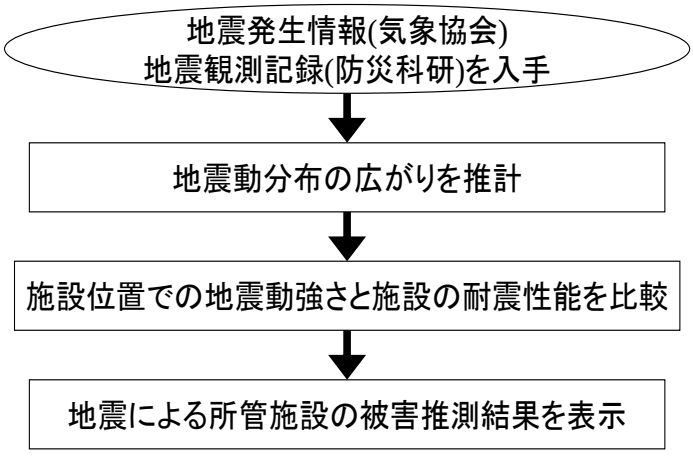



図-Ⅵ.12.3.1.1 被害推測のフロー

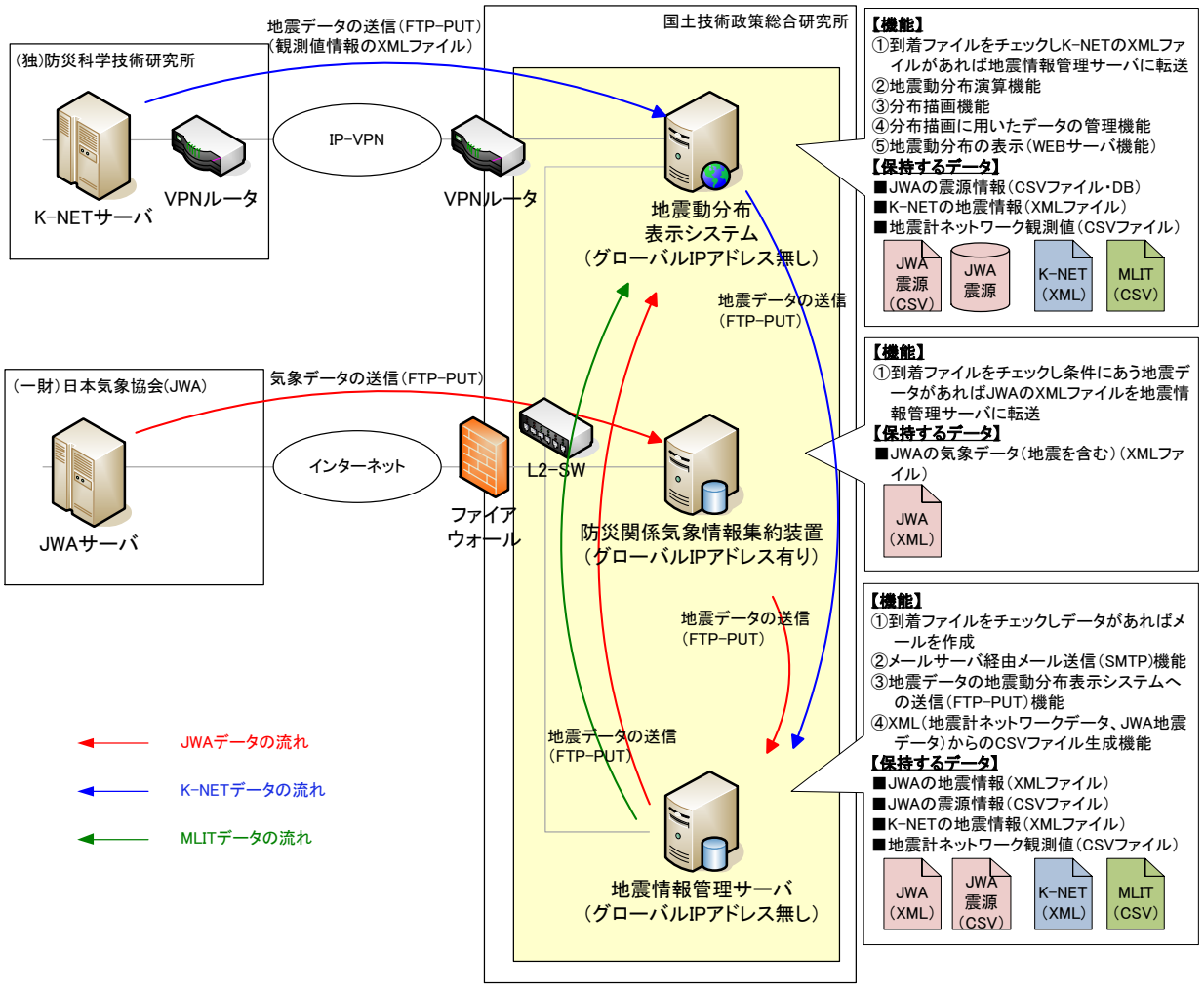



図-Ⅵ.12.3.1.2 「即時震害推測システム」関係サーバの構成および機能とデータの流れ

出を実施し、算出結果データは、地震発生から 5～10 分程度で国総研に自動的に送信される。防災科研からの K-NET データは、通信品質とセキュリティ確保のためインターネットを介さない IP-VPN(IP 通信網を経由して構築した閉域通信網)により国総研の地震情報管理サーバに送信されている。

これとは別に、地震動分布の推計に必要となる震源位置とマグニチュードは、地震発生後に(一財)日本気象協会がインターネットを通じて配信するサービスを活用して入手し、これらのデータをもとに c)で示す手法により地震動分布が演算される。

なお、情報の入手元である、防災科研および(一財)日本気象協会との通信途絶やこれらの機関の被災により、必要な情報が入手できない場合、後述する震源位置、深さ、マグニチュードを手動で入力することで、地震動分布を作成することができ、最低限の被災イメージの共有が可能となっている。

c)地震動分布の推計

地表面で観測される地震動強さは、地点ごとに異なる表層地盤の特性に大きく影響を受けることから、地表面で観測された地震動強さをそのまま空間補間することは適切ではない。このため、本システムでは、表層地盤によって基盤面の地震動強さが何倍に増幅されるかを表す増幅倍率DBを作成しており、地震動分布の推計では、地表面で観測された地震動強さを増幅倍率で除して基盤面での値に変換し、空間補間している。また、地表面の地震動分布は、空間補間で得られた基盤面における地震動分布にそれぞれの位置での増幅倍率を乗ずることで得られる[8]。

なお、気象庁でも震度5弱以上を観測した地震については、震度階の面的分布を推計した推計震度分布[9]を公表しており、これも同様に基盤面で地震動強さを空間補間している[10]。本システムは、

構造物被害の推測を目的としているため、計測震度に加え、SI値、最大加速度の推計分布の演算を行うシステムとして開発している。

表層地盤の増幅倍率は、地震ハザードステーション [11]で公開されている 250m メッシュの表層30m平均S波速度をもとに、既往の研究成果 [12), 13)]により算出している。

表層 30m 平均 S 波速度は全国の地形、地盤分類メッシュマップ [14]をもとに、同じ地形分類であっても標高や地盤の傾斜によって堆積物の粒度が異なることなどを考慮して推定されたものであり、地震動増幅倍率と相関が高く、地震被害想定に用いる広域震度分布の予測などにも地盤の揺れやすさを表す指標としてよく用いられている [15]。

基盤面での地震動強さの補間にあたっては、他機関の地震被害推測システムなどで用いられた実績のある 3 つの手法(Inverse Distance Weighted 法、Minimum Curvature 法、Kriging 法)を整理し、既往地震の地震動分布を推計して適用性を比較検討した。その結果、震源情報が必要となるものの、補間精度が高く演算量も比較的少ない Kriging 法を採用した。

システム内の実際の演算では、公開されている地震動分布の推計シミュレータ RASMO[16]を用いている。RASMO は、高速道路構造物の被害推測 [17]などに用いられている Simple Kriging 法 [18]を採用し、トレンド成分を距離減衰式で期待値として評価し、残差成分を観測値にて補間する手法となっている。基盤面におけるトレンド成分の推計には、片岡ら [19]が求めた地震動予測式を用いている。

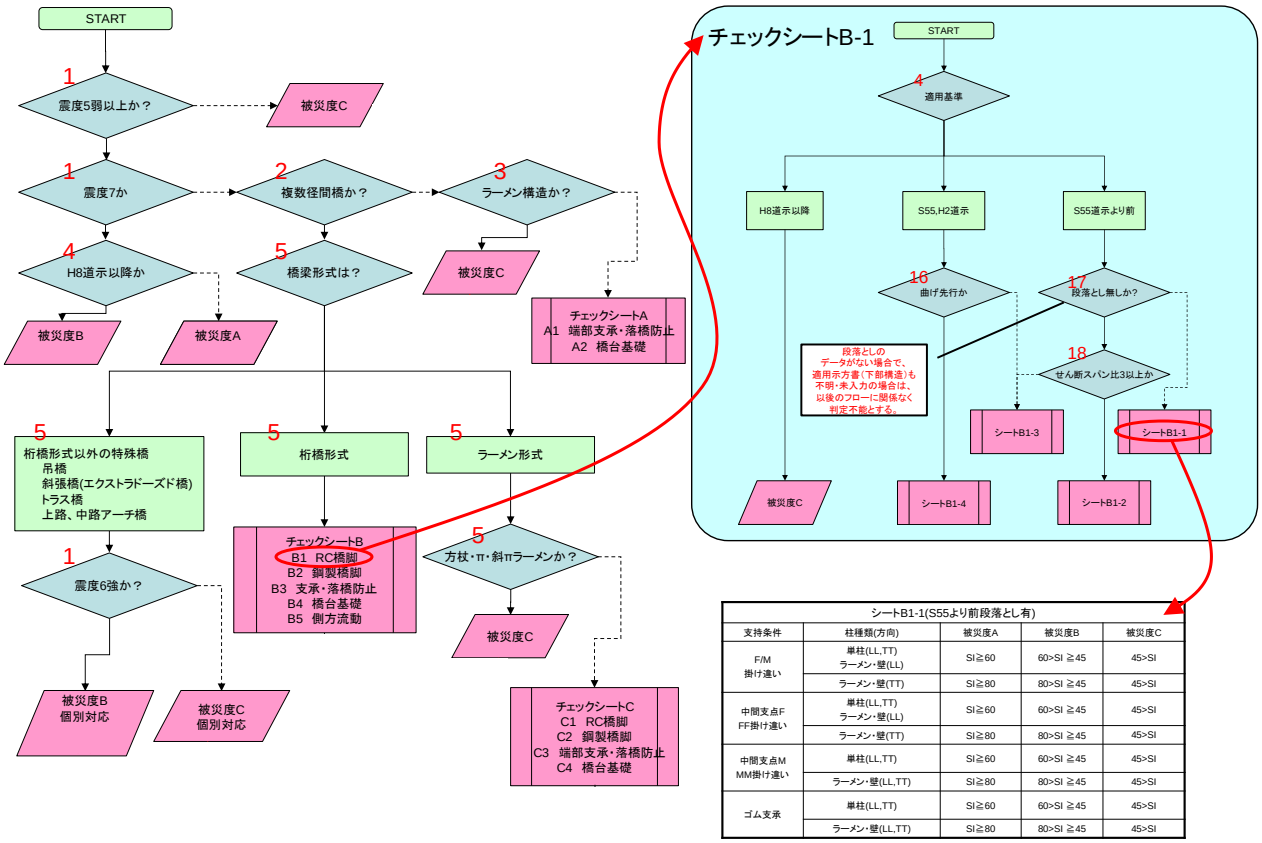
なお、本システムにより地震動分布の推計までに要する時間は、地震の規模によって異なるが、地震発生から概ね 20～30 分程度となっている。

d)構造物被害の推測

構造物の被害推測は、道路橋、盛土を対象に実施しており、既往地震の被災データに基づいて提案された手法[20), 21)]を用いている。それぞれの被害推測に用いる地震動指標は、道路橋梁：計測震度およびS I値、盛土：計測震度、である。

道路橋および盛土の被災度の評価は、道路震災対策便覧[22)]に従いA、B、Cに分類しており、それぞれ以下の通りである。

A：大被害…橋梁では耐荷力の低下に著しく影響のある損傷が想定され、落橋などの致命的な被害が想定される場合。盛土では全面的な崩壊が想定




シートB1-1(S55より前段落とし有)

| 支持条件 | 柱種類(方向) | 被災度A | 被災度B | 被災度C |
|---|---|---|---|---|
| F/M 掛け違い | 単柱(LL,TT) ラーメン・壁(LL) | SI≧60 | 60>SI ≧45 | 45>SI |
| | ラーメン・壁(TT) | SI≧80 | 80>SI ≧45 | 45>SI |
| 中間支点F FF掛け違い | 単柱(LL,TT) ラーメン・壁(LL) | SI≧60 | 60>SI ≧45 | 45>SI |
| | ラーメン・壁(TT) | SI≧80 | 80>SI ≧45 | 45>SI |
| 中間支点M MM掛け違い | 単柱(LL,TT) | SI≧60 | 60>SI ≧45 | 45>SI |
| | ラーメン・壁(LL,TT) | SI≧80 | 80>SI ≧45 | 45>SI |
| ゴム支承 | 単柱(LL,TT) | SI≧60 | 60>SI ≧45 | 45>SI |
| | ラーメン・壁(LL,TT) | SI≧80 | 80>SI ≧45 | 45>SI |

図-Ⅵ.12.3.1.3　橋梁の被害推測フロー[11)より抜粋]

される場合。

B：中被害…橋梁では耐荷力の低下に影響のある損傷が想定されるが、余震や活荷重など被害を進行させる要因がなければ、当面は利用可能であると想定される場合。盛土では部分的な崩壊が想定される場合。

C：小被害…橋梁では短期的には耐荷力の低下の影響は想定されない場合。盛土ではごく一部の変状が想定される場合。

また、施設被害に影響が大きい地盤の液状化についても、設計に用いられる値を推定する手法[23]で推測を実施しており、推計される最大加速度に応じて、液状化の危険度大、危険度小、危険性無し、と評価をしている。

道路橋梁の被害推測の流れを図-Ⅵ.12.3.1.3に示す。道路橋梁の被害推測では、最初に個別の構造物位置での震度階に応じて被害推測対象か否かのスクリーニングを行う。その上で橋梁の構造形式(径間数、橋梁形式など)および設計に用いられた基準の年次(一般に新しい基準で設計された橋梁ほど高い耐震性能を有する)による場合分けを行い、SI値による評価を行う。震度7のエリアに位置する橋梁は、場合によらず被災度B以上と評価している。

なお､被害推測フローに基づく構造物の評価は、被害推測を行う全ての構造物に対して予め行っており、各構造物の被災度に対応する地震動指標の閾値を取りまとめている。これにより、地震発生時は、施設位置での地震動指標値と閾値の比較のみで被災度を推測する演算時間の短縮を図っており、推計地震動分布の演算終了とほぼ同時に推測結果の閲覧が可能である。

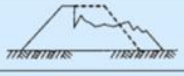
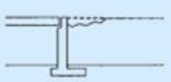
さらに、構造物の被災度の推測については、本研究としても精度向上を図っている。以下に道路盛土で改良を行った例を示す。2004年新潟県中越地震および2011年東北地方太平洋沖地震で発生した多数の道路盛土の被災事例をもとに、被災しやすい構造的要因を抽出するとともに、地震動強さと道路盛土の被災度の関係を分析した。平地と傾斜地では盛土の被災パターンが異なる[22]ため、平野、台地部と丘陵部の2つに分類し、被災データを整理した。

表-Ⅵ.12.3.1.1は、平野、台地部の道路盛土の被災パターンを示したもので、各地震の被災件数と

**表-Ⅵ.12.3.1.2　地震動強さと道路盛土の被災度の関係**

| 道路構造タイプ | | | | 震度 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 地盤条件 | 盛土構造 | 盛土高さ | | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
| 軟弱粘性土地盤 | 盛りこぼし形状 | 5m未満 | | － | － | － | － | Ⅱ-B (V-C) | Ⅱ-A (V-B) |
| | | 5m以上 | | － | － | (V-C) | Ⅱ-B (V-B) | Ⅱ-A (V-B) | Ⅱ-A (V-A) |
| | 壁 腰積み擁壁 ブロック積み擁壁 | 擁壁高3m未満 | 5m未満 | － | － | － | － | Ⅱ-B | Ⅱ-B (V-C) |
| | | | 5m以上 | － | － | － | Ⅱ-B (V-B) | Ⅱ-B (V-B) | Ⅱ-B (V-B) |
| | | 擁壁高3m以上 | 5m未満 | － | － | － | － | － | － |
| | | | 5m以上 | － | － | － | － | Ⅱ-B (V-C) | Ⅱ-B (V-B) |
| 液状化地盤（砂質土・礫質土） | 盛りこぼし形状 | 5m未満 | | － | － | － | Ⅱ-B (V-C) | Ⅱ-B (V-C) | Ⅱ-A (V-B) |
| | | 5m以上 | | － | － | － | Ⅰ-B (V-C) | Ⅱ-A (V-B) | Ⅱ-A (V-A) |
| | 壁 腰積み擁壁 ブロック積み擁壁 | 擁壁高3m未満 | 5m未満 | － | － | － | Ⅰ-C (V-B) | Ⅰ-C (V-B) | Ⅱ-B (V-B) |
| | | | 5m以上 | － | － | － | Ⅰ-C (V-C) | Ⅰ-B (V-B) | Ⅱ-B (V-B) |
| | | 擁壁高3m以上 | 5m未満 | － | － | － | Ⅰ-B | Ⅱ-B | Ⅱ-B (V-B) |
| | | | 5m以上 | － | － | － | Ⅰ-B (V-B) | Ⅰ-B (V-B) | Ⅱ-A (V-B) |

**表-Ⅵ.12.3.1.1　平野・台地部の道路盛土の被災パターン・被災区分** [13]に加筆

| 被災パターン | 被災模式図 | 被災度 | 被災度の説明 |
|---|---|---|---|
| Ⅰ型 |  | B | 亀裂幅15cm以上または段差量20cm以上 |
| | | C | 亀裂幅15cm未満または段差量20cm未満 |
| Ⅱ型 |  | A | 亀裂幅30cmをこえ，かつ段差量50cm未満をこえたもの |
| | | B | 亀裂幅30cmを以下または段差量50cm以下 |
| Ⅴ型 |  | A | 沈下量50cm以上 |
| | | B | 沈下量20cm以上，50cm未満 |
| | | C | 沈下量20cm未満 |

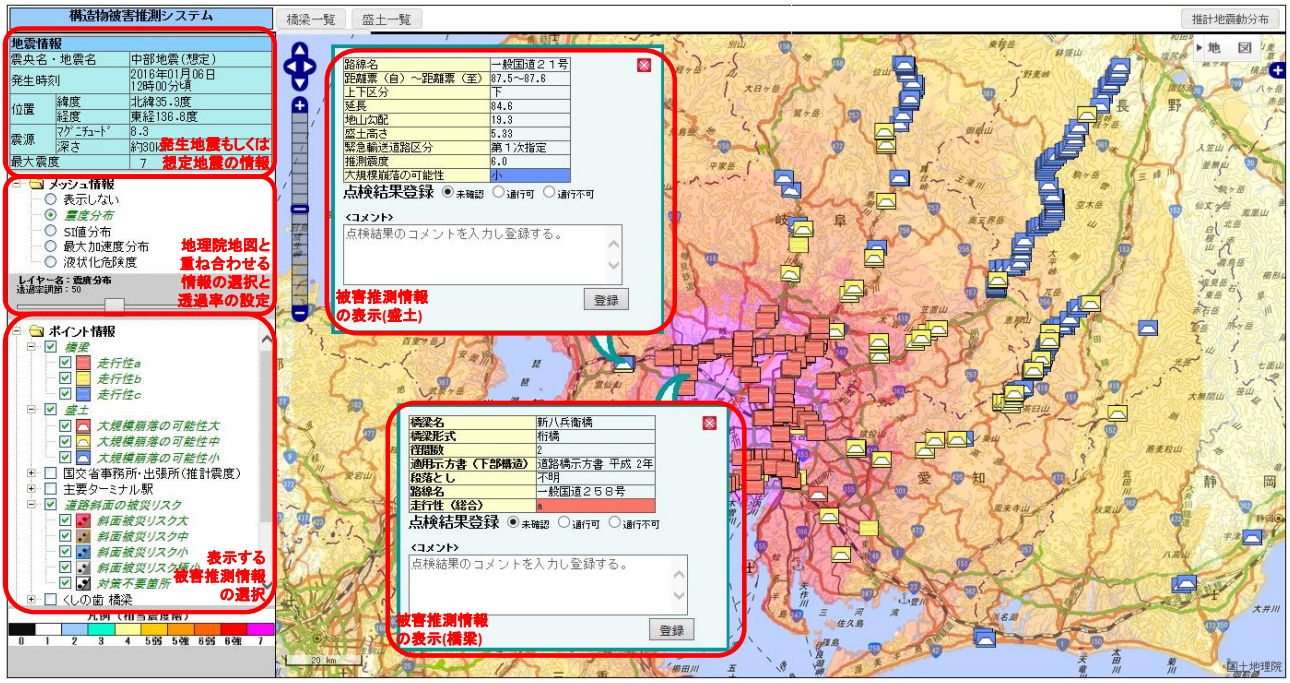



図-Ⅵ.12.3.1.4 「即時震害推測システム」の基本画面イメージ

被災パターンの被災度別の関係を検討した。その結果、基礎地盤条件、盛土構造(盛りこぼしか擁壁か)および盛土高さと被災度との関連が強いことがわかったため、これらの条件で被災事例を分類した上で、被災した盛土位置での地震動強さと被災パターン、被災度との関係を表-Ⅵ.12.3.1.2のように整理した。

本表を用いることで、盛土構造と地震発生直後に推計した地震動強さから、道路盛土の被災度を迅速に推測することができる。今後、他の施設についても同様の分析を進めるとともに、地震ごとの被害の特徴を考慮するなどの高精度化を図る。

e)斜面構造の地震被災リスクの表示

道路に面している斜面構造は、地震により通行に支障をきたす被害を度々生じている。しかしながら、斜面構造の地震に対する被災評価は、多様な斜面特性や地震発生前の降雨状況などが大きな影響を及ぼすことが知られており、地震被害を推測する一般的な手法が確立されていない。

このため､本システムでは､道路斜面を対象に、地震に対する被害発生のリスクとして、防災カルテ点検時[24]に、近年における崩壊の痕跡や不安定岩塊があるなど「要対策」と判定された斜面を対象に､震度に応じたリスク(震度７:被災リスク「大」、震度６強:被災リスク「中」､など)を表示している。

f)システムの操作

システムの基本画面を図-Ⅵ.12.3.1.4に示す。画面左側には、発生した地震の諸元、地図と重ね合わせて表示する地震動指標(計測震度、SI値、最大加速度)の選択、表示する被害推測対象(橋梁、盛土、斜面)の選択ダイヤログを配している。地図上に表示された、構造物アイコンをクリックすると構造物諸元として、橋梁では橋梁形式、径間数、適用示方書など、盛土では盛土高さ、勾配などの情報を確認することができる。

また、実際の災害時に順次入ってくる情報として、CCTVの画像から判断された状況や巡視点検で得られた情報などに基づく、通行の可否やコメントを記載することができる。

また､本システムでは､任意の地点を震源とし、深さ、マグニチュードを設定することで、基盤面における地震動の距離減衰特性および表層地盤の増幅倍率を踏まえた地震動分布の推計結果、ならびにそれに基づく被害推測結果を表示する機能を有している。

これにより、構造物の形式や耐震設計レベル等のデータ整備を行うことで、容易に様々なタイプの地震に対する被害想定を行うことができる。この機能は、防災訓練のシナリオづくりなどへの活用が可能と考えている。

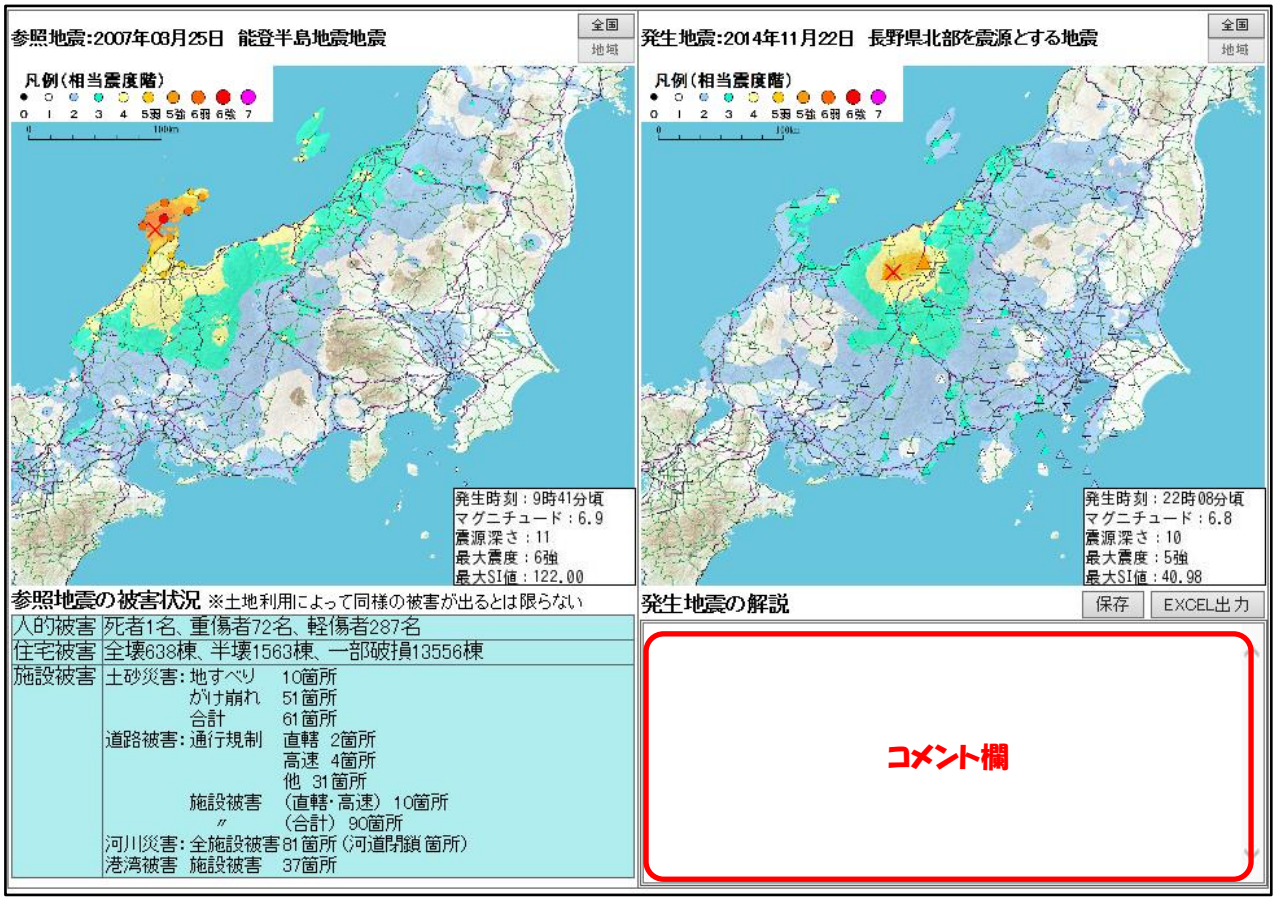



図-Ⅵ.12.3.1.5　参照地震情報の例

### Ⅳ.12.3.4　現場での活用を踏まえた機能実装

本システムの開発にあたっては、地方整備局の防災関係部署(道路管理課など)と連携を図り、被害推測情報の災害対応現場の実務での活用を踏まえた機能、情報提供画面の作り込みを行った。その際、本システムのデモ機による機能、情報提供画面を提示するとともに、災害対応の流れを鑑みた課題などの抽出を行った。本調査を通じて構築した機能の一部を紹介する。

a)「参照地震情報」の抽出・表示

国総研では、地震が発生した際(その時発生した地震を「発生地震」と呼ぶ)、既往地震の中から、地震特性(震源のタイプ(海溝型、活断層型)、地震動の強さと広がり、都市域もしくは沿岸地域などの地震の発生地域)が類似する地震(これを「参照地震」と呼ぶ)を抽出し、「発生地震」の諸元と「参照地震」の諸元および被害状況などを取りまとめた「参照地
震情報」を作成している[25]。

本システムには、地震後30分程度で「参照地震」を自動で抽出し「参照地震情報」を作成する機能を有している。抽出は、250mメッシュで推計したSI値を用い、その大きさに応じたメッシュ数による近似性の評価を行い、「参照地震」の候補となる既往地震を３つ示し、ユーザーが地震の発生地域などを踏まえた選択をすることで「参照地震情報」が作成される。

図-Ⅵ.12.3.1.5に2014年11月22日に長野県北部を震源とする地震（気象庁マグニチュード6.7、最大震度6弱)が発生した際の、本システムでの「参照地震」の抽出および「参照地震情報」の作成例を示す。

地震の規模、震源深さ、地震動の広がりが類似し、近接する地域で発生した地震として、平成19年能登半島地震を抽出し、その際の被害概況などを表示している。なお、本画面はエクセル形式で保存することができ、「発生地震」と「参照地震」の比較に基づくコメントなどをユーザーが記載することができる。

本システム内には、「参照地震」の候補として、1968年十勝沖地震以降に発生した比較的最大震度の大きい38地震を「被害地震情報カタログ」としてデータベース化している。「被害地震情報カタログ」ではそれぞれの地震特性として、震源のタイ

プ(海溝型、活断層型)、地震動の強さとその広がり、地震の発生地域(都市域、山間地、沿岸地域など)をまとめている。また、併せてそれぞれの地震の人的被害、住宅被害、施設被害(土砂災害、道路被害、河川被害、港湾被害)を整理している。

「参照地震情報」は、「発生地震」の被害状況を直接推測するものではないが、「参照地震」の被害概況および当時の災害対応を踏まえることで、支援要員の派遣や復旧に要する資機材の手配などの意思決定を支援する。

b)道路啓開難易度の評価および表示

東日本大震災では、津波により甚大な被害が発生した沿岸部への輸送道路をくしの歯型に緊急啓開する「くしの歯作戦」[26]が有効に機能したことから、南海トラフ地震による被害が懸念される地域の整備局などでは同様の計画が策定されている[3]。

「くしの歯作戦」は、高速道路などの広域支援ルートを確保するSTEP1、沿岸被災地へのアクセスルートを複数確保するSTEP2、津波ガレキ除去などにより沿岸ルートの道路啓開を行うSTEP3、の三段階からなる。

本システムは、地震に対する施設被災の評価を行うことから、STEP1およびSTEP2の対象路線に位置する橋梁、盛土、斜面の地震被害の推測を行う。特にSTEP2の対象路線に関する推測では、路線毎の被害箇所数とその程度を踏まえ、路線毎の道路啓開の難易度を評価し、図-Ⅵ.12.3.1.6に示す形で表示する機能を付与した。

c)CCTVカメラの抽出・表示

CCTVカメラは、平常時の施設保全をはじめ、災害発生後の被災箇所の管理、監視を行うツールとして広く使われており、Ⅳ.12.2「東日本大震災における道路管理者の対応の記録」でも、地震後に配信されたCCTVの映像を頼りに津波の状況を把握する実態などが明らかになっている。

国土交通省では所管施設の沿線などに20,000台を越えるカメラが設置されており、機器の廉価化やネットワーク化により、さらなる設置数の増加とともに災害時の状況把握ツールとして期待されている。

しかしながら、地震発生直後における迅速かつ網羅的な状況把握ツールとしてのCCTVカメラの活用には、現場職員の平常時を踏まえた豊富な経験などに依存[27]している。さらに、CCTVカメラで確認された状況を共有する仕組みがないため、災害対応場面に応じて複数の職員が繰返し同じカ

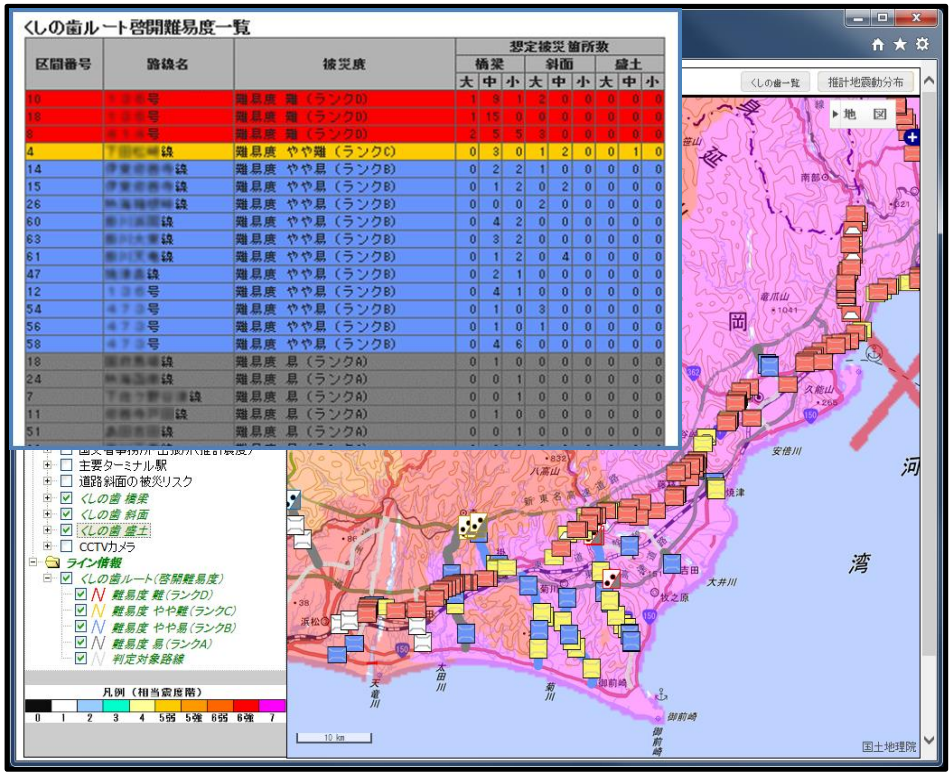



図-Ⅵ.12.3.1.6　被害推測による「くしの歯作戦」ルートの評価結果の表示

メラの映像を確認している等の状況が生じている。

また、通信ケーブルの破断・停電による機器の停止などに起因するCCTVの活用にあたっての問題点も明らかとなっている。

ハード面での対策については、順次、通信ケーブルの冗長化、バッテリーなどによる無停電化が進んでいる。

一方、南海トラフ地震など、被災エリアが広域となる災害では、地震時に見るべきカメラの数が膨大となり、CCTVを活用した状況把握の効率化が求められる。

このため、本システムでは、推計された地震動分布にCCTVカメラ位置を重ね合わせ、点検すべき地震動(一般的に震度4以上)の発生箇所のCCTVカメラを抽出する機能を具備した。

CCTVカメラにより確認された施設状況などはシステムに記録することができ、異常が認められたカメラは地図上のアイコンが着色される。これにより、現地からの点検結果報告が入手できない場合でも、被災箇所の概況把握が可能になる。

d)その他の機能

上記の他、地震発生直後に現地支部庁舎の被災や対応に当たる職員などの状況を推察することを目的とした推計地震動分布と管理事務所、出張所の位置を重ね合わせ、庁舎位置の地震動強さを把握する機能などを有している。

## Ⅳ.12.3.5　まとめ

地震発生直後の情報の少ない段階において施設管理者などの意思決定を支援することを目的に、地震観測記録からインフラ施設被害を推測し、提供する､「即時震害推測システム」の開発を行った。

開発にあたっては、地方整備局との意見交換などを踏まえ、基本的な機能に加え、災害時の意思決定支援に資するいくつかの機能を備えた。

本開発成果は、今後、地方整備局などの災害対応の現場への普及を図っていく予定である。

また、Ⅳ.5.3 で紹介されている、センサーを用いた道路橋などの異常や通行障害に関する情報や断片的な点検情報等、地震発生後に得ることが出来る様々な情報を組み合わせることで、より確度の高い情報を提供する仕組みについての研究、開発を進めていく。

謝辞：「即時震害推測システム」の開発にあたっては、中部地方整備局企画部防災課各位、道路部道路管理課各位に資料提供および種々の意見を頂いた。記して謝意を表する次第である。

参照文献

1) 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏：大規模広域型地震被害の即時推測技術に関する研究､土木技術資料､第54巻､第1号､pp.64-65、2012
2) 関東地方整備局ウェブサイト:首都直下地震道路啓開計画(初版)、http://www.ktr.mlit.go.jp/road/bousai/index00000002.html (2016年1月28日閲覧)
3) 中部地方幹線道路協議会、道路管理防災・震災対策検討分科会:「中部版 くしの歯作戦」(平成26年5月改訂版)【道路啓開オペレーション計画】、2014.5
4) 長屋和宏、山田明彦、小路康広：道路巡視点検状況把握システム「みちパト」の開発、土木技術資料、第51巻、第3号、pp28-31、2009
5) 国土交通省ウェブサイト：TEC-FORCE (緊急災害派遣隊) http://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/index.html (2016年1月28日閲覧)
6) 境有紀、 纐纈一起、 神野達夫： 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、 No.555, pp.85-91、2002.05.
7) 防災科研ウェブサイト：強震観測網(K-NET、KiK-net) 、http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/ (2015年11月6日閲覧)
8) 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏、中村洋光、功刀卓、青井真：強震記録に基づく地震動分布即時推定システムの構築、土木技術資料、第55巻、第4号、pp.18-21、2013
9) 気象庁ウェブサイト：推計震度分布図、http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/ (2015年11月6日閲覧)
10) 柿下毅：気象庁の新しい震度情報－推計震度分布－、震災予防、No.186、2002.
11) 地震ハザードステーション J-SHIS ウェブサイト：http://www.j-shis.bosai.go.jp/ (2015年11月6日閲覧)

12) 藤本一雄、翠川三郎：近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係、日本地震工学会論文集、Vol.6、pp.11-22、2006.
13) 末冨岩雄、石田栄介、磯山龍二：空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討、第28回地震工学研究発表会報告集、8p、2005.
14) 若松加寿江、松岡昌志、久保純子、長谷川浩一、杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築、土木学会論文集、No.759/I-67、pp.213-232、2004.
15) 若松加寿江、松岡昌志：全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用、日本地震工学会誌、No.18、pp.33-38、2013.
16) 防災科研川崎ラボラトリーウェブサイト：http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/daidaitoku/software.html (2013年4月1日閲覧)
17) 山崎文雄、大西淳一、田山聡、高野辰雄：高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.3491-3496 、1998.
18) 野田茂、星谷勝：条件付き確率場の補間法に関する一提案、鳥取大学工学部研究報告、Vol. 28、pp. 175-197、1997
19) 畑明仁、片岡 正次郎：2011 年東北地方太平洋沖地震による橋梁被害のマクロ分析、第35回土木学会地震工学研究発表会、2015
20) 小林寛、運上茂樹: 大地震時における道路橋の被災度推定手法、土木技術資料、第 47 巻、第12号、pp.48～53、2005
21) 土木研究所: 道路盛土の簡易耐震性評価法(案)、2003
22) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編)平成18年度改訂版、2007
23) 長屋和宏、日下部毅明、真田晃宏: 東北地方整備局における即時震害予測システム(SATURN)の開発、土木技術資料、第47巻、第9号、pp.155～160、2005
24) (社)道路保全技術センター: 防災カルテ作成・運用要領、平成8年12月
25) 運上茂樹、高宮進、片岡正次郎、長屋和宏: 地震発生直後の概略被害状況の推測、国総研レポート2011、p47、2011.3
26) 国土交通省東北地方整備局：災害初動期指揮心得、pp.61～65、2013.3
27) 長屋和宏、真田晃宏、日下部毅明、小路泰広：国交省地震計ネットワークとCCTVカメラネットワークの連携による被災状況確認迅速化に関する検討、震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関するシンポジウム、2007.3

## Ⅳ.12.4　低頻度激甚災害に対する危機管理方策を検討する手法の開発

東日本大震災のような低頻度激甚災害に対しても、災害の影響を最小化する危機管理を行えるための方策として、災害発生シナリオ（以下、シナリオという。）の構築手法（設定した外力に対してどのような支障が生じるか発想して整理）、災害リスクの重大性評価手法（リスクマトリクス手法を用いたリスクの起こりやすさ、深刻さによる定量的な説明）、及び危機管理方策検討・評価手法（対策メニュー及び対策の優先順位の検討）を体系的に整理した。

また、このような危機管理方策検討を高品質、効率的に実施するための災害リスクアセスメント手法として事例集、チェックリスト等からなるツールキット（以下、本手法をツールキットと称す）を開発した。

なお、地震と洪水の複合災害に関するケーススタディーについては、Ⅳ.4.2 地震と洪水の複合災害に関する研究を参照されたい。

### Ⅳ.12.4.1　研究の概要

図-Ⅳ.12.4.1 に示す通り、本研究の主要な研究項目は、シナリオの構築手法、及びハード・ソフト技術を組み合わせて災害の影響を最小化する危機管理方策の検討手法の開発である。手法全体は、リスクマネジメント（以下、RM という。）の体系を参考にしている。本稿で紹介するシナリオの構築手法は、RM の中のリスクアセスメントの手順として妥当な手法を提案しようとしたものである。体系化された RM の手法に準拠することによって、作業の効率性と品質、取り組みの継続性を確保しようとしている。

そこで、本手法の紹介の前に、RM についてまず簡単に紹介する。なお RM に関する記述は、紹介する手法の趣旨の説明のためであるため、適宜単純化・簡略化している。

### Ⅳ.12.4.2　リスクマネジメントの導入

(1)RM の概要

RM は用語としては普及していると考える。ところが実際には方法論は何であれ何らかのリスクを管理するという程度に漠然と捉えられていることも多い。ここでは、ISO31000 として基準化がなされている RM が念頭にある。その概念を筆者なりに簡略化して示したのが図-Ⅳ.12.4.2 である。RM の手順の中でもリスクアセスメントは比較的よく用いられる。リスクを特定し、リスク分析を行うことでリスクの特質を理解し、リスクを評価する。言葉の上では単純だが、どうすれば以下の３つの課題を解決できるかという問に直面し簡単ではない。

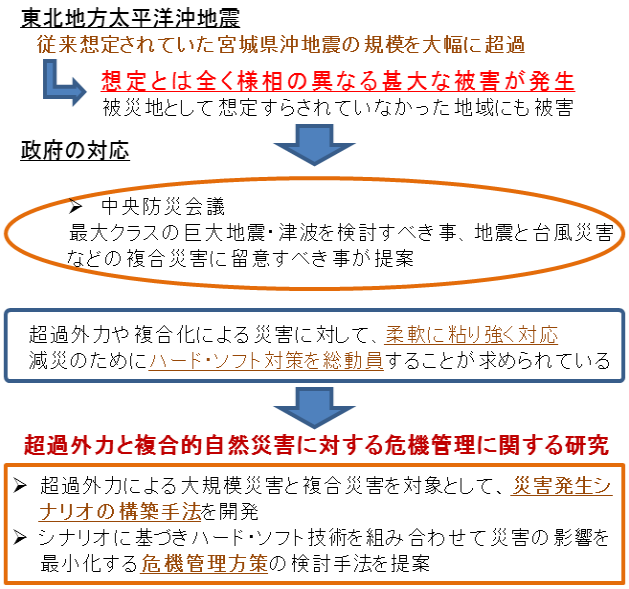
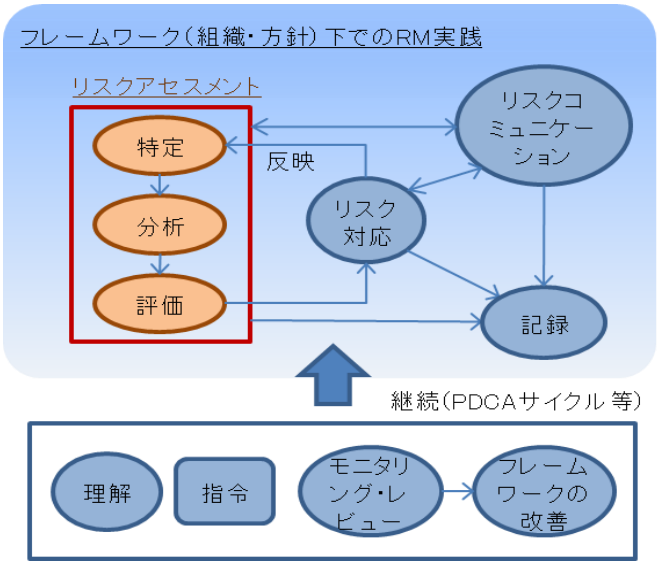



図-Ⅳ.12.4.1　背景と研究内容

また、RM は管理ということであるから、当然これでは終わらない。ISO31000 の用語の定義として「リスクについて組織を指揮統制するための調整された活動」(JIS Q0073)とある。リスクコミュニケーション、リスクへの対応、記録、及びモニタリング・レビューなどが継続的になされ、リスクそのものだけではなくリスクを管理する組織運営も含め、継続的に改善されることまで RM には含まれる。次に紹介するのは、主にリスクアセスメントにおけるリスク特定の部分に相当する。

(2)RM 実施の全体的な手順

災害に関する RM においては、どのような災害が発生しうるかを網羅的に具体化することが、リスクの特定に相当する。本研究で提案した手法における災害リスクのアセスメント手法について、イメージを図-Ⅳ.12.4.3 に示す。①がリスクの特定に、②及び③がそれぞれ分析と評価に概ね対応する。作業としては、道路、河川など適宜分けられたグループで、各種のツール（後述）を活用しながら議論（さらにはグループ間、全員でも議論）し、シナリオを描き、これを評価し、対策を検討することになる。以下、ツールキットの構成、機能について段階的に説明を行う。




適切・網羅的にリスクを見つけ出し、認識を共有できるように表現する（特定）

- リスクの起こりやすさや深刻さ等の特質をなるべく定量的に理解・表現する（分析）
- リスク分析結果に応じ適切に対応の必要性や優先度を決める（評価）

図-Ⅳ.12.4.2　リスクマネジメントの概念図

### Ⅳ.12.4.3　災害発生シナリオの構築手法

シナリオの構築手法はリスク特定に相当し、作業イメージを図-Ⅳ.12.4.3に示す。シナリオ構築の作業は、さらに以下に説明する3つのプロセスに細分化される。各プロセスでは、議論の質を高める、効率を高めるなどといった目的で作成したツールを用いる。

プロセス1では、地図を見ながらブレーンストーミングによって施設の被害を抽出する。さらに、そこから生じる施設の持つ機能への支障（基盤機能支障と呼んでいる）を考察し、一般の人々の暮らしや社会経済への支障（生活・経済支障と呼んでいる）への波及を考察し、支障発想シートに書き込む（図-Ⅳ.12.4.4 上部）。

プロセス 2 ではこれを所定の書式に整理する（図-Ⅳ.12.4.4 下部）。続くプロセス 3 では、想定外の外力によって発生しうる事象（図-Ⅳ.12.4.5）を重点的に検討し、シナリオに追加する。

### Ⅳ.12.4.4　災害リスクの重大性評価手法

(1)重大性評価手法

災害リスクの重大性評価は図-Ⅳ.12.4.3 の②「被害から波及する支障の重大性を評価」に概ね相当する。リスク分析手法は、自然災害に適用されたものについて整理し、リスクレベルが段階的に設定され、客観性

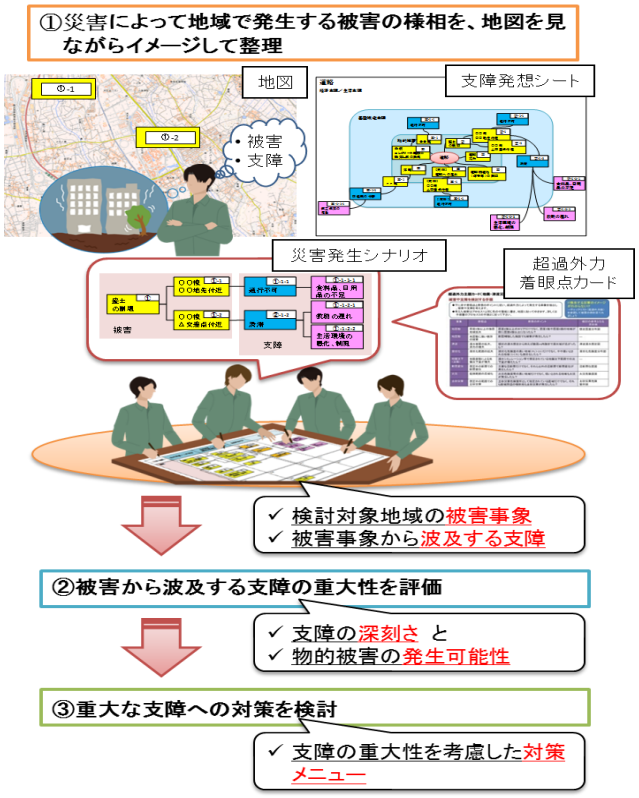



図-Ⅳ.12.4.3　災害発リスクアセスメントの具体的実施イメージ

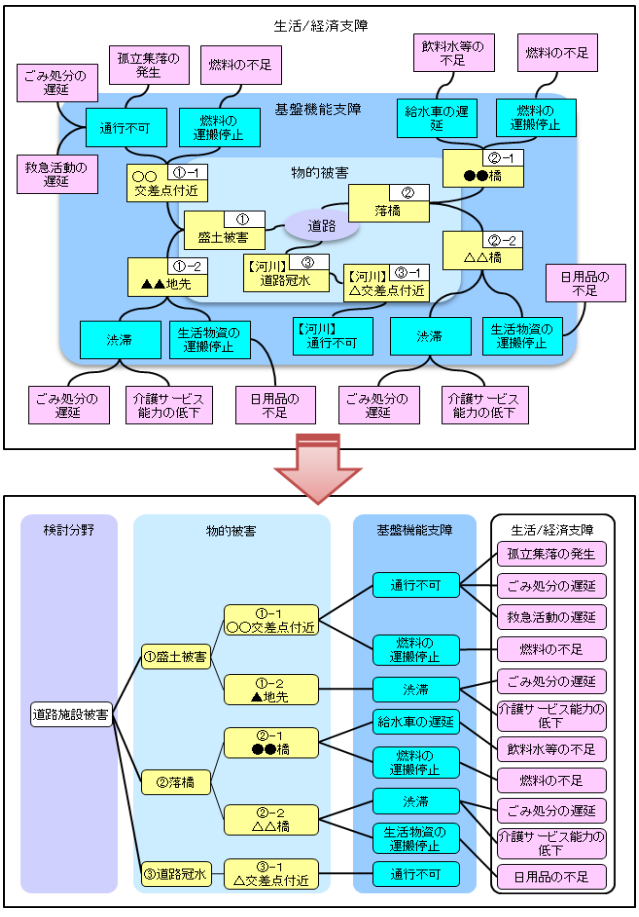
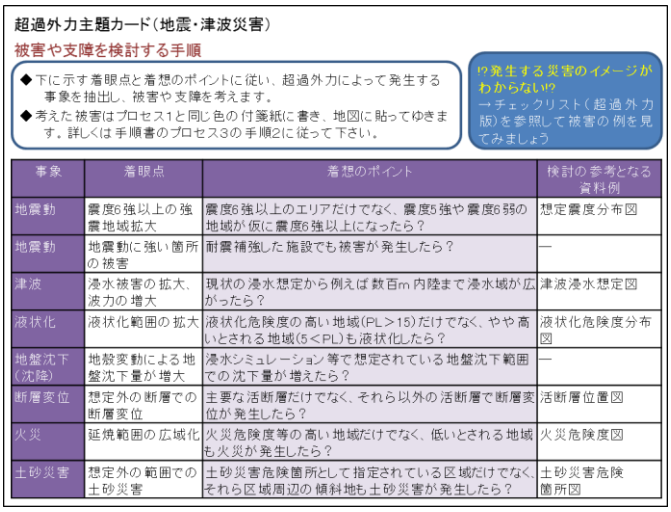



図-Ⅳ.12.4.4　災害発生シナリオの構築

が有り且つリスクの程度を把握することが可能なリスクマトリクス法を使用した。



超過外力主題カード（地震・津波災害）

被害や支障を検討する手順

◆下に示す着眼点と着想のポイントに従い、超過外力によって発生する事象を抽出し、被害や支障を考えます。
◆考えた被害はプロセス1と同じ色の付箋紙に書き、地図に貼ってゆきます。詳しくは手順書のプロセス3の手順2に従って下さい。

⁉発生する災害のイメージがわからない⁉
→チェックリスト（超過外力版）を参照して被害の例を見てみましょう

| 事象 | 着眼点 | 着想のポイント | 検討の参考となる資料例 |
|---|---|---|---|
| 地震動 | 震度6強以上の強震地域拡大 | 震度6強以上のエリアだけでなく、震度5強や震度6弱の地域が仮に震度6強以上になったら？ | 想定震度分布図 |
| 地震動 | 地震動に強い箇所の被害 | 耐震補強した施設でも被害が発生したら？ | — |
| 津波 | 浸水被害の拡大、波力の増大 | 現状の浸水想定から例えば数百m内陸まで浸水域が広がったら？ | 津波浸水想定図 |
| 液状化 | 液状化範囲の拡大 | 液状化危険度の高い地域（PL＞15）だけでなく、やや高いとされる地域（5＜PL）も液状化したら？ | 液状化危険度分布図 |
| 地盤沈下（沈降） | 地殻変動による地盤沈下量が増大 | 浸水シミュレーション等で想定されている地盤沈下範囲での沈下量が増えたら？ | — |
| 断層変位 | 想定外の断層での断層変位 | 主要な活断層だけでなく、それら以外の活断層で断層変位が発生したら？ | 活断層位置図 |
| 火災 | 延焼範囲の広域化 | 火災危険度等の高い地域だけでなく、低いとされる地域も火災が発生したら？ | 火災危険度図 |
| 土砂災害 | 想定外の範囲での土砂災害 | 土砂災害危険箇所として指定されている区域だけでなく、それら区域周辺の傾斜地も土砂災害が発生したら？ | 土砂災害危険箇所図 |

図-Ⅳ. 12. 4. 5　超過外力主題カード

(2)重大性評価

シナリオに記載した各支障を図-Ⅳ.12.4.6 に示す支障・重大性・対策シートに転記し、支障の原因となる被害の起こりやすさ（発生可能性）と、支障がどの程度地域に影響を及ぼすか（深刻さ）から、支障の重大さを検討する。発生可能性と深刻さは、何段階かの数値で評価し、掛け合わせることで支障の重大性として評価する。



対応目標：・人的被害につながる支障を発生させない

「災害発生シナリオ」から転記　　検討して入力

| 物的被害 | 場所 | 場所 | 基盤機能支障 | 生活支障 | 被害レベル | No. | 復旧箇所・範囲 | 重大性極高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 盛土被害 | ②-1 | ○○交差点付近 | 通行不可 | 孤立集落の発生 | 中 | A | ●●地先～××地先 | |
| 盛土被害 | ②-1 | ○○交差点付近 | 通行不可 | ごみ処分の遅延 | 中 | A | ●●地先～××地先 | |
| 盛土被害 | ②-1 | ○○交差点付近 | 通行不可 | 救急活動の遅延 | 中 | A | ●●地先～××地先 | |
| 盛土被害 | ②-1 | ○○交差点付近 | 燃料の運搬停止 | 燃料の不足 | 中 | A | ●●地先～××地先 | |
| 盛土被害 | ②-2 | ▲地先 | 渋滞 | ごみ処分の遅延 | 中 | B | ◎◎三丁目 | |
| 盛土被害 | ②-2 | ▲地先 | 渋滞 | 介護サービス能力の低下 | 中 | B | ◎◎三丁目 | |
| 盛土被害 | ②-2 | ▲地先 | 生活物資の運搬停止 | 日用品の不足 | 中 | B | ◎◎三丁目 | |
| 落橋 | ③-2 | △△橋 | 渋滞 | ごみ処分の遅延 | 大 | B | ◎◎三丁目 | |
| 落橋 | ③-2 | △△橋 | 渋滞 | 介護サービス能力の低下 | 大 | B | ◎◎三丁目 | |
| 落橋 | ③-2 | △△橋 | 生活物資の運搬停止 | 日用品の不足 | 大 | B | ◎◎三丁目 | |

図-Ⅳ.12.4.6　リスク分析・評価結果の整理表

### Ⅳ.12.4.5　危機管理方策検討・評価手法

(1)危機管理方策検討・評価の手法

危機管理方策検討・評価は図-Ⅳ.12.4.3 の③「重大な支障への対策を検討」に概ね相当する。危機管理方策を検討する際の着眼点として、ISO31000 に挙げられるリスク対応のうち、災害リスクを対象とする場合の適合性が高いと考えられるリスク源の除去、起こりやすさの変更、結果の変更の 3 項目を設定した。また、過去の大規模災害における危機管理対応を踏まえた改善事例には、制度・運用面、資金面、技術面等多面的な内容が含まれているが、本研究開発で作成する支援ツールの利用者として想定している施設管理者にとっての危機管理対応に資する整理とするため、技術面の対応についてのみ整理した。さらに、設定した着目点に対し、過去の大規模災害における危機管理対応を踏まえた改善事例等を元に、災害予防、応急対策、復旧復興の段階毎に対応策の視点を整理した。これらの観点を踏まえ、実施すべき対策メニューを検討し、その難易度や支障の重大性から対策の優先度を検討する。

(2)危機管理方策検討・評価の手順

前節で重大性が高いと評価された災害リスクを対象にツールキット評価のケーススタディーを実施した。段階毎に整理した視点を元に、近年の大規模災害時の対応事例等から具体的な対応方策を抽出し、国土交通省の施策として対応可能な方策かどうかを検討した。その結果、国土交通省の施策として対応可能な内容も含めて方策を挙げられたことが確認できただけでなく、自治体等の防災関係機関が対応する施策の場合でも、支援として国土交通省が参画できる施策が整理できた。さらに、本手法では必要な災害対応施策全体が明示されるため、各防災関係機関相互の連携による対応が重要であると認識できる検討結果が得られた。本手法については、今後、国土交通省のみならず自治体等への研修ツールとして広く普及を図る予定である。

### Ⅳ.12.4.6　ツールの概要

以上の手順により、大規模災害を考慮したシナリオを描けるわけであるが、本研究は手順だけを具体化するものではない。本手法により災害事例に対応した適切な被害想定、対策等の成果を得るためには、検討を支援する質の高いツール群が必要になる。これまでの記述の中に、ツール群の部分的な記述があるが、改めて、個々のツールについて紹介する。

ツールは、手順に従った検討において、作業を支援する手順書及び記入様式、並びに検討内容の質向上を支援する事象の印刷済み付箋集、事例集、及びチェックリスト等からなる。ツール作成には、過去の災害事例やケーススタディーの結果を活用している。上記のうち主なものを概説する。

(1)手順書

先に、手順を「器づくり」に例えたが、良い成果に

たどり着くために手順もまた重要である。手順書は、被害の様相を描くために検討に参加する者がなすべきことを理解できるよう、丁寧に順を追い、図を多用した。

(2)事例集

災害シナリオ構築におけるブレーントーミング等において、実際の災害事例を参考に発想できるように作成したものである。災害名と事象をリスト化したものの一覧表と過去の歴史的激甚災害を対象にした災害カタログ（図-Ⅳ.12.4.7）からなる。収録した災害は、国内外で過去から近年にいたる地震、火山、豪雨、土砂、高潮を対象とした。

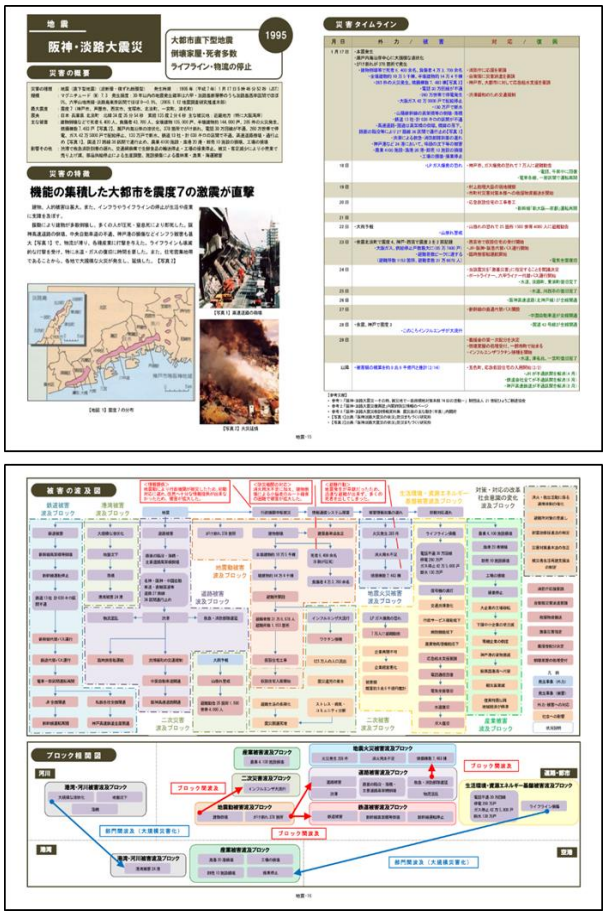



図-Ⅳ. 12. 4. 7　災害カタログ

(3)印刷済み付箋集、チェックリスト

作業を効率化するため、物的被害と基盤機能支障など、大規模災害において発生しそうな事象を、印刷済み付箋集として作成した。これはチェックリストの役割を兼ねる（使わずに残った場合、それで良いかを再検討する）。生活支障／経済支障については付箋ではなくチェックリストを準備した。

(4)超過外力着眼点カード

超過外力によって発生する被害事象や基盤機能支障を検討する際に、検討する上で着目すべき点や発想のポイントなどを災害種別毎に整理したカード（図-Ⅳ.12.4.5）を作成した。

### Ⅳ.12.4.7　試験的利用

ツールキットを国土交通省四国地方整備局及び中部地方整備局浜松河川国道事務所の協力を得て試行し、アンケートによる評価を受けたところ、訓練に参加した全員（１６名）が有効あるいはやや有効と答えており、災害対策事前検討ツールとしての活用可能性を有している事を確認した。主な活用方法に関する問いについては、防災に関する研修、訓練が最も多く、その他の用途として、災害対策の検討に有効との意見も見られた。また、個別コメントでは、ツールキットにより管理している施設に生じた被害が社会、経済活動に与える影響が把握出来た事、他者の意見を聞くことにより復旧等に関する考え方についての着眼点が広がる事の効果を上げていた。一方、ツールキットに関する改善点として、被災のイメージがつかみにくい部分があること、土地利用や重大な施設の分岐状況データ、経済支障や生活支障など、個人によって想定が大きく異なる条件を想起させる手段等の必要性について意見が出された。また、最終的にツールキットでの検討結果を実際の行政にどの様に反映していくかが不明等の課題があげられた。本ツールキットの目的である災害の発生、それによる被害、社会的影響、復旧計画の策定を疑似体験することを考慮すると、事務所の防災訓練時等における定期的な訓練実施とその結果の記録等への取り組みも必要と考えられる。なお、本ツールキットの検討においては、四国地方整備局及び中部地方整備局企画部、同浜松河川国道事務所には試験的利用への協力と貴重な意見をいただいた。また、関東地方整備局東京国道事務所からは、ブレーンストーミングによりリスクを特定し、対策を徹底的に検討した取り組みについての貴重な経験をご教示いただいた。どちらも本研究に欠くことのできない貢献であった。ここに記し、改めて深い感謝の意を表したい。

参照文献

1) 日下部毅明・木村祐二・稲沢太志、超過外力を考慮した災害シナリオと対策検討の支援手法の開発、土木技術資料、第 56 巻 第 9 号、P30～P33、2014 年 9 月、（一財）土木研究センター

2) 日下部毅明・松本幸司・稲沢太志・長井義樹・山本晶、超過外力を考慮した災害発生シナリオの構築手法の開発、国総研レポート 2015、P74、2015 年、国土技術政策総合研究所

3) 稲沢太志・神田忠士・松本幸司、大規模災害に対する危機管理方策検討手法の開発、日本道路会議論文集、第 31 回、No.2051、2015 年 10 月、（社）日本道路協会

4) 神田忠士・稲沢太志・松本幸司、大規模災害の災害対策検討支援ツールキットの作成、日本道路会議論文集、第 31 回、No.2051、2015 年 10 月、（社）日本道路協会

**参考文献**


1) 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏、大規模広域型地震被害の即時推測技術に関する研究、土木技術資料、第 54 巻、第 1 号、pp.64-65、2012 年.

2) 長屋和宏、山田明彦、小路康広、道路巡視点検状況把握システム「みちパト」の開発、土木技術資料、第 51 巻、第 3 号、pp.28-31、2009 年.

3) 境有紀、 纐纈一起、 神野達夫、建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、 No. 555、pp.85-91、2002 年 5 月.

4) 運上茂樹、金子正洋、片岡正次郎、長屋和宏、中村洋光、功刀卓、青井真、強震記録に基づく地震動分布即時推定システムの構築、土木技術資料、第 55 巻、第 4 号、pp.18-21、2013 年.

5) 柿下毅、気象庁の新しい震度情報－推計震度分布－、震災予防、No.186、2002 年.

6) 藤本一雄、翠川三郎、近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均Ｓ波速度の関係、日本地震工学会論文集、Vol. 6、pp.11-22、2006 年.

7) 末冨岩雄、石田栄介、磯山龍二、空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討、第 28 回地震工学研究発表会報告集、pp.8、2005 年.

8) 若松加寿江、松岡昌志、久保純子、長谷川浩一、杉浦正美、日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築、土木学会論文集、No.759,I-67、pp.213-232、2004 年.

9) 若松加寿江、松岡昌志、全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用、日本地震工学会誌、No.18、pp.33-38、2013 年.

10) 山崎文雄、大西淳一、田山聡、高野辰雄、高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案、第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.3491-3496、1997 年.

11) 野田茂、星谷勝、条件付き確率場の補間法に関する一提案、鳥取大学工学部研究報告、Vol.28、pp.175-197、1997 年.

12) 畑明仁、片岡 正次郎、2011 年東北地方太平洋沖地震による橋梁被害のマクロ分析、第 35 回土木学会地震工学研究発表会、2015 年.

13) 小林寛、運上茂樹、大地震時における道路橋の被災度推定手法、土木技術資料、第 47 巻、第 12 号、pp.48-53、2005 年.

14) 長屋和宏、日下部毅明、真田晃宏、東北地方整備局における即時震害予測システム(SATURN)の開発、土木技術資料、第 47 巻、第 9 号、pp.155-160、2005 年

15) 運上茂樹、高宮進、片岡正次郎、長屋和宏、地震発生直後の概略被害状況の推測、国総研レポート 2011、pp.47、2011 年 3 月.

16) 長屋和宏、真田晃宏、日下部毅明、小路泰広、国交省地震計ネットワークと CCTV カメラネットワークの連携による被災状況確認迅速化に関する検討、震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関するシンポジウム、2007 年 3 月.

17) 大橋幸子、竹谷修一、大規模地震災害における地域建設業の活動実態の特性と傾向、土木技術資料、第 55 巻.第 8 号、pp.42-45、平成 25 年 8 月.

18) 大橋幸子、竹谷修一、東日本大震災における応急復旧に関する災害協定の効果－地域建設業の活動実態を通じて－、土木技術資料、第 55 巻.第 7 号、pp.20-23 平成 25 年 7 月.

19) 大橋幸子、竹谷修一、渡辺健一、横井宏行、東日本大震災における地域建設業の初動にみる今後の災害対応の方向性、土木技術資料、第 55 巻.第 6 号、pp.34-37、平成 25 年 6 月.

20) 長屋和宏、山影修司、金子正洋、東日本大震災における道路管理者の対応の記録、土木技術資料、第 55 巻.第 4 号、pp.30-33、平成 25 年 4 月.

21) 長屋 和宏、片岡 正次郎、日下部 毅明、松本 幸司、震後対応における意思決定を支援する即時震害推測システムの開発、土木学会論文集 A1（構造・地震工学）、Vol.72. No.4、I_966-I_974、平成 28 年.

22) 日下部毅明、木村祐二、稲澤太志、超過外力を考慮した災害シナリオと対策検討の支援手法の開発、土木技術資料、第 56 巻.第 9 号、pp.30-33、平成 26 年 9 月.

23) 日下部毅明・松本幸司・稲沢太志・長井義樹・山本晶　超過外力を考慮した災害発生シナリオの構築手法の開発、国総研レポート 2015、pp.74、2015 年.
24) 大規模災害に対する危機管理方策検討手法の開発、第 31 回日本道路会議論文集、No.2051、平成 27 年 10 月.
25) 大規模災害の災害対応検討支援ツールキットの作成、第 31 回日本道路会議論文集、No.2P12、平成 27 年 10 月.

# Ⅳ.13　災害対応マネジメントにおける情報技術の活用

## Ⅳ.13.1　ETC2.0 プローブを用いた通行実績区間、区間旅行時間の把握

2011 年に全国の高速道路上を中心に約 1,600 箇所設置された ITS スポットやプローブサーバで構成される、ETC2.0 プローブ情報収集システム（図-Ⅳ.13.1.1）によって収集される車両の走行履歴などの ETC2.0 プローブ情報を使用することにより、各区間の通行実績や区間旅行速度を把握することができる。国総研は、これらの情報を道路管理者が容易に閲覧することが可能な ETC2.0 プローブ情報利活用システムを構築した。

ETC2.0 プローブ情報利活用システムは、ETC2.0 プローブ情報の収集・保管を行っているプローブサーバからオンラインで情報を収集し、アプリケーションで集計・加工し閲覧できるようにしている。道路管理者はイントラを通じてアプリケーションを操作し、必要な集計結果を閲覧、利用することができる。

システムの構築にあたって、現在実施されている道路管理者の業務プロセスを分析し、優先的に開発する機能を選定し実装した。その中から以下の２つの機能を紹介する。

(1) 時空間速度図作成機能

この機能での出力例を図-Ⅳ.13.1.2 に示す。この機能は、指定した路線の区間別・時間帯別に平均旅行速度の集計結果を帳票形式に出力するとともに、模式図（時空間速度図）を作成する機能である。

(2) 旅行速度地図表示機能

この機能での表示例を図-Ⅳ.13.1.3 に示す。この機能は、任意の日時、期間、地域（都道府県単位等）の区間別旅行速度を、1 時間単位、昼夜別、平休日別、月別等で集計して速度階級別に地理院地図に表示することで、旅行速度を面的に捉えられる機能である。また、同様に通行車両台数も台数階級別に地理院地図に表示する事ができ、各路線の利用状況を面的に捉えることが可能である。

上記で紹介した機能は、災害時の道路状況把握にも使用が可能である。東日本大震災では、地震、津波により多く道路が不通となり、救助等の際に通行可能な道路の把握が難しかった。しかし、上記の機能等を活用することにより、区間ごとの車両の通行実績が得られ、この情報から通行可能経路の推測が可能となる。

このように、道路管理者とともに ETC2.0 プローブ情報を有効に活用する方法を検討および実践する事により、利用者や地域に還元していく事としている。

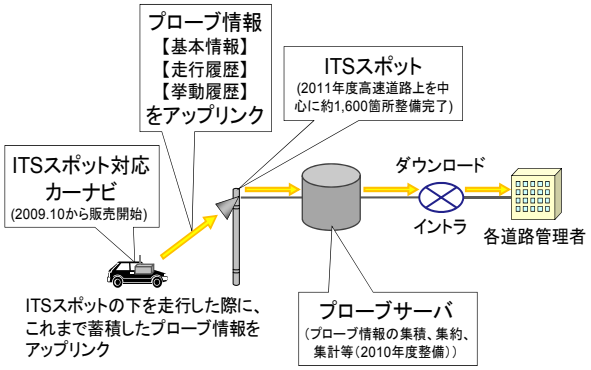
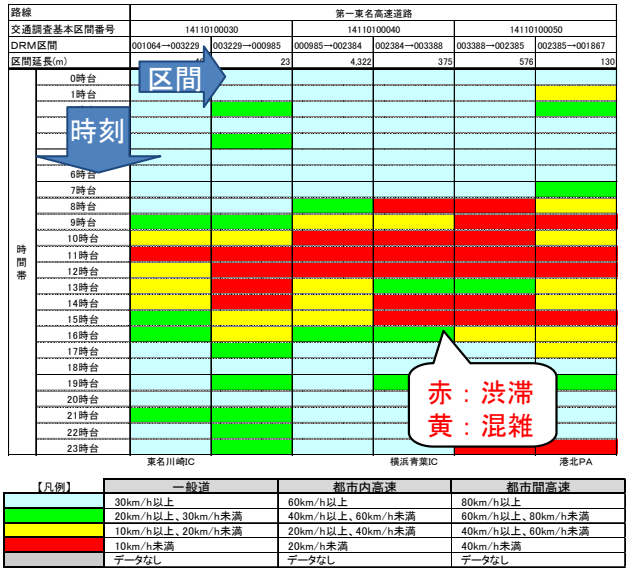



図-Ⅳ.13.1.1　ETC2.0 プローブ情報収集システムの構成




| 【凡例】 | 一般道 | 都市内高速 | 都市間高速 |
|---|---|---|---|
| | 30km/h以上 | 60km/h以上 | 80km/h以上 |
| | 20km/h以上、30km/h未満 | 40km/h以上、60km/h未満 | 60km/h以上、80km/h未満 |
| | 10km/h以上、20km/h未満 | 20km/h以上、40km/h未満 | 40km/h以上、60km/h未満 |
| | 10km/h未満 | 20km/h未満 | 40km/h未満 |
| | データなし | データなし | データなし |

図-Ⅳ.13.1.2　時空間速度図（出力例）

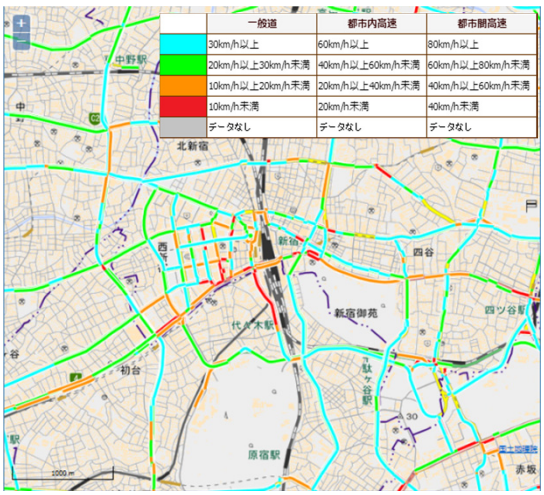



図-Ⅳ.13.1.3　旅行速度地図表示機能（表示例）

参照文献

1) 佐治秀剛、田中良寛、鹿野島秀行、牧野浩志：プローブ情報利活用システムの構築、土木技術資料、No.8、pp16～19、2014.8

## Ⅳ.13.2　災害危険地域内にいる車両への注意情報提供

ETC2.0 サービスの通信システムは、路側に設置された ITS スポットと ETC2.0 対応カーナビ間において、5.8GHz 帯域の狭域通信（DSRC）を用い、様々な情報提供サービスを行っている（図-Ⅳ.13.2.1）。その一つとして、大規模地震（震度 5 以上）や火災などの災害が発生した場合に提供する「緊急情報」がある。その緊急情報について、モニタ調査を行い、サービスの有効性と満足度等を分析した結果を報告する。




図-Ⅳ. 13. 2. 1 ETC2. 0 サービスのイメージ図

表-Ⅳ. 13. 2. 1 モニタ調査の実施時期・回答数・回答率

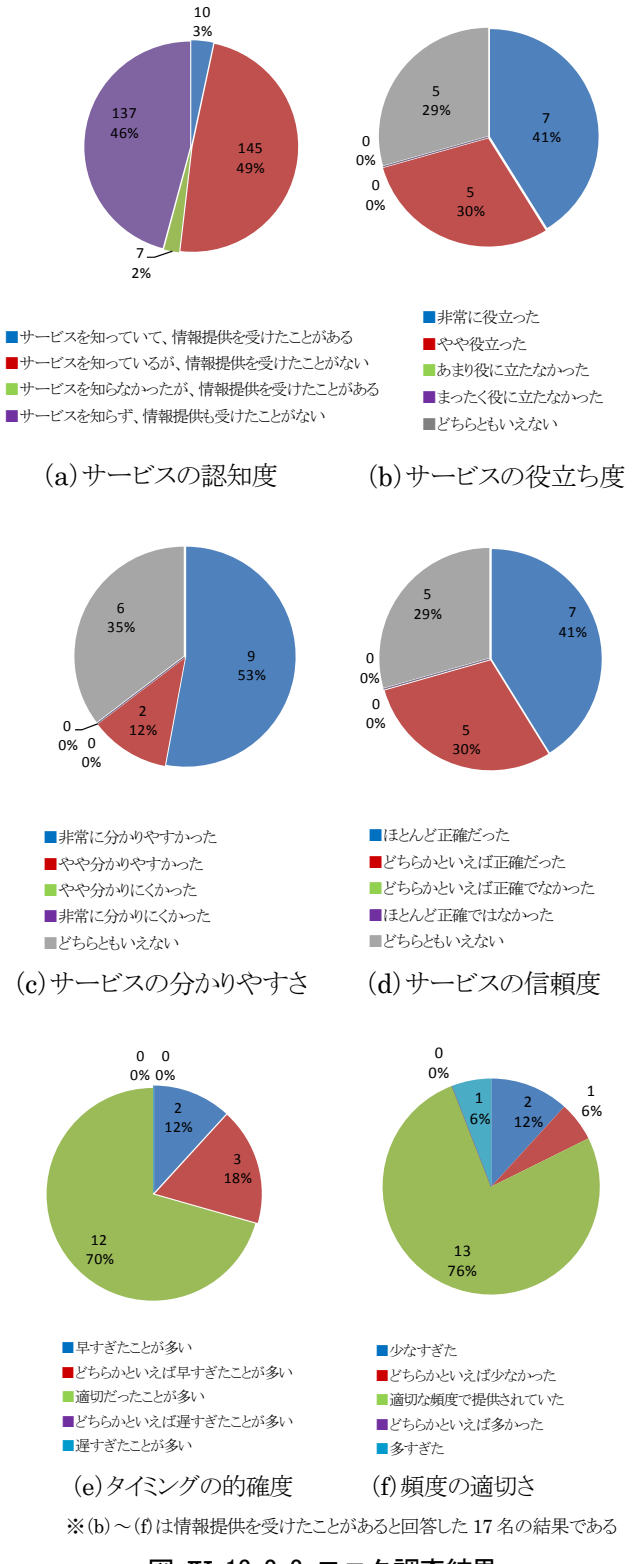
| 実施時期 | 回答数（人） | 回答率（%） |
|---|---|---|
| H26 年 12 月 | 344 | 61.2 |

モニタ調査の実施時期、回答者数および回答率を表-Ⅳ.13.2.1 に示す。また、本調査に用いた緊急情報の表示イメージは図-Ⅳ.13.2.2 の通りである。本サービスを評価する項目として、認知度、役立ち度、分かりやすさ、信頼度、タイミングの的確度、頻度の適切さを設定した。以下に結果を述べる。

調査結果のグラフを図-Ⅳ.13.2.3 (a) ～ (f) に示す。緊急情報は、情報が提供される機会が少なく認知度は約 5 割である。役立ち度、分かりやすさ、信頼度は約 6 割～7 割が「(やや) 役立った」、「(やや) 分かりやすかった」、「(どちらかといえば) 正確だった」と回答




図-Ⅳ. 13. 2. 2 緊急情報の表示イメージ




※(b)～(f)は情報提供を受けたことがあると回答した 17 名の結果である

図-Ⅳ. 13. 2. 3 モニタ調査結果

している。情報提供タイミングの的確度、頻度の適切さは7割以上が「適切」と回答しており、概ね高い評価を得られていることが分かる。

緊急情報は、情報提供を受ける頻度が低いサービスであるため認知度は低い傾向であるが、利用者にとって役立つ情報であることが分かった。今後も利用者に対して災害発生などの緊急時に、確実に情報提供が行えるサービスを継続していくことが重要である。

参照文献

1) 岩武宏一、鈴木彰一、鈴木一史、金澤文彦：ITS スポットサービスの概要とモニタ調査結果、土木技術資料、No.8、pp12～15、2014.8 土木研究センター

## Ⅳ.13.3　道路基準点・道路基盤地図情報座標補正

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.232～234、2013

東北地方太平洋沖地震による大規模な地殻変動の影響を受けた地図等の座標補正は、地図等の精度確保の視点からも必要不可欠である。本節では、国総研において管理している、大縮尺道路地図である道路基盤地図情報や、道路における位置情報の基準となる道路基準点の座標補正について報告する。

「道路基盤地図情報」は、国総研が道路管理の効率化を支援する目的で整備している大縮尺（1/500 または 1/1,000）の GIS データである。道路事務所等で実施した道路工事の工事完成図を、GIS データにコンバートして整備している。また、工事完成図から作成されているため、数百メートルの区間毎の地図として整備されている。そのため、利用の際には、高精度の緯度経度情報を用いて地図の接合・標定を行う必要がある。

「道路基準点」は、道路基盤地図情報の 30 地物のうち「距離標」に正確な座標情報を与えることを主な目的として整備している。また、図-Ⅳ.13.3.1 のように、道路の路肩等に設置されている地点標（キロポスト）の近傍に、金属鋲を設置して座標を測量している。整備にあたっては、「道路基準点の整備方針（案）」（以下、「整備方針（案）」という。）に即して整備され、緯

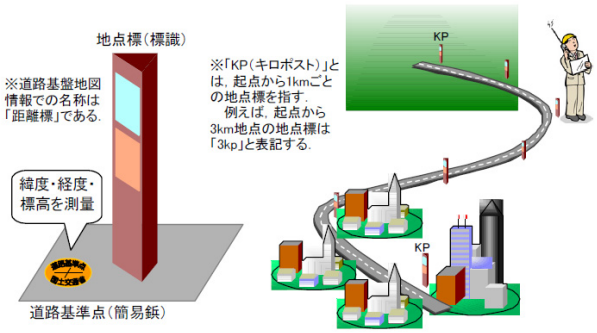



図-Ⅳ.13.3.1　道路基準点の整備イメージ

度経度は 7～8cm 程度の誤差、標高は 10～20cm 程度の誤差精度を確保している。

東北太平洋沖地震は、東日本太平洋沿岸地域を中心に大規模な地殻変動をもたらした。水平方向に 20cm 以上移動した範囲は長野県や富山県まで及び、垂直変動でも東日本太平洋沿岸地域は大きく沈降した[1)]。

これを受け、国土地理院では、地殻変動前の座標値や標高値から変動後の座標値や標高値へ補正するパラメータを提供している。道路基盤地図情報及び道路基準点の座標・標高の補正については、当該補正パラメータを基準として実施することとした。

まず、国土地理院から公表されている資料に基づき、補正パラメータが公表されている地域の道路基盤地図情報および道路基準点を抽出した。

道路基盤地図情報 GIS データは、工事完成図 CAD データを自動変換して作成されることから、計算処理段階での齟齬を防ぐため、工事完成図 CAD データで座標変換し、その後の自動変換で GIS データを作成する手順とした。補正作業は、複数ファイルを一括にて処理できるプログラムを開発して行った。また、道路基盤地図情報は、今後も地殻変動時に座標補正が必要と予想されることから、今回整理した座標補正方法・手順をとりまとめ、「道路基盤地図情報座標補正手順書」を策定した。

道路基準点は、国土地理院が提供する座標補正用ソフト PatchJGD を用い、座標補正を行った。

道路基準点の座標補正では、基準点自体の亡失による再設置・再測量や、補正パラメータ未提供箇所の再測量等が発生するため、補正パラメータを用いた方法で一律に補正することが難しい。また、整備方針（案）には、整備後の維持更新についての記載が不足していた。

このため、道路基準点の将来的な維持更新を踏まえ、「道路基準点の整備・維持更新要領（案）」（平成 24 年 9 月）として改訂するとともに、大規模な地震等に

より急激かつ大幅な地殻変動が生じた際の作業方法を検討し、「大規模な地殻変動が生じた場合の道路基準点の維持更新マニュアル（案）」（平成 24 年 9 月）を策定した。このマニュアル（案）に基づき、パラメータによる補正が可能な道路基準点における点検測量、及び再設置・再測量が必要な道路基準点の再設置等を行い、全国の道路基準点の情報を一元に集約・管理している「道路基準点案内システム[2)]」に登録している。

大規模な地殻変動の影響を受けた地図等の座標補正について、補正作業手順等を整備するとともに、実際に補正作業を実施し精度を確保することができた。今後は、改築工事、維持工事等で測量業務を実施する際に可能な範囲で 200m 間隔の整備を進める。

参照文献

1)GPS 連続観測から得られた電子基準点の地殻変動（国土地理院 HP）：
http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60011.html
2)道路基準点案内システム HP：
http://www.road-refpoint.jp

## Ⅳ.13.4　震後対応支援に役立つ道路管理用情報共有プラットフォームの検討

### Ⅳ.13.4.1　はじめに

大規模な災害は、我が国の社会基盤に甚大な被害を与える。道路構造物は、社会経済の発展に寄与し、ひとたび災害が発生すれば、応急・復旧対策の輸送経路などの重要な役割を担う。

道路管理者は、災害が発生した直後から、被災状況を機動的かつ正確に把握し、道路啓開などの適切な機能回復を図る対応を取る必要がある。

被害状況の現状把握には、多種多様で膨大な道路関連情報を地図に重畳表示して俯瞰する、もしくは集計・分析する必要がある。しかし、道路関連情報を示す位置の表現は、経緯度、住所、道路距離標、デジタル道路地図（以下、「DRM」という。）や VICS（Vehicle Information and Communication System）等と多様であることから、同一の道路構造物に関する情報のマッチングが難しく、地図への精緻な重畳表示は容易ではない。このため、道路管理者が機動的に震後対応にあたるには、多様な位置表現の道路関連情報を効率よく重畳表示する仕組みが必要となる。

そこで、国総研では、道路管理者の機動的な震後対応を支援するために、多様な位置表現の道路関連情報を効率よく地図に重畳表示するとともに、経路検索などの震後対応の支援機能を具備する道路管理用情報共有プラットフォーム（以下、「道路管理 PF」という。）を構築した。以下では、道路管理 PF について報告する。

### Ⅳ.13.4.2　道路管理 PF の構築

道路管理 PF は、既往研究 2)にて構築した空間情報連携共通プラットフォーム（以下、「空間 PF」という。）を基に構築した。空間 PF は、外部の様々なシステムとの連携により様々な情報のメタデータを収集・管理し、地図や一覧に表示することで、一元的かつ複合的な参照や情報共有を実現するシステムである（図-Ⅳ.13.4.2.1）。

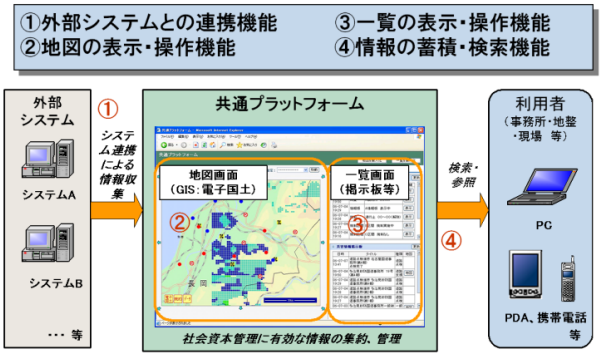



図-Ⅳ.13.4.2.1　空間 PF の機能

道路関連の情報システムで扱う道路関連情報における代表的な位置の表現方法として挙げられる、住所（地先名など）、経緯度、道路距離標、道路ネットワーク（DRM、VICS）、道路の区間 ID 方式の５つを整理する。

住所（地先名など）について、多くの諸外国では、ストリートアドレス（通り名＋通りに接する点）を採用しており、道路上の位置を表現しやすい。一方、日本の住所は、道路で囲まれた面を表現しており、道路上の位置を正確に表現できない。このため、「○○地内」などの地先名を用いることが多い。

経緯度は、地図との親和性が高いが、道路の区間を表現するためには描画作業が伴う。そのため、機動性を求められる震後対応への利用に適しているとは言い難い。

道路距離標は、「路線名」＋「起点からの距離」（場合によっては上下線の区別も含まれる。）で位置を表現するものであり、管内図や道路台帳（図面を含む。）などに付されている。そのため、道路管理者は、道路距

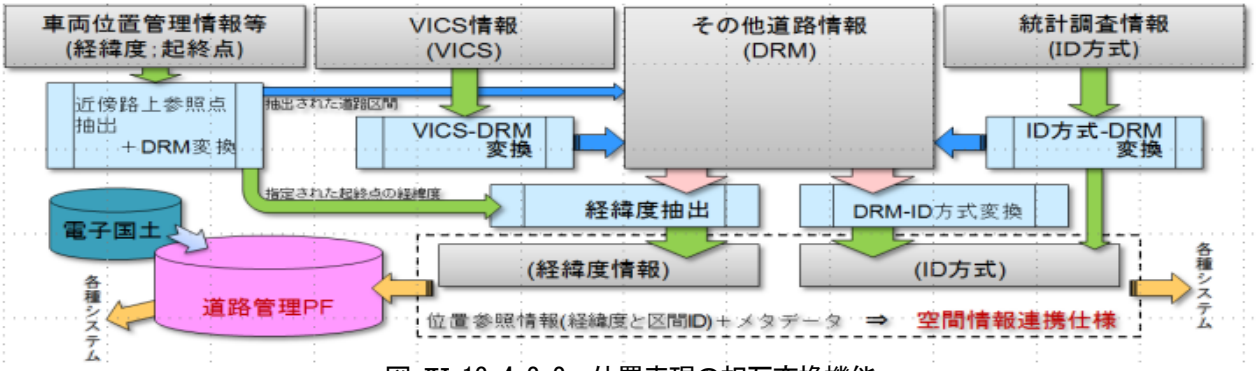



図-Ⅳ.13.4.2.2　位置表現の相互変換機能

離標を日常的に用いている。しかし、道路距離標は、道路管理者特有の位置表現であることから、一般の地図に重畳表示することができない。

DRM や VICS は、道路ネットワークと呼ばれており、交差点などの結節点をノード（座標を属性として保持）とし、ノードとノードとの間をリンク（起終点ノードや形状点列座標を属性として保持）として道路の接続関係を表現する。しかし、道路の新設や拡幅などの変化に伴って、ノード、およびリンクの ID が変わることから、バージョン対応に多大な作業負荷を要する。

道路の区間 ID 方式（以下、「ID 方式」という。）は、道路の“区間”と“参照点”とに恒久的な ID を付与し、区間と参照点、および参照点からの道程を基に位置を表現する [1]。同方式に則した ID テーブルは、都道府県道以上の 20 万 km を対象として 2011 年に整備されている。現在、道路管理者（国土交通省道路局）は、交通調査等で同方式を順次導入している。

そこで、前項で述べた多様な位置表現による道路関連情報を効率的に利用するため、空間 PF に位置表現の相互変換と経路検索の機能を実装した。

1）　位置表現の相互変換機能

道路管理 PF は、収集した道路関連情報を DB サーバ上で一括管理している。多様な位置表現の道路関連情報をそのまま DB サーバに蓄積する管理手法は、ユーザによるデータ参照や操作の都度、サーバ側で位置表現の変換処理が必要となることから、システムの操作レスポンスや処理パフォーマンスを考慮すると得策ではない。

そこで、道路管理 PF は、道路関連情報を DB サーバへ登録する際、道路関連情報の位置表現を経緯度の点列と ID 方式の位置表現に変換して DB サーバに蓄積するものとした。経緯度は、道路関連情報を地図へ重畳する際に利用する。ID 方式は、経路検索などの道路ネットワークに係わる機能で利用する。事前に位置表現を変換して登録することで、道路管理 PF は、電子国土 Web と同等の操作レスポンスで道路関連情報の閲覧が可能である。

位置表現の相互変換機能の仕組みを図-Ⅳ.13.4.2.2 に示す。灰色のボックスは道路関連情報、淡青色のボックスは相互変換機能で行っている処理である。

図に示すとおり、すべての道路関連情報は詳細な道路ネットワーク構造である DRM の位置表現に変換される。その後、DRM リンク・ノードに付与されている経緯度が抽出される。そして、DRM リンク・ノードに対応した ID 方式へと変換される。

2）　利用イメージ

道路管理 PF の利用イメージとして、通行規制区間の道路関連情報を加味して通行可能経路を推定した結果を図-Ⅳ.13.4.2.3 に示す。

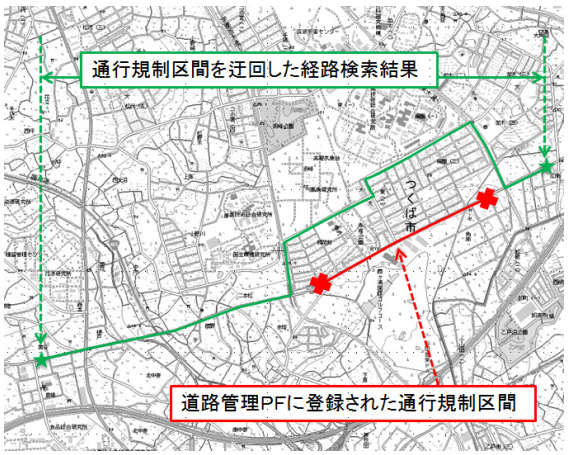



図-Ⅳ.13.4.2.3　通行可能経路の推定結果イメージ

本機能では、DRM データやネットワーク属性等を用いて、道路管理 PF の地図上で指定した 2 点間の通行可能経路を推定している。

この場合、空間 PF で管理している通行規制区間の特定の情報（道路の区間 ID 方式による位置参照データを持つもの）を用いて、推定に用いる経路から通行規制区間を除外する等、最適な通行可能経路を抽出し

ている。経路推定の結果は、DRM データの経緯度を基に経緯度のリストとして表示されるとともに、道路の区間ID方式を用いた経路情報も抽出して表示する。

### Ⅳ.13.4.3　まとめ

国総研では、多様な位置表現の道路関連情報を効率よく地図に重畳表示するとともに、経路検索等の支援機能を具備する道路管理 PF を構築した。

位置表現の相互変換機能は、異なるシステム間のデータ連携に伴うシステム改良の省力化への効果が期待できる。また、本機能は、Web ベースの API（Application Programing Interface）として利用できることから、本機能を具備する個別システムの効率的な開発にも寄与する。

また、平成 28 年４月に発災した熊本地震では、ETC2.0 運行情報実績マップを表示することができた。今後は、道路管理 PF の現場利用を段階的に拡大し、その有用性を検証して現場ニーズを基に更なるシステムの洗練を図る予定である。

参照文献

1)　今井龍一・中條覚・松山満昭・重高浩一・石田稔・浜田隆彦（2013）：道路関連情報の流通のための位置参照方式に関する研究，土木学会論文集F3（土木情報学），Vol.69，No.1，pp.34-46.

2)　菊地英一・増田祐介（2010）：社会資本管理の効率化に資する空間情報連携共通プラットフォームの構築，土木技術者実践論文集，Vol.1，pp.15-22.

## Ⅳ.13.5　3 次元 CAD データを活用した災害復旧支援に関する研究

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.258～261、2013

東日本大震災では、広域な所管施設の被害状況の把握や、復旧、・復興に際し数多くの必要土量の算出など、効率的な地形情報の把握、計画策定への応用技術の早期確立が強く求められた。国総研では関西大学（田中成典教授）と共同し、レーザプロファイラ（以下、「LP」）などの既存資料から、3 次元 CAD データの生成技術について研究しており、その生成技術から震災前後の被災箇所の 3 次元 CAD データを用いた被災箇所の抽出・分析などのケーススタディを行った。

まず、LP から 3 次元 CAD データを生成する技術の研究を行った。その生成技術に関する機能の特徴は、LP の点群座標データから河川堤防の天端面と法面との境界などの地形の特徴線を抽出し、現況地形を精緻に再現した 3 次元 CAD データを自動生成することである。

つぎに、震災直後に迅速かつ正確に被災状況を把握し、復旧事業などにも活用できる成果を得ることが出来るか本技術の入力データに実際の震災前後の LP を用いて 3 次元 CAD データを生成し、被災箇所の抽出などのケーススタディを行った。

本ケーススタディは、震災後の状況を加味するため、北上川下流地域の浸水範囲、被災状況が甚大な箇所、堤防形状が大きく変化し緊急復旧が必要な箇所を選定条件として、現地踏査を経て範囲を決定した。

震災前後の３次元ＣＡＤデータを重ね合わせて可視化し、堤防形状が大幅に変化した可能性がある箇所を視覚的に確認できるかを考察した。結果、震災の影響で堤防形状が変化している状況や河川敷などの堤防周辺のエリアが浸水した状況、ガレキなどが堆積し、地表面の形状が震災前後で異なっている状況など、地形が大幅に変化した可能性のある箇所が容易に確認できた。

次に、震災前後の任意断面形状の比較を行った。LP から 3 次元 CAD データを生成する技術には、震災前後の特徴線を比較し、変化量から被災箇所候補検出機能を具備している。この震災前後の特徴線を比較する機能を使用して、被災箇所の検出を行った結果、河川堤防の天端面の法肩における 2 本の特徴線を用いて被災箇所候補の検出ができた。また被災箇所の詳細を確認すると被害を受けていないもしくは軽微な箇所と著しく変化が起きている損傷箇所が正しく検出出来ることが明らかとなった。

次に震災前後の堤防土量差分の算出を行った。本分析では 3 次元 CAD データ生成機能にて生成した震災害前後の河川水位を基軸とした堤防の土量差分を算出し、復旧に必要な数量を把握出来るかを検証した。土量算出には CAD ソフトの土量算出機能を用いて対処することが出来た。その結果大規模な災害の条件下でも復旧するために必要となる土量の概数が把握出来た。

まとめとして、本研究は LP などの既存資料を用いた 3 次元 CAD データの生成・活用方法を検討している。上記文献では、新技術の実用性の検証結果および北上川下流域を対象にした震災前後の 3 次元 CAD デ

ータを用いた分析のケーススタディの取り組み状況が詳しく報告されている。

H25～H26 の研究成果は、3 次元データの自動生成技術の拡張して任意箇所の定期断面図を自動生成する仕組みを開発し、過去の定期横断測量成果と比較し技術の精度検証を行った。また生成した 3 次元データに河川カルテ情報や災害の変状情報を関連付け、変状箇所を 3 次元で可視化する環境を構築した。


参照文献

1) 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平：点群座標データを用いた 3 次元モデルの自動生成に関する研究、土木情報利用技術論文集、土木学会、Vol.19、pp.165-174、2010

2) Tanaka, S., Imai, R, Nakamura, K., Kawano, K.: Research on Generaton of a 3D Model Using Breakline from Point Cloud Data, *Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality,* PP.347-356, 2010

3) 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平：点群座標データを用いた 3 次元モデルの自動生成に関する研究、知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）、日本知能情報ファジィ学会、Vol.23、No.4、pp.198-216、2011

4）田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平：LP データを用いた震災前後の被害箇所の自動検出結果の可視化に関する研究、土木学会論文集 F3（土木情報学）、Vol.68、No.2、pp197-205、2012

5）国土交通省東北地方整備局：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震鳴瀬川・北上川被害状況、<http://www.thr.mlit.go.jp/karyuu/taiheiyouokijisin/index.html>、（入手　2012.12.28）


## Ⅳ.13.6　情報化施工技術による埋設ガレキ等の管理に関する研究

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組みー緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録ー、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp.262～263、2013

津波被害の被災地では、大量に発生したガレキの活用方法として、盛土材への再利用に向けた検討が進められた(図-Ⅳ.13.6.1)。

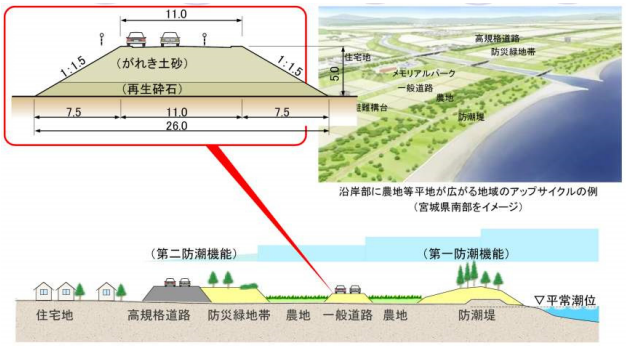



図-Ⅳ.13.6.1　ガレキ土砂の再利用方法のイメージ

しかし、ガレキは通常の土木材料とは性状が異なる事に加え、施工後は不可視となることから、維持管理段階においてガレキの埋設位置や埋設量を容易に把握し、管理できる仕組みが必要である。

国総研では、情報化施工技術の一つである 3 次元計測機器（トータルステーション、以下「TS」）を用いた出来型管理に関する研究を進めており、土工を中心に普及が進んでいる。この TS を用いた出来型管理技術を活用し、ガレキ等を容易に管理する為の手法について検討した結果をとりまとめた(図-Ⅳ.13.6.2)。

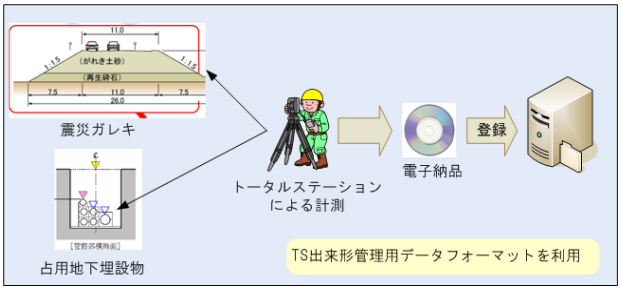



図-Ⅳ. 13. 6. 2　埋設物管理の流れ

まず、道路の盛土材としてガレキを埋設する際に出来形管理用 TS を用いてガレキ等を埋設した範囲の 3 次元座標を得ると共に、その他維持管理に資する情報を取得し、それらを一元的に管理するための手法を検討した。

次に、TS を用いた出来型管理技術に基づき、施工管理データを用いて埋設物を管理するソフトウエアの機能を検討した(図-Ⅳ.13.6.3)。ソフトウエアに必要な機能は次の通りである。

①データ登録機能

埋設物の管理に必要な情報を登録する機能で、直轄工事の場合には、電子納品 CD から自動的に必要なファイルを抽出し登録する。ただし、管理には位置情報だけではなく名称や管理者等の情報、ガレキの性状などの保持すべき項目を設定する必要がある。

②データ検索機能

管理者がデータを活用する時に、必要な情報を抽出する機能である。データの検索方法として、名称などの情報を用いて検索する機能と地図上で埋設した物件を一度に表示させ、選択して詳細な情報を閲覧することが可能である。

管理ソフトウエアと TS を用いた出来型管理をガレキ管理に利用することで、効率的にガレキ管理が可能になると考える。試行用システムは、現場において試行して改良する等、実用化に向けて研究を続ける必要がある。

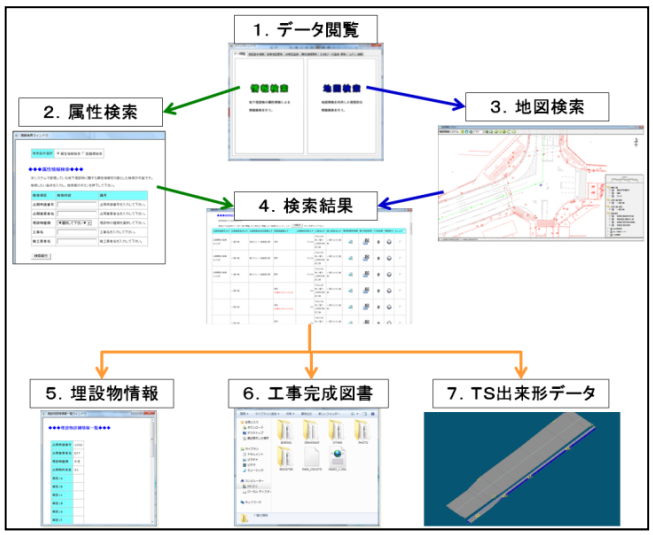



図-Ⅳ.13.6.3　ソフトウエアの操作イメージ

参照文献

1)　施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領(案)(平成 22 年 12 月)国土技術政策総合研究所
詳細は上記文献を参照されたい。

## Ⅳ.13.7　橋梁３次元データの災害時変状把握・監視への活用

2.国土技術政策総合研究所：2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録－、国土技術政策総合研究所研究報告（第 52 号）、pp264～266、2013

国土交通省が定めた「CALS/EC アクションプログラム 2008」では、調査・計画・設計・施工・管理を通じて利用可能な情報の流通が目標の１つに掲げられた。国総研では、この目標達成に向け、これまで２次元図面が中心であったデータ流通から３次元データモデルを中心とした情報流通による建設生産システムの改革のための研究に取り組み[3),4),5)]、橋梁３次元データ流通に係る運用ガイドライン（案）[1)]及び座標図製図基準（案）[2)]を作成した。

橋梁３次元データ流通に係る運用ガイドライン(案)は、３次元データモデルの流通を目的に、橋梁を対象とした３次元データ作成や利用方法等を、現状の３次元データ利用環境で無理なく実施できるように定めたものである。「ガイドライン策定に当たって橋梁の３次元化の検討については、CALS/EC 推進会議に設置された３次元データ利活用 WG において、各業界代表及び専門家が参加した WG で、橋梁の３次元化の検討を行った。WG には国総研の他、各業界代表及び専門家が参加した。このなかで、設計から施工、維持管理にわたるデータ流通に、構造物の設置や構造物の変位を監視するポイントの流通を当面の目標に定めた。このような当面の目標設定をしたのは、将来は３次元 CAD の普及や人材の育成が行われれば、３次元データモデルそのものの流通、利活用が可能となるが、現状ではそのような環境に至っていないと考えたためである。このため、詳細な３次元データモデルの流通の前段階として、設計、施工、維持管理段階で必要な３次元座標データの流通に着目した。特に、構造物の設置位置、上部工と下部工とが取り合う位置などは３次元座標で管理されているが、従来の２次元図面では３次元座標の記載がなく、座標計算等のミスが発生しやすい。また、維持管理においても、橋梁に変状が発生した場合も、変状前の位置の計測や記録がなく、変状を正確に把握することが難しかった。このため、構造物設置基準点、監視基準点を提案し、基準点データの作成、流通に関する研究を実施した。本研究で検討した設計、施工、維持管理にわたる３次元データ流通の一部が、３次元データを用いた橋梁の監視技術に関する研究となっている。

橋梁３次元データ流通に係る運用ガイドライン(案)では、災害時に利用するための監視基準点の設置を記載している。監視基準点は、施工時に橋脚、橋台に測量鋲を設置して３次元座標を計測し、それを３次元モデルや座標図に記録する。地震や地すべり等で橋梁に変状の発生が予想された場合は、直ちに監視基準点の座標を計測し、工事完成時の値と比較して変状の有無を把握するものである。なお、座標図への設置基準点や監視基準点の記載方法を定めたものが座標図製図基準（案）である。

橋梁３次元データ流通に係わる運用ガイドライン(案)及び座標図製図基準(案)は、試行業務での活用を目的として作成し、国総研 HP で公表している。試行業務の結果、橋梁の変状把握に監視基準点が役に立つという意見が多く、また実際に試行業務を実施した橋梁で、東日本大震災の地盤変位に伴う橋脚の移動を、監視基準点の計測で把握した。監視基準点の座標を３次元モデルや座標図に記録する方法は、本研究で有効であることを確認したが、３次元モデルへの記録に関しては事務所での運用を引き続き検討する必要がある。

参照文献

1) 橋梁３次元データ流通に係る運用ガイドライン(案),国土技術政策総合研究所情報基盤研究室,,平成 24 年９月, 国土技術政策総合研究所 HP
http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/guideline_bridge.pdf

2) 座標図製図基準（案）,国土技術政策総合研究所情報基盤研究室,国土交通省国土技術政策総合研究所,平成 24 年９月, 国土技術政策総合研究所 HP
http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/pdf/standard_zahyou.pdf

3) 遠藤和重,青山憲明, 井星雄貴 ; 設計、施工、維持管理にわたる橋梁の 3 次元データ利活用の検討, 土木情報利用技術講演集 Vol.35, 2010.10 土木学会情報利用技術委員会

4) 井星雄貴, 青山憲明, 重高浩一 ; 業務プロセスを通じた橋梁の 3 次元データの流通と利用,土木情報利用技術講演集 Vol.36,2011.9,土土木学会情報利用技術委員会

5) 井星雄貴, 中山健, 坪村健二 ; 3 次元モデル活用による橋梁事業の効率化に関する検討,土木情報利用技術講演集 Vol.37,2011.9,土土木学会情報利用技術委員会

**参考文献**

1) 佐治秀剛、田中良寛、鹿野島秀行、牧野浩志、プローブ情報利活用システムの構築、土木技術資料、第 56 巻、第８号、pp.16-19、平成 26 年度.
2) 岩武宏一、鈴木彰一、鈴木一史、金澤文彦、ITS スポットサービスの概要とモニタ調査結果、土木技術資料、第 56 巻.第８号、pp.12-15、平成 26 年度.
3) 小川倫哉、上田英滋、有賀清隆、小原弘志、重高浩一、地理空間情報プラットフォームの仕組みを利用した組織内における情報共有手法、土木技術資料、第 54 巻.第８号、pp.34-37、平成 24 年８月.
4) 小原弘志、 増田祐介、 今井龍一、道路管理用情報共有プラットフォームの構築、地理情報システム学会講演論文集、No.22、平成 25 年 10 月.
5) 谷口寿俊、小原弘志、今井龍一、多様な道路関連情報を組織間で迅速に共有する技術～道路管理用情報共有プラットフォーム～、土木技術資料、第 56 巻.第１号、pp.24-27、平成 26 年１月.
6) 谷口寿俊、組織横断的な道路関連情報の共有技術の構築～道路管理用情報共有プラットフォーム～、建設電気技術、2014 技術集、pp.49-53、平成 26 年９月.
7) 有賀清隆、今井龍一 、中條覚、早川玲理、重高浩一、道路の区間 ID 方式を活用した異なる位置表現の道路災害情報の地図表示に関する考察、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.47、平成 25 年６月.
8) 今井龍一、深田雅之、重高浩一、矢部努、牧村和彦、足立龍太郎、多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.48、平成 25 年 11 月.
9) 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部　努、橋本　浩良、重高　浩一、交通データの分析及び可視化基盤の基礎研究、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.50、平成 26 年 11 月.
10) 今井　龍一、田嶋　聡司、矢部　努、塚田　幸広、重高　浩一、橋本　浩良、山王　一郎、石田東生、動線データを活用した都市活動のモニタリング手法に関する研究～「環境モデル都市・つくば」におけるモビリティ・交通研究会の取り組み～、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.50、平成 26 年 11 月.
11) 今井　龍一、田嶋　聡司、橋本　浩良、重高　浩一、道路関連情報の流通のためのジオコーディングシステムの開発、第 12 回 ITS シンポジウム、平成 26 年 12 月.
12) 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部　努、橋本　浩良、重高　浩一、多様な交通データの分析及び可視化のための基図に関する研究、第 12 回 ITS シンポジウム、平成 26 年 12 月.
13) 今井　龍一、深田　雅之、重高　浩一、交通データの分析・可視化基盤に関する取り組み、交通工学、Vol.50 No.1、pp.18-21、平成 27 年１月.
14) 今井　龍一、深田　雅之、宮下　浩一、矢部　努、橋本　浩良、重高　浩一、交通データの分析及び可視化基盤の試作による道路交通分析への適用可能性の考察、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.51、

平成 27 年 6 月.
15) 今井龍一、田嶋聡司、矢部努、塚田幸広、重高浩一、橋本浩良、山王一郎、石田東生、動線データを活用した都市活動のモニタリングの持続的な運用に向けた取り組み～「環境モデル都市・つくば」におけるモビリティ・交通研究会の活動報告～、土木計画学研究発表会・講演集、Vol.51、平成 27 年 6 月.
16) 今井龍一、中條覚、松山満昭、重高浩一、石田稔、浜田隆彦、道路関連情報の流通のための位置参照方式に関する研究、土木学会論文集 F3（土木情報学）、Vol.69、pp.34-46、2013 年.
17) 菊地英一、増田祐介、社会資本管理の効率化に資する空間情報連携共通プラットフォームの構築、土木技術者実践論文集、Vol.1、pp.15-22、2010 年.
18) 田中 成典、今井 龍一、中村 健二、川野 浩平、点群座標データを用いた河川堤防の３次元モデル自動生成に関する研究、第 16 回関西大学先端科学技術シンポジウム講演集、平成 24 年 1 月.
19) 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平、点群座標データを用いた３次元モデルの自動生成に関する研究、土木情報利用技術論文集、Vol.19、pp.165-174、2010 年.
20) Tanaka.S, Imai.R, Nakamura.K, Kawano.K、Research on Generaton of a 3D Model Using Breakline from Point Cloud Data、Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality、pp.347-356、2010 年.
21) 田中成典、今井龍一、中村健二、川野浩平、点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究、知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）、Vol.23, No.4、pp.198-216、2011 年.
22) 今井　龍一、レーザープロファイラ等を用いた３次元CADデータの生成技術、月刊建設、Vol.56.No.3、pp.9-11、平成 24 年 3 月.
23) 田中　成典、今井　龍一、中村　健二、川野　浩平、LP データを用いた震災前後の被害箇所の可視化に関する研究、土木情報学シンポジウム講演集、Vol.37、pp.65-68、平成 24 年 9 月.
24) 田中　成典、今井　龍一、中村　健二、川野　浩平、LP データを用いた震災前後の被害箇所の自動検出結果の可視化に関する研究、2012 土木学会 F3、vol68.No.2、I_197-I_205、平成 25 年 3 月.
25) 遠藤和重、青山憲明、井星雄貴、設計、施工、維持管理にわたる橋梁の 3 次元データ利活用の検討、土木情報利用技術講演集、Vol.35、2010 年 10 月.
26) 井星雄貴、青山憲明 、重高浩一、業務プロセスを通じた橋梁の 3 次元データの流通と利用、土木情報利用技術講演集、Vol.36、pp.41-44、平成 23 年 9 月.
27) 井星雄貴、中山健、坪村健二、３次元モデル活用による橋梁事業の効率化に関する検討、土木情報学シンポジウム講演集、Vol.37、平成 24 年 9 月.

# Ⅳ.14　東日本大震災からの復興における自然環境・地域資源の再生手法

東日本大震災では、地域の自然環境や歴史的市街地等の地域資源へも大きな影響を与えている。東日本大震災からの復旧・復興は生活・社会基盤の分野から着実に進められてきているが、これらに併せて自然環境や地域資源を復興することも重要な課題となっている。国総研では、港湾域での環境の修復・再生技術の開発や、歴史的市街の復旧プロセスを明らかにするための研究を進めているところである。

## Ⅳ.14.1　海岸・港湾域の自然環境の修復

### Ⅳ.14.1.1　環境の修復・再生技術

43.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料(第 688 号)、岡田知也ほか、宮古湾におけるアマモ復元の視点でみた底質状況、2012.6
44.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料(第 752 号)、岡田知也ほか、宮古湾における底泥およびアマモのモニタリング結果(2012 年 10 月)、2013.9
45.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料(第 796 号)、岡田知也ほか、宮古湾における底泥およびアマモのモニタリング結果(2013 年 10 月)、2014.7

東日本大震災の津波によって、甚大な影響を受けた宮古湾のアマモ場の復元を目指し、アマモおよび底泥の復元過程の調査を継続実施している。

2012 年 2 月に実施した第 1 回調査によって，宮古湾湾奥はアマモ復元の視点で底質条件により、3 つの水域（Z1，Z2，Z3）に分けられた（Z1：現状でもアマモ生育に適した水域、Z2：現状ではシルト成分が適性よりも多い底泥の水域、および Z3：粗砂・礫成分が適性よりも多い底泥の中に、中砂成分を適度に含んだ底泥が点在している水域)。

2012 年 10 月に実施した第 2 回調査によって、各ゾーンの底泥の詳細な空間分布データを取得した。また、アマモが密生しているアマモ場が、Z1 に残存していることが確認された。また、流れの計算結果と現存するアマモの分布を重ねると、現存するアマモの分布が流れの残差流の上流になっており、アマモがまだ回復していない浜に、現存するアマモ場から種子等の移流が期待された。

2013 年 10 月に実施した第 3 回調査では、その後の底泥およびアマモ場の変化および底泥の移動について調査し、今後の底泥およびアマモの回復の可能性について砂の供給の観点から検討した。その結果、Z3 のアマモ場の回復は、Z1 よりもゆっくりとしたペース、または一面にアマモ場という生育形態とは異なり、点在する砂地にアマモ場が点在する生育形態になると考えられた。

詳細は上記文献を参照されたい。

### Ⅳ.14.1.2　環境に配慮した港湾構造物の復旧技術

46.国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料(第 831 号)、岡田知也ほか、東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災後の大船渡湾の水質に関する研究、2015.3

2011 年 3 月に発生した東日本大震災の津波によって、大船渡湾の湾口防波堤が被災した。大船渡湾は水質改善に対して多大な努力を行ってきた水域であり、湾口防波堤の復旧に際しては、環境への配慮が重要である。そこで、本研究は、現在の湾口防波堤が無い状態での観測を実施し、湾口防波堤が無い状態での水環境特性を明らかにすること、および環境に配慮した湾口防波堤の復旧を考える際の留意点を明らかにすることを目的とした。

調査の結果、次のことが明らかとなった。水質に関しては、①湾口防波堤が無い状況では、貧酸素水塊は形成されなかった、②底層の DO 濃度の経時変化は、湾口防波堤がある状況と同じ減少率で低下していた、③月に数回の頻度で突発的に流入する湾外水の影響によって、貧酸素化は免れていた。底質に関しては、①底質は、被災前後でほぼ同じだった、②撹乱・再堆積の痕跡は、約 20 cm まであった。流況に関しては、湾口防波堤が無い状況の平均的な流況は、表層は流出、中層は流入、下層は流出の 3 層構造だった。これらのことから、環境に配慮した湾口防波堤の復旧を考える際には、下層の流れの阻害を低減し湾内底層の低水温化を防ぎ、および突発的に湾外の底層から入ってくる低水温水塊が流入し易くする技術開発が重要であると考えられた。

詳細は上記文献を参照されたい。

## Ⅳ.14.2　被災した歴史的市街地の復旧プロセス

### Ⅳ.14.2.1　研究の背景と目的

東日本大震災では、東日本の太平洋沿岸地域はもとより、内陸地域においても甚大な被害を及ぼした。なかでも、土蔵や商家、古民家等の歴史的建造物が集積する歴史的市街地においては、地震動や液状化等により歴史的建造物の損壊が相次ぐなど大きな被害がもたらされた。そうした歴史的建造物は、復興後の市街地において､被災前の土地の履歴や暮らしの記憶を伝え、故郷の誇りや愛着を育む拠り所となるとともに、観光や交流の資源ともなりうる。しかし、被災後の復旧にあたりそうした歴史的建造物に対する配慮が十分に行き届かないまま市街地整備が進めば、それらの解体・更新が加速し、歴史的市街地の特性が損なわれる可能性がある。

これまで、自然災害により被災した歴史的市街地の復旧に関する研究としては、阪神・淡路大震災をはじめとする個別の自然災害を対象に、文化財等の建築物の修復に関する研究[1)、2)]や、復旧過程における住民参加や専門家のかかわりに関する研究[3)4)5)]さらに、復旧にあたっての近隣自治体等の支援体制に関する研究[6)]等がある。しかし、歴史的市街地の復旧にあたり、歴史的建造物の維持・継承に向けて、具体的にどのような取組みをどのようなプロセスで進めるべきか、復旧を牽引する被災自治体等が参照可能な研究成果等が蓄積されているとは言い難い。また、既存研究においては個別事例の分析が中心で、複数の被災事例に関する事例横断的な分析は行われていない。このため、今後の復旧に向けた一般的に参考になる知見とはなっていなかった。

こうした背景を踏まえ、本研究では、まず過去の被災事例を調査し、これを横断的に分析した。これによって歴史的建造物の維持・継承に資する取組み手法及びプロセスを明らかにし、今後の歴史的市街地における被災からの復旧に対して有益な知見を導き出した。

### Ⅳ.14.2.2　研究方法

本研究では、歴史的建造物を含めた市街地全体に壊滅的な被害を及ぼすような津波や火山による災害ではなく、歴史的建造物が修復可能な状態で残存するような地震や風水害による災害を対象とする。

まず、(3) において過去の自然災害における歴史的市街地の復旧事例分析を行い、復旧にあたっての留意事項を抽出する。分析対象は、過去の地震及び風水害により被災した歴史的市街地 6 事例を対象とする。分析にあたっては、まず被災に係る調査報告書等の文献調査及び行政担当者を中心としたヒアリング調査を行い、これに基づき、被災概要、被災後の復旧の取組み、プロセス、および課題を把握・整理する。その上で事例間の比較に基づき、復旧にあたっての留意事項を抽出する。さらに、これらの留意事項に基づき、復旧の取組み手法及びプロセスについて考察する。

次に、(4)において、(3)で考察した取組み手法及びプロセスの有効性を考察するため、東日本大震災における歴史的市街地の復旧事例分析を行う。分析対象は、東日本の沿岸部及び内陸部において、主に地震動により大きな被害を受けた歴史的市街地 5 事例を対象とする。分析にあたっては、(3)と同様にまず、被災に係る調査報告書等の文献調査及び現地調査、さらに行政担当者を中心としたヒアリング調査を行い、これに基づき、被災概要、被災後の復旧の取組み及びプロセス、さらに復旧における課題を把握・整理する。これらの調査結果と、(3)で考察した取組み手法及びプロセスを比較することで、それらの有効性を考察する。

### Ⅳ.14.2.3　過去の自然災害における復旧事例分析

1) 分析対象事例の選定と文献及びヒアリング調査結果

本研究では、ヒアリング等で得られる情報の精度、さらに歴史的市街地の保全に対する要請等の社会背景等を考慮し、概ね伝統的建造物群保存地区制度が創設された 1975（昭和 50）年以降に発生した地震及び風水害に着目し、分析対象事例 6 事例を選定した。調査結果の概要を表-Ⅳ.14.2.3.1 に示す。

2) 事例分析結果と考察

調査結果を踏まえ、事例間の比較に基づき、歴史的市街地の復旧における留意事項について考察する。考察にあたっては、災害に対する備えとしての「①調査・計画・制度」、被災時における調査・復旧に関わる「②体制･人的支援」､被災した住民に向けた「③情報発信」、歴史的建造物の修理・修復に関わる「④経済的支援措置」の 4 視点から考察を行う。なお、文中の[]は、表-1 の対応個所を示す。

# 表-Ⅳ.14.2.3.1 過去の自然災害における復旧事例調査結果 （概要）

| 分析対象事例 | 兵庫県K市 K・Y地区 | 兵庫県K市 N地区 | 鳥取県H町 N地区・K地区 | 石川県W市 K地区・S地区 | 広島県K市 M地区 | 兵庫県S町 H地区 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 災害の種類 | 兵庫県南部地震(H7.1.17) | 兵庫県南部地震(H7.1.17) | 鳥取県西部地震(H12.10.6) | 能登半島地震(H19.3.25) | 風水害(H3.9.27) | 風水害(H21.8.9) |
| 歴史的市街地の保全・形成に関わる主な地区指定等 | ◇重伝建地区（港町）（S55.4.10選定、9.3ha） | （歴史的市街地の保全・形成に関わる地区指定等はなし） | （歴史的市街地の保全・形成に関わる地区指定等はなし） | ◇重伝建地区（K地区（船主集落））（H21.6.30選定（被災後に選定）、20.5ha）<br>◇街なみ環境整備事業（S地区（門前町））（H15～） | ◇重伝建地区（港町）（H6.7.4選定（被災後に選定）、6.9ha） | ◇歴史的景観形成地区（兵庫県景観の形成等に関する条例）（H23.4指定（被災後に指定、ただし指定に向けた調査は被災前に実施）） |
| 被害状況 | ・重伝建地区内の伝統的建造物のうち、洋風建築物29件、和風建築物7件の全てに被害が発生（屋根瓦の落下やズレ、煉瓦造煙突の折損とそれによる家屋の破壊、内部漆喰壁及び漆喰天井の剥離・落下等）。<br>・和風建築物が破損小7件であるのに対し、洋風建築物の被害は大きく、破損大9件、破損中11件、破損小9件の被害。 | ・約4kmの帯状の地域に約50件100棟ほど集積していた歴史的酒蔵の全てに被害あり。<br>・大多数が全壊状態で、復旧再建可能な状態のものは3件のみ。 | ・家屋等の破損・倒壊等により、出雲往来（根雨地区）及び日野往来（黒坂地区）沿いの宿場町の歴史的まちなみに大きな被害が発生。<br>・根雨地区では、全世帯338件のうち、全壊15件、半壊68件、一部損壊248件の被害。<br>・黒坂地区では、全世帯259件のうち、全壊43件、半壊95件、一部損壊117件の被害。 | ・家屋等の破損・倒壊により、市内の船主集落（黒島地区）及び門前町（總持寺地区）の歴史的まちなみに大きな被害が発生。<br>・黒島地区では、住家の全壊35件、大規模半壊5件、半壊58件、一部損壊187件の被害。（重伝建地区の伝統的建造物（建築物）の件数は148件）<br>・總持寺周辺地区では、住家の全壊103件、大規模半壊30件、半壊206件、一部損壊556件の被害。 | ・海岸沿いを中心として、高潮による床上浸水や家屋等の破損・倒壊により、港町の歴史的まちなみに大きな被害が発生。<br>・豊町全体で、床上浸水161件、床下浸水314件,家屋全壊26件、家屋半壊15件の被害。（重伝建地区の伝統的建造物（建築物）の件数は203件）<br>・その他、歴史的港湾施設（灯台、千砂子波止、高灯篭）も一部破損。 | ・台風による佐用川の氾濫により、家屋等が破損・倒壊し、宿場町の歴史的まちなみに大きな被害が発生。<br>・平福地区では、全壊14件、大規模半壊17件、半壊59件、床上浸水15件、床下浸水34件の被害。 |
| 復旧の取組み | ○近畿4府県の協力による調査の実施：文化財修理に対する技術職員のいる奈良、和歌山、京都、滋賀の4つの府県の協力による重伝建地区の被災状況調査の実施。[f]<br>○重伝建地区の特定物件の修理支援拡充：通常は、国、市、所有者それぞれ1/3の負担率を、県の補助も含めて、所有者負担を1割に変更。[c][u]<br>○復興基金の創設と未指定文化財への修理助成の実施：県と市が復興基金を創設するとともに「歴史的建造物等助成制度」が設けられ、未指定の文化財に対しても復興基金から所有者負担額の1/2、上限500万円の助成を実施。[s][u]<br>○市の直接事業としての設計監理の実施：各物件の修復内容の整合性の確保と所有者の費用負担の軽減を図る。[u]<br>○所有者の費用負担軽減を考慮した修復方法の提案と助成対象としての壁の構造補強：通常、重伝建地区の指定物件の外観の修理のみが助成の対象であるが、壁の構造補強に係る工事費も補助対象とすることで修理に対する所有者負担を軽減。[u]<br>○地域住民によるまちづくり団体「北野・山本地区をまもり、そだてる会」の活動：被災前から、会の会合に神戸市5局の担当職員が毎回参加するなど、会と行政がまちづくりを協働で進めるための連携の素地ができていたことで、復旧にあたっての連絡・調整や役割分担を円滑に実施。[e] | ○酒造資料館・記念館の再建：震災前に6館あった資料館・記念館については、多くが修復により再建。再建にあたっては、モーターボート収益金による助成を活用。[u]<br>○酒蔵地区のイメージを踏まえた新築建物のデザイン的配慮：RC造により再建された酒蔵は高層化しているが、その形態は木造酒蔵の様式をイメージ的に引き継いでデザイン。<br>○市民協定による景観に配慮した街並みの形成：新在家南地区や魚崎郷地区等では、震災後に建築行為等における景観的配慮事項等を定めた市民協定を締結し、景観に配慮した街並み形成を推進。 | ○建築士同行のもとローラー方式で実施された罹災判定調査：「住宅復興補助金制度」の判定基準としても利用できるよう、日野町独自の「被害状況調書」の作成や所有者の建て替え意向調査も合わせて実施。[g]<br>○県による「住宅復興補助金制度」の創設と所有者負担ゼロの住宅復興支援：居住していた市町村内に住宅を再建する場合、再建300万円、補修150万円を助成上限額とした「住宅復興補助金制度」を県が創設。日野町では住宅の再建・補修および石垣の補修にかかる個人負担をゼロとし、上限付きの助成を実施。 | ○まちなみ景観を構成する家並みを守るための助成制度の工夫（改正）：「住宅応急修理制度」において、工事完了期限を延長したり、以前は助成対象とならなかった全壊家屋にも制度を適用。[a][m][v][y]<br>○「總持寺周辺地区まちづくり協議会」の活動：住宅相談会の開催、建ておこし現場の公開、まちづくり新聞の発行等により、まちなみ復興に対する理解を醸成。[o]<br>○復興基金の創設と「能登ふるさと住まい・まちづくり支援事業」の実施：県が創設した「能登半島地震復興基金」に基づく「能登ふるさと住まい・まちづくり支援事業」では、補助対象項目に「景観配慮」「建ておこし」が設定され、景観配慮の基準に基づき住宅復興に対する助成を実施。[a][m][t][v][y]<br>○「街なみ環境整備事業」によるまちなみ保全型の住宅復興：震災前より「街なみ環境整備事業」を導入していた總持寺周辺地区では、修景基準を満たした住宅等の復旧に同事業を活用した助成を実施。被災後は新築物件も助成対象とする等の特例措置で助成活用を促進。[a][m][v][y] | ○重伝建地区の選定と修理・修景事業の実施：平成3年からまちなみ調査を実施し、平成6年7月に重伝建地区に選定。被災した建物の修理・修景事業を実施。<br>○地元の職人による修理工事：周囲から逸脱するような現状変更は行われず。<br>○街なみ環境整備事業による歴史的なまちなみの整備：重伝建地区の修理・修景事業と合わせ、平成11年度から「街なみ環境整備事業」を導入。電線地中化や道路の美装化を実施。<br>○歴史的景観に配慮した県の港湾災害復旧事業：平成4年度に県の港湾・海岸保全事業として、蛭子神社下の雁木修理や、住吉神社下の親水護岸工事、千砂子波止の修理を実施。 | ○県職員による統括的な対応の実施：役場自体が被災したため、県職員が歴史的景観復旧を統括的に支援。[i][r]<br>○特例措置としての助成の前倒しによる外観改修の実施：被災を受け、県では特例措置として「歴史的景観形成地区」の外観改修への助成（景観形成支援事業）を前倒しで適用。さらに助成率、助成限度額を引き上げて復旧を促進。[b][n][z]<br>○早期段階における復旧に関する支援スキームの住民に対する広報・PR：被災16日後に、罹災証明発行所において景観形成支援事業実施の予告チラシを配布。1ヶ月後に景観形成支援事業説明会を開催。[n][z]<br>○地域を熟知している有識者による歴史的景観復旧のトータル支援：昭和50年代から景観アドバイザー等として関わっている国立明石高専の教授がハード、ソフトの歴史的景観復旧の枠組みをコーディネート。[h]<br>○景観アドバイザーによる修景助言の実施：景観形成支援事業の支援メニューの一つである景観アドバイザーの派遣を活用し、被害物件の復旧に関する修景指導を実施。[h] |
| 復旧にあたっての課題 | ○罹災判定結果に関する説明不足（全壊判定に対する誤解）：修理すれば住めるということに対する丁寧な説明が必要。[k]<br>○全額公費による建物の解体処理（取り壊しの増加）：歴史的建造物は、解体処理と同等の助成額を修理にも回せるという発想が必要。[p]<br>○早期の段階における未指定文化財に対する支援措置の設定：設定が遅れると、解体処理が進行。[s][u] | ○被害の甚大さ：木造の酒蔵の9割程度が倒壊。完全に倒壊した木造酒蔵の再建は困難な状況。[d]<br>○文化財としての指定がなかったことによる解体処理の進行：一部地域では昭和56年に伝建調査が行われていたが、当時は事業者等の反対により伝建地区の指定には至っておらず、歴史的景観等の文化財指定がなかったことで解体処理が進行。[d] | ○「住宅復興補助金制度」の工事完了期限など、運用面での課題：補助金交付の請求期限までに再建工事を完了させる必要があり、建設に時間のかる伝統的工法での再建が困難。[w]<br>○住家だけに適用された支援措置：蔵等の住家以外の歴史的建造物の解体処理が進行。[x] | ○応急危険度判定に関する説明不足（危険判定に対する誤解）：赤紙（危険判定）を貼られたことで「取り壊さなければいけない」との誤解が発生。[l]<br>○全額公費による建物の解体処理（取り壊しの増加）：修復可能である建物を震災に乗じて取り壊してしまうケースが発生。歴史的なまちなみの中でも、空き地化が進行。[q]<br>○特定の職人・業者へ依頼が集中したことによる、復旧工事の遅れ[j] | ○重伝建地区選定前の復旧：重伝建地区選定は被災の3年後であり、この間、個人所有の物件に対する支援措置が特に設けられていなかったことにより復旧が遅延。 | ○被災直後からの相談窓口の設置：現地の近場に相談窓口を置き、住民がいつでも相談に行けるようにすることが重要。（基準に合わない修理をしてしまった後に支援の要件<br>や内容が明らかになった場合に混乱が生じるため、支援の説明は早い段階で行う必要あり）[b][n][r] |
| ヒアリング実施日 | 平成23年9月27-28日 | 平成23年9月28日 | 平成23年12月7日 | 平成23年10月14-15日 | 平成23年12月6日 | 平成23年9月26日 |
| ヒアリング対象 | ・N区役所まちづくり課（被災当時は市教育委員会所属の担当者）<br>・K・Y地区をまもり、そだてる会 | ・N区役所まちづくり課（被災当時は市教育委員会所属の担当者） | ・総務課防災係、健康福祉課保険医療係、産業振興課林業振興係 | ・福祉環境部市民課<br>・K地区まちなみ保存会<br>・門前町S地区まちづくり協議会 | ・教育委員会文化振興課<br>・重伝建を考える会 | ・国立A高専建築学科教授<br>・兵庫県県土整備部まちづくり局景観形成室<br>・兵庫県西播磨県民局光都土木事務所河川復興室<br>・(公財)兵庫県まちづくり技術センター<br>・S町企画防災課まちづくり防災室 |

① 調査・計画・制度

a) 平常時における調査及び計画等の策定、修理・修景等の設定

災害発生直後の混乱した状況下においては、被災した歴史的建造物に関して、復旧の方針や修理・修景基準等を検討する時間的余裕はなく、それらを新たに設定することは困難である。輪島市[a]や佐用町平福地区[b]では、歴史的市街地の復旧においては、被災後の初動期の対応、特に、助成措置と連動した歴史的建造物の修理・修景基準を示すなど、歴史的建造物の復旧方針等を早期に示すことができた。こうした対応により、被災した歴史的建造物の解体処理に一定の歯止めをかけ、修理・修景に向けた取組みを講ずることができる。つまり、被災後の復旧の取組みを迅速かつ円滑に実施に移すためには、被災前の平常時において、歴史的市街地におけるまちづくりの方針や修理・修景基準等を設定するとともに、それらを地域住民間で共有しておくことが重要であると考える。

b) 歴史的建造物の歴史資源の文化財等としての価値付け

神戸市北野・山本地区[c]では、重要伝統的建造物群保存地区（以下、重伝建地区）に選定されていたことから、国からの手厚い助成もあり、異人館をはじめとして被災したほとんどの歴史的建造物が修復された。一方重伝建地区外では、解体処理されてしまった歴史的建造物もある。また、神戸市灘酒蔵地区[d]では、酒蔵などの歴史的建造物が文化財指定等されていなかったこともあり、約 50 件 100 棟あった歴史的酒蔵等の 9 割以上が解体処理されてしまった。

このように、平常時において、歴史的建造物のリストアップや文化財指定など、何らかの価値付けを行っておくことで、修復のための助成措置を講ずることができる。これにより、被災後の解体処理に一定の歯止めをかけることができるとともに、歴史的価値に配慮した修復を施すことができると考える。

② 体制・人的支援

a) 行政と地域住民等との平常時からの連携体制の構築

神戸市北野・山本地区[e]のように、被災前から、地域住民によるまちづくり団体の会合に市の担当職員が参加し、地域住民と行政が日常的にまちづくりについて協議する場を持つなど、連携の素地ができていたことで、復旧にあたっての連絡・調整や役割分担の円滑化につながっている。

こうした地域住民と行政との連絡・調整等の役割を担うことのできる連携体制は、被災直後の混乱時に新たに構築することは難しいと考える。つまり、①a)に示したように、平常時において歴史的市街地におけるまちづくりの方針や歴史資源に関する修理・修景基準等を行政と地域住民との間で共有するとともに、それらを実行に移すための連携体制についても、平常時から構築しておくことが重要であると考える。

b) 被災直後の被害状況調査やその後の復旧における専門家等の人的支援

［被災直後の被害状況調査等における支援］

歴史的市街地の復旧にあたっては、被災直後において歴史的建造物の被害状況を正確に把握することが、当該建造物の歴史的価値を継承した修復に向けて重要である。その際、村上 6)も指摘していることであるが、神戸市北野・山本地区[f]や日野町[g]のように、歴史的建造物の被害状況調査や修復方法の検討にあたり、文化財に関する専門知識を有する近隣の自治体職員や地元建築士などの人的支援が極めて有効である。

災害時においては、避難所対応等で被災自治体の行政職員が歴史的建造物の被害状況調査に時間を割くことが難しい状況も想定されることから、災害支援協定のような形で、こうした被害状況調査等を担う専門家等の人的支援の枠組みをあらかじめ構築しておくことが重要であると考える。

［復旧における専門家等の支援］

佐用町平福地区[h]のように、地域を良く知る専門家や学識経験者等が、アドバイザーなどとしてハードからソフトに至るまでトータルに復旧に関わることが、歴史的建造物を維持・継承するうえで効果的である。つまり、平常時だけではなく、災害時の復旧においても、こうした専門家等を円滑に派遣することができる枠組みを整えておくことが重要であると考える。

c) 都道府県による被災自治体（市区町村）の支援

佐用町平福地区[i]では、災害により町役場自体が被災したこともあり、歴史的市街地の町並みの復旧に向けて、その特性を把握している県職員が町職員に代わり、取組みの総括的な役割を果たしている。

大規模災害時など、被害が広域に及ぶ場合には、上述の②b)のように、都道府県を含めた近隣自治体からの行政職員の支援が欠かせないが、被害が一自治体の範囲にとどまるなど、それほど広範囲でない場合には、まず、被災した歴史的市街地の特性を把握している都道府県職員が支援を行うことが効果的であると考える。

d) 地元の伝統工法を熟知した職人（大工等）による修復

被災した歴史的建造物の修復にあたっては、伝統工法に基づく修復を行うことが望ましいが、大規模な災害の場合、輪島市[j]のように、歴史的建造物の修理・修復を担うことのできる業者や職人が不足することも想定される。そのため、できるだけ地元の伝統工法を熟知した大工等の職人に修復を依頼できるよう、平常時から伝統工法に係る職人のネットワークを構築しておくことが重要であると考える。また、このことは、地域の職人の育成や伝統技術の継承にもつながると考える。

③ 情報発信

a) 歴史的建造物が安易に解体処理されないようにするための早期の情報発信

地震等の災害時には、発災後直ちに、被災した建築物の余震等による倒壊の危険性等を判定する応急危険度判定が行われ、その後、罹災証明発行のための罹災判定調査が行われる。神戸市[k]や輪島市[l]の事例にみられるように、これらの調査で「危険」または「全壊」と判定された場合、歴史的建造物としての修理・修復が可能な物件であっても、判定結果に関する説明不足から、所有者は「もう住めない」と判断して取り壊してしまうケースも多い。そのため、被災した歴史的建造物については、発災後の早い段階で、専門家の調査に基づき、被害状況に関する正確な情報提供を行うことが重要であると考える。

また、特に輪島市[m]や佐用町[n]の事例にみられるように、復旧にあたっては、歴史的建造物が安易に解体処理されることのないよう、復旧方針の設定や支援の枠組みづくりを行い、できるだけ早い段階でそれらの広報に取組むこと、加えて、修復への動機付けとなる支援内容（助成率・助成額等）を早期に設定することが重要であると考える。さらに、輪島市總持寺周辺地区[o]のように、これらの取組みとあわせて、専門家等による相談会の開催、修理・修復現場の公開、まちづくりに関わる新聞や情報紙の発行といった広報及び情報発信を推進し、地域住民の歴史的建造物に対する意識を醸成することが、その維持・継承に効果的であると考える。

一方、震災等の災害時には、被災した建築物の瓦礫処分に対して、環境省所管の「災害等廃棄物処理事業費の国庫補助」が適用される。この補助は、瓦礫処分に関する市町村の負担を軽減し、速やかな復旧を図ることを目的としているが、神戸市[p]や輪島市[q]のように、この制度の適用により、修復可能な建物の解体処理が進行してしまう場合もあり、この観点からも、早期の適切な情報発信が重要であると考える。

b) 被災直後からの復旧等に関する相談窓口の設置

佐用町平福地区[r]では、被災後の早い段階から、県主導で景観復旧に関する支援措置の設定とその情報提供が行われ、効果をあげている。また、これらに関する相談窓口を被災地域の近傍に設置することがより効果的であるとの指摘もある。このように、歴史的建造物の修復に向けて、被災後の早い段階において、支援措置や修復方法等に関して住民がいつでも相談に行けるよう、できるだけ被災地域の近傍に相談窓口を設置することが重要であると考える。

④ 経済的支援措置

a) 復旧・復興に関する財源の確保

阪神・淡路大震災[s]や能登半島地震[t]では、各種の復旧事業等に柔軟に活用できる自由度の高い資金を確保するため、県や被災自治体等の出資による復興基金が設立された。この基金を活用して、指定文化財だけではなく、文化財に指定されていない歴史的建造物の修理・修復に対しても助成が行われ、歴史的市街地の復旧に一定の効果をあげている。

③a)に示したように、歴史的市街地の復旧にあたっては、被災した歴史的建造物に対して、早い段階で支援の枠組みを構築し、それを当該歴史的建造物の所有者らに情報発信することが重要である。つまり、こうした基金の設置により、比較的活用の自由度が高い財源を確保し、さらに被災した歴史的建造物の状況に応じた柔軟な支援の枠組みを構築することが、歴史的市街地の復旧において効果的であると考える。

b) 所有者の負担軽減による修理・復旧の促進

阪神・淡路大震災[u]や能登半島地震[v]では、国指定文化財については、国庫補助率の加算や、復興基金等の活用による地方公共団体負担の割増等により、修復費用の所有者負担を軽減している。同様に、都道府県及び市町村指定文化財についても、復興基金等の活用により所有者負担を軽減している。このように、指定文化財については、災害時は通常よりも手厚い助成措置が講じられ、修復にあたっての所有者負担の軽減が図られている。

一方、歴史的市街地には、登録有形文化財をはじめ指定文化財に準ずる歴史的建造物、いわゆる未指定文化財が多数存在する。こうした未指定文化財については、条例により物件を指定したうえで修理等に対する支援を行っているケースもあるが、一般には修理等に

対する支援措置は極めて少ない。しかし、災害時にこうした未指定文化財が一般住宅等と同等に扱われ手当てが遅れれば、特別の支援がないことで解体処理が進行する可能性は高く、歴史的市街地の特性が大きく損なわれることになりかねない。こうした状況に対し、前述の通り阪神淡路大震災や能登半島地震では、復興基金の設置により早い段階で財源等を確保し、未指定文化財の修理等への助成を行うことで所有者負担を軽減し、解体処理に歯止めをかけている。被災後の早い時期に、未指定文化財の歴史的価値に関する調査を行い、文化財指定に結び付けることは困難であると言わざるを得ない。すなわち、事前に対象をリスティング等しておくことが前提となるが、歴史的建造物の維持・継承に向けて、未指定文化財に対しても、被災後の早い段階で修理等に対する手当てを講じ、所有者負担の軽減を図る必要があると考える。

c) 経済的支援制度の柔軟な運用

住宅等の修理に対する経済的支援措置は、工事の完了期限が設定されることが多く、日野町[w]のように、この期限設定が短いことで、工事に時間のかかる伝統的工法が敬遠される場合がある。また、日野町[x]のように、助成対象が住宅に限定されることで、蔵や集会施設等は歴史的価値が高くとも助成を受けることができない場合や、輪島市のように、助成制度の創設が遅れたり、助成の適用審査が厳しかったりすることで、助成の適用件数や助成額が当初の見込みを大きく下回る場合もある。つまり、歴史的建造物の修理・修復に対する助成制度については、こうした運用上の課題に配慮したうえで、被災後のできるだけ早い段階で制度を構築するとともに、現場の状況に応じた柔軟かつ適切な運用が可能となる枠組みを整えることが重要であると考える。

d) 被災を契機とした修景等の促進

輪島市[y]や佐用町[z]のように、歴史的市街地における住宅等の修理等の助成にあたり、一定の景観配慮事項等を要件として設けることで、歴史的建造物の修理等にとどまらず、その周辺を含めた町並みの修景・誘導を図ることができる。

このように、復旧にあたっては、助成とあわせて規制・誘導を行うなど、被災前の状態に戻すだけではなく、被災を契機として、被災前の歴史的市街地の課題を改善する視点を持つことも重要であると考える。

3) 歴史的市街地の復旧プロセスに関する考察

以上の分析結果を踏まえ、本項では、歴史的市街地における復旧の取組み手法及びプロセスについて考察する。

考察にあたっては、平常時も含めた復旧の時間軸（表-Ⅳ.12.2.3.2）に着目し、平常時から復旧時に至る段階に沿って考察する。

また、以下に考察する歴史的市街地の復旧に資する取組み手法及び取組みの相互関係に着目した復旧プロセスの考え方を図-1 に示す。

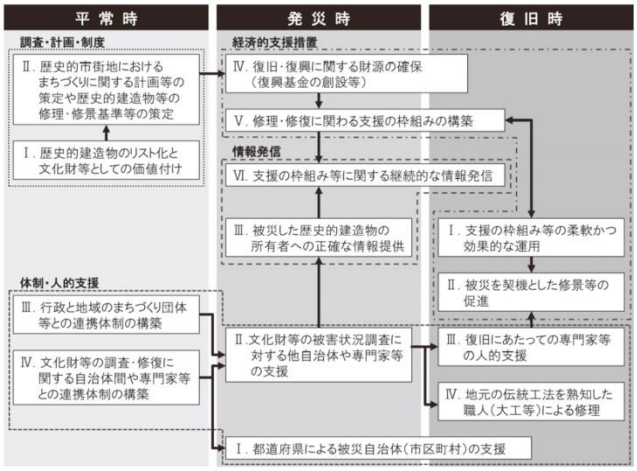



**図-Ⅳ. 14. 2. 3. 1　歴史的市街地の復旧に資する取組み手法及びプロセス**

① 平常時

各事例分析から明らかなように、平常時の取組みが、発災時及び復旧時の取組みの拠り所となることが多く、

**表-Ⅳ. 14. 2. 3. 2 復旧の時間軸設定の考え方**

| 時間軸 | | 考え方 |
|---|---|---|
| 平常時 | 災害発生前の段階 | － |
| 発災時 | 災害発生から 概ね 1～2 か月間 | 災害が発生し、各種被害状況調査が行われ、復旧にあたっての方針等が検討・設定される段階 |
| 復旧時 | 災害発生から 概ね 1～2 年間 | 復旧に関する財源を確保し、復旧に関する各種の支援措置や事業が実施される段階 |

言い換えれば、平常時において発災時や復旧時を意識して取組みを進めておくことで、そうした取組みが発災時や復旧時に大きな効果を発揮するということができる。こうした平常時の取組みとして、まず、「I. 歴史的建造物のリスト化と文化財等としての価値付け」及び「I. 歴史的市街地におけるまちづくりに関する計画等の策定や歴史的建造物の修理・修景基準等の策定」があげられる。これらの取組みは、発災時や復旧時における被害状況調査を実施する際や、支援措置を講ずる際などに、極めて重要な役割を果たすこととなる。逆に、これらの取組みの蓄積がなければ、被害状況調査や支援措置が滞ることとなりかねない。

その他の平常時の取組みとしては、「II. 行政と地域のまちづくり団体等との連携体制の構築」及び「IV. 文化財等の調査・修復に関する自治体間や専門家等と

の連携体制の構築」があげられる。平常時からこうした連携体制を構築し、事前に災害時の対応や役割分担を定めておくことで、発災時や復旧時の円滑かつ迅速な取組みの推進が可能となる。

② 発災時

発災時の取組みとして、歴史的建造物の被害状況調査と、この調査結果に基づく復旧に関する支援の枠組みの構築、さらにそうした支援策等に関する情報発信を挙げることができる。具体的には、まず発災時の混乱した状況下では被災自治体の行政職員が歴史的建造物の被害状況調査に時間を割くことが難しい状況も想定されることから、その後の復旧にあたっての対応も含めて、「I.都道府県による被災自治体（市区町村）の支援」や「I.文化財等の被害状況調査に対する他自治体や専門家等の支援」が極めて重要となる。

次に、応急危険度判定や罹災判定調査に基づく歴史的建造物の安易な解体処理を抑制するためには、前述の被害状況調査の結果を踏まえて、被災後の早い段階で「I.被災した歴史的建造物の所有者への正確な情報提供」を行う必要がある。

さらに、指定文化財だけでなく未指定の歴史的建造物の解体処理を抑制するためには、「IV.復旧・復興に関する財源の確保（復興基金の創設等）」とともに、「V.修理・修復に関わる支援の枠組みの構築」が重要である。その上で、こうした支援の内容を被災した歴史的建造物の所有者に周知するため、説明会の開催や相談窓口の設置などにより「VI.支援の枠組み等に関する継続的な情報発信」を行うことが効果的である。

③ 復旧時

復旧時においては、まず、被災現場の状況に応じて、「I.支援の枠組み等の柔軟かつ効果的な運用」により、指定文化財のみならず、未指定文化財も含めて、所有者負担の軽減に努め、被災した歴史的建造物の解体処理を抑制することが望ましい。さらに、歴史的市街地を被災前の状態に戻すだけではなく、被災を契機としてより良好な状態とするため、助成措置と合わせて規制・誘導を行うなど、「I.被災を契機とした修景等の促進」を図る視点を持つことも重要である。

また、こうした取組みに対するアドバイス等を得るために「II.復旧にあたっての専門家等の人的支援」を仰いだり、歴史的建造物を適切に維持・継承するために「IV.地元の伝統工法を熟知した職人（大工等）による修理」を促進したりすることが、以後の復興に向けた礎を築く上で重要である。

### Ⅳ.14.2.4　東日本大震災における復旧事例分析

4）分析対象事例の選定と文献及びヒアリング調査結果

本研究では、東日本大震災における復旧事例として、東日本の沿岸部及び内陸部において、主に地震動により大きな被害を受けた歴史的市街地に着目して、分析対象事例 5 事例を選定した。調査結果の概要を表-3 に示す。

5）事例分析結果と考察

この調査結果を第 3 章の考察に照らして、復旧の取組み手法及びプロセスの有効性について考察する。なお、文中の[]は、表-Ⅳ.14.2.4.1 の対応個所を示す。

① 平常時

香取市佐原地区[A]や桜川市真壁地区[B]では、すでに重伝建地区に選定されていたことから、地区内の歴史的建造物に対する被害状況調査をはじめとする初動期の対応がなされ、さらに各種制度を活用した修理・修復に関わる支援などが実施されている。また、歴史的風致維持向上計画の認定都市である白河市[C]や多賀城市[D]では、計画策定に際し、歴史的建造物の分布等の調査を実施しており、そのことが、被災直後における被害状況調査の実施対象の速やかな抽出や復旧方策の早期の検討につながっている。ただし、白河市[E]では、歴史的風致形成建造物の修理基準等が未策定であり、その作成に時間を要したことが復旧を遅らせた要因として挙げられた。一方、桑折町では、震災前に歴史的建造物に係る計画策定や文化財指定等が行われていなかったこともあり、本調査実施時点では被害状況調査等は行われておらず[F]、さらに被災した歴史的建造物の修理等に対する有効な支援措置を講ずることもできていない[G]。そのため、歴史的建造物の解体処理の進行を抑制できていない状況にある。これらから、平常時における「I.歴史的建造物のリスト化と文化財等としての価値付け」及び「I.歴史的市街地におけるまちづくりに関する計画等の策定や歴史的建造物等の修理・修景基準等の策定」が、発災時の取組みにつながる重要な取組みであることを確認できる。

また、香取市佐原地区[H]や白河市[I]では、被災前から歴史的建造物等の保全に関わってきた NPO などの地元組織と行政が連携して、被災直後に歴史的建造物の被害状況調査等を実施している。このことから、平常時における「I.行政と地域のまちづくり団体等と

# 表-Ⅳ.14.2.4.1　東日本大震災における復旧事例調査結果　（概要）

| 分析対象事例 | 茨城県S市M地区 | 宮城県T市 | 千葉県K市S地区 | 福島県S市 | 福島県K町 |
|---|---|---|---|---|---|
| 歴史的市街地の保全・形成に関わる主な地区指定等 | ◇重伝建地区（H2.6.29選定、17.6ha）<br>◇歴史的風致維持向上計画重点区域（195ha）<br>（H21.3.11認定） | ◇歴史的風致維持向上計画重点区域（327ha）<br>（H23.12.6認定（被災後に認定）） | ◇重伝建地区（H8.12.10選定、7.1ha）<br>◇景観形成地区（重伝建地区周辺区域）（K市佐原地区歴史的景観条例） | ◇歴史的風致維持向上計画重点区域（761ha）<br>（H23.2.23認定） | （歴史的市街地の保全・形成に関わる地区指定等はなし） |
| 被害状況 | ・重伝建地区内の伝統的建造物（建築物）104棟（国登録有形文化財）のうち、約7割に屋根大棟の崩壊、瓦の落下やズレ、外壁の崩壊・剥落・亀裂等の被害が発生。うち2棟は解体撤去。 | ・重点区域内の歴史的建造物である板倉・石倉・土蔵に、地震による倒壊はなかったもの、全161件189棟のうち約20棟について、主屋と一緒に取り壊したいといった解体の意向あり。<br>・その他、津波により、市指定文化財沖の井の浸水被害や、貞山運河の護岸崩落などの被害あり | ・重伝建地区の伝統的建造物95件のうち60件に被害あり。<br>・景観形成地区内の指定建築物36件のうち24件に被害あり。<br>・重伝建地区の中心を流れる小野川の護岸の崩落、孕み等の被害が発生。 | ・重点区域内の歴史的建造物である蔵のうち、被害なし81棟、外壁破損93棟、外壁亀裂36棟、屋根や瓦の被害26棟となり、およそ6割以上に被害あり。<br>・その他、国指定史跡小峰城の石垣が崩落したほか、国指定史跡及び名勝南湖公園の護岸石積みが崩落。 | ・国指定重要文化財の伊達郡役所で、壁のクラック等の被害が発生.<br>・奥州街道沿いに点在する蔵等の歴史的建造物（未調査のため棟数は不明）にも、外壁の崩壊等の被害あり。 |
| 復旧の取組み | 2）体制・人的支援<br>○他の自治体からの調査支援：伝統的建造物群保存地区協議会（以下、伝建協）に技術協力を要請し、5市から1週間ごとのリレー形式で、文化財担当者等の技術協力を確保。これらの支援職員の方に重伝建地区内の特定物件の調査等を依頼。[B][J]<br>○有識者の協力による調査とアドバイス：筑波大学の教授等の協力で登録有形文化財の調査が行われ、修理方針を決定。[B][J]<br>3）情報発信<br>○支援措置に関する早期の情報発信：重伝建地区外の登録有形文化財に対する助成方針は3月25日頃に決定したが、市としては何らかの支援措置を講ずることを想定していため、震災直後に実施した被災確認調査の際に、今後補修について市が支援することを1軒1軒にアナウンス。[O]　4）経済的支援措置　○重伝建地区の特定物件の修理支援拡充：通常は上限800万円、所有者負担2割の助成を、上限なし、所有者負担1割に変更。9割補助での修復が可能となったことが後押しとなり、7件の歴史的建造物を特定物件へ追加指定。[B][N]　○登録有形文化財に対する修理助成：重伝建地区外の登録有形文化財に対し、歴史的風致形成建造物に指定することで、上限300万円、所有者負担1/3の修理助成を実施。これにより、震災直後は取り壊しの意向があった建物についても、修復・保存することができた物件あり。[N][O] | 2）体制・人的支援<br>○他の自治体からの調査支援：友好都市、全国史跡整備市町村協議会、あやめサミットなどで以前からつながりのあった自治体からの人的支援を受け、板倉等合わせて161件189棟の調査を実施。（5月末～6月末）[D][K]<br>○大学との連携による調査：東北工業大学教授ほか院生・ゼミ生12名（延べ53名）により、解体予定の倉（延べ24棟）の記録保存調査を実施。一部譲り受けた倉あり。[K]<br>3）情報発信<br>○ヒアリング実施時点では、倉などの未指定文化財の復旧に対する支援制度が無いため、所有者へ具体的な支援の約束ができない状況。所有者の相談に乗り、できるだけ残してもらう よう 依頼。[R]<br>4）経済的支援措置<br>○ヒアリング実施時点では、倉等の未指定文化財の復旧に対する支援制度が無い状態であるが、歴史的風致維持向上計画が認定されれば「板倉等調査・保存・活用事業」の一環として支援する予定。[R] | 2）体制・人的支援<br>○地元組織・団体による調査協力：佐原町屋の修理マニュアル作成を目的に、平成21年度に設立した「佐原町屋研究会」が被災物件の詳細調査を実施。また、これまで未整理であった建築年代調査や図面作成等も合わせて実施。同会が存在していたことで早期の段階から詳細な調査が可能に。[A][H]<br>3）情報発信<br>○「町並み建物修理相談会」の開催：4月4～8日に重伝建地区内の被害物件の所有者に対する相談会を開催し、破損部位と被害状況についての聞き取り調査を実施。あわせて住宅応急修理制度等の支援事業についてのアナウンスを実施。[A]<br>4）経済的支援措置<br>○重伝建地区の特定物件の修理支援拡充：助成の上限額を通常の70万円から1,0万円に変更（所有者負担は通常時と同様の2割）。また、市が直接施工監理者と契約して費用負担することで、施工監理費の個人負担を軽減。[A][M]<br>○指定文化財の修理支援拡充：県指定文化財についても、助成率を通常の2/3から95%に引き上げ。[M]<br>○未指定文化財に対する修理助成：景観形成地区の指定物件は、街なみ環境整備事業を活用して修復を実施（助成率2/3、上限50万円）。[M] | 2）体制・人的支援<br>○地元組織・団体による調査協力：歴史的風致形成建造物の候補などを対象に、市と「NPO法人しらかわ建築サポートセンター」で調査を実施。歴史的風致形成建造物への指定を前提とした調査を実施し、被害状況調査の他に建築年代調査や図面作成も実施。[C][I]<br>○有識者の協力による修理マニュアル作成：東北工業大学の教授に土壁や屋根瓦の修理方法について指導を仰ぎ、この指導に基づき修理方法のマニュアルを作成。[C][L]<br>3）情報発信<br>○支援措置に関する早期の情報発信：3月下旬に所有者を訪問し、歴史的風致形成建造物への指定の働きかけを実施。支援内容が固まっていく過程で5～6回にわたり説明を実施。4月下旬に、市で被災した歴史的建造物の修復に対する支援措置を考えていることを伝える文書を配布。また、5月の連休前後に、市長が歴史的建造物所有者を訪問し、直々に建造物の保全を依頼。市長自らが出向いたことは所有者に大きなインパクトを与え、それまで取り壊す意向を示していた所有者の中にも、建物を保全する意向へ変化した人あり。[P]<br>4）経済的支援措置<br>○未指定文化財に対する修理助成：被災前に予定していた街なみ環境整備事業の予算を歴史的風致形成建造物保存修景事業にあて、助成率1/2、上限額30万円の修理助成を実施（11月時点で23件を指定）。[P] | 1）調査・計画・制度<br>○国指定重要文化財である「旧伊達郡役所」については4月中旬に文化庁の職員が現地入りし、被害状況調査を実施。一方、奥州街道沿いに点在する蔵等の歴史的建造物については、文化財等としての指定がないため、歴史的資源としての詳細な被害状況調査は未実施。[F]<br>3）情報発信<br>○一部損壊建物の修理に対する支援制度については、6月29日発行の広報こおり号外で、助成の内容を周知。<br>4）経済的支援措置<br>○一部損壊建物の修理に対する支援：国の支援制度では、一部損壊の住宅に対して支援が受けられないため、一部損壊の建物の修理に対し、上限額10万円、助成率10%の支援措置を町費単独で実施。ただし、この制度は住宅のみを対象としているため、蔵は助成の対象外。 |
| 復旧にあたっての課題 | 2）体制・人的支援<br>○職人不足：左官職人が不足しており、これから確保する必要あり。左官職人1人で同時に修復できる建物の数は3棟と言われているが、土壁の修復工程は2年かかるため、復旧事業3年間のうち来年・再来年の2年間で同時並行的に修理を進めるには、3棟につき1人の左官職人が必要。[S]<br>3）情報発信<br>○支援措置の公表のタイミング・仕方：登録有形文化財に対する支援措置に関して、早い段階で公表してしまうと、一般住宅の修理には支援措置がないことも あり、混乱する可能性あり。そのため、支援措置を公表するタイミングや公表の仕方が難しい。 | 1）調査・計画・制度<br>○歴史的建造物の価値付けと周知：説明板やプレートの提出<br>など、貴重なものであることを周知することによる所有者の意識向上が重要。<br>2）体制・人的支援<br>○保存が前提の文化財ドクター事業：初動機の被害状況調査に対する協力を得にくい。<br>4）経済的支援措置<br>○早急な支援事業の立ち上げ：早急な助成金措置を打ち出せていないため、事業立ち上げ前に解体・修理が進行。[R]<br>○個人の財産形成につながる行為に対する支援の難しさ：個人所有の文化財に対し、行政がどこまで支援するかの判断が難しい。[R] | 2）体制・人的支援<br>○職人不足と工事単価の高騰：瓦職人が不足しており、震災後に市内の労働単価が3倍に上がったため、市では、市外や県外の業者に見積もりを依頼するよう アドバイスを実施。[S]<br>4）経済的支援措置<br>○制度的課題：街なみ環境整備事業による助成は、1つの物件につき1度しか受けられないため、震災前に助成を受けた建物はこの助成を復旧に活用できず。このため、何の助成も 受けられない物件が2～3件あり。また、原形復旧が基本となる文化財の災害復旧支援について、被災前よりも 望ましい状態に復旧するよう な修景も支援対象に含まれるのか、その判断が難しい。[U] | 1）調査・計画・制度<br>○支援制度運用のマニュアルづくり：歴史的風致形成建造物の修理基準等が未策定であり、その作成に時間を要したことが、復旧を遅らせた要因の一つ。[E]<br>4）経済的支援措<br>○伝統工法での修復の難しさ（工事期間、費用、資材・職人の不足）：伝統的な工法で修復や修景をすると、費用がかさんで個人負担が増えたり、工事期間が長くなり事業の会計年度内に完了できない場合あり。また、当初は伝統工法で修復することを考えていたが、資材の不足や職人の減少等もあり、約9割の工事は現代工法で修復せざるを得ない状況。今後は、今までどおり現代工法での修復等を続けていくかどうか検討する必要あり。[S][T] | 1）調査・計画・制度<br>○歴史的建造物の価値付け：何の支援制度もないのであれば蔵を取り壊したいという 意向の所有者が多い。これまで蔵などの歴史的建造物に対し、価値付けを行ってこなかったが、何らかの価値付けがないと、行政が個人所有の建物に対して支援することは難しい。[G][Q]<br>4）経済的支援措置<br>○公費による解体処理：半壊以上の判定を受けた建物には、解体費用の助成が受けられため、この制度を 利用した蔵の取り壊しが進行。<br>○制度的課題：被災者生活再建支援制度は住宅を対象とした制度であるため、蔵は助成対象外。 |
| ヒアリング実施日 | 平成23年9月14日 | 平成23年10月6日 | 平成23年11月7日 | 平成23年11月10日 | 平成23年12月2日 |
| ヒアリング対象 | 教育委員会文化生涯学習課 | 建設部都市計画課、教育委員会文化財課文化財係 | 建設部都市計画課事業推進班 | 建設部都市計画課歴史まちづくり室 | 地域整備課、生涯学習課文化財係 |

の連携体制の構築」が、発災時における円滑な調査等の実施につながっていると見ることができる。

さらに、桜川市真壁地区[J]や多賀城市[K]、白河市[L]では、歴史的市街地に係る協議会等を通してつながりの深い他自治体の文化財担当者、さらに地域を良く知る専門家等の派遣を受け、被害状況調査にはじまり、その後の復旧方策の検討に至るまで継続的に協力を得ている。ただし、桜川市真壁地区や多賀城市が他自治体から文化財担当者の派遣を受けたのは、発災から 1 ヶ月半以上経った時点であり、平常時に支援協定等の連携体制を構築しておけば、より早期に円滑な支援を受けることができた可能性がある。このことから、平常時における「IV.文化財等の調査・修復に関する自治体間や専門家等との連携体制の構築」の重要性を確認できる。

② 発災時

被災した歴史的建造物の被害状況調査については、前述の通り、香取市佐原地区[H]や白河市[I]では地元組織、桜川市真壁地区[J]や多賀城市[K]では、県や他自治体の文化財担当者等の協力を得て行われている。

さらに、桜川市真壁地区[J]や多賀城市[K]、白河市[L]では、地域を良く知る専門家等の協力を得て、被害状況調査や復旧に向けた取組みを進めている。このように、東日本大震災のような広域に被害が及ぶ災害の場合には、「I.文化財等の被害状況調査に対する他自治体や専門家等の支援」が不可欠であるということができる。

経済的支援措置については、香取市佐原地区[M]や桜川市真壁地区[N]では、重伝建地区の文化財修理に対する国の負担率が引き上げられたほか、重伝建地区の特定物件への追加指定や重伝建地区の周辺地区等における国指定文化財以外の歴史的建造物に対する助成等が行われている。なお、桜川市真壁地区では、復興基金を活用した県からの助成率の引き上げが行われるなど(1)、歴史的建造物の所有者負担を軽減するための措置が講じられている。さらに、歴史的風致維持向上計画の認定都市である桜川市真壁地区[O]や白河市[P]では、歴史的風致形成建造物を追加指定するなど、助成対象を拡大する取組みも行われている。こうした支援措置については、説明会・相談会や個別訪問の形で、比較的早期から所有者等への情報提供が行われており、これらにより解体処理の進行に一定の歯止めがかけられている。

一方、歴史的建造物のリスティングや価値付けが行われていなかった桑折町[Q]や、発災時は歴史的風致維持向上計画の認定前であった多賀城市[R]では、被災から半年以上が経過した段階で、歴史的建造物の修理に対する有効な支援措置を講ずることができていない状況となっている。

すなわち、発災時においては、平常時の取組みを踏まえて、経済的支援措置として「IV.復旧・復興に関する財源の確保（復興基金の創設等）」及び「V.修理・修復に関わる支援の枠組みの構築」が重要であるとともに、これらに関して「VI.支援の枠組み等に関する継続的な情報発信」を行うことが重要であるということができる。

③ 復旧時

復旧時の取組みについては、東日本大震災においても、過去の自然災害における復旧事例と同様に、歴史的建造物の修復を担うことのできる職人が不足し、それに伴い工事単価が高騰するといった課題[S]や、伝統工法による修復は工事に時間と費用が掛かるため適用が難しいといった課題[T]の指摘がある。このことは、前述した平常時の備えとともに、復旧時における「II.復旧にあたっての専門家等の人的支援」及び「IV.地元の伝統工法を熟知した職人（大工等）による修復」の重要性を示すものである。

一方、茨城県の「文化財等災害復旧補助事業」の実施は、復興基金創設の遅れに伴い、創設が発災からほぼ 1 年が経過した時点であったが(1)、被災直後の工事まで溯って申請することのできる措置がとられたことで、歴史的建造物の修復に効果をあげている。このことは、「I.支援の枠組み等の柔軟かつ効果的な運用」の有効性を示すものであるということができる。

また、香取市佐原地区では、歴史的建造物の復旧に際して、一部の物件で被災前にあったパラペットを撤去するなど、「I.被災を契機とした修景等の促進」に相当する取組みが行われている。ただし、制度上、災害復旧は原形復旧（被災直前の状態に戻す）ことを基本としているため[U]、歴史的建造物の災害時における原形復旧のあり方については、今後、より柔軟な制度運用について検討する余地がある。

### Ⅳ.14.2.5 まとめ

本研究では、まず、過去の自然災害における復旧事例 6 事例の分析に基づき、「調査・計画・制度」「体制・人的支援」「情報発信」「経済的支援措置」の視点から、歴史的市街地の復旧に資する取組み手法を抽出した。その上で、「平常時」「発災時」「復旧時」の時間軸及び

各取組みの相互関係に着目して復旧プロセスについて考察した結果、平常時における歴史的建造物のリスティングや価値付け、修理・修景基準等の策定、さらに住民・行政・専門家の連携体制の構築等が、発災時の迅速な対応や復旧時の効果的な取組みの実施につながることを明らかにした。

加えて、東日本大震災における復旧事例 5 事例の分析に基づき、これらの取組み手法及びプロセスの有効性を確認するとともに、その成果を図-Ⅳ.14.2.3.1 として取りまとめた。

謝辞

ヒアリング調査にご協力いただいた各事例関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

補注

(1)阪神大震災や能登半島地震では、復興基金を創設し、この基金を活用した歴史的建造物の復旧支援が行われた。東日本大震災では、発災から 7 ヵ月後の平成 23 年 10 月に総務省から「取り崩し型復興基金」の創設が公表され、茨城県ではこの基金を活用した「文化財等災害復旧補助事業」の実施を平成 23 年 12 月議会で議決し、復旧に関わる所有者負担の 3/4 の助成を実施している。

参照文献

1)駒井悟・足立祐司（1999)、阪神・淡路大震災後における歴史的建造物の保存・建て替えに関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集計画系（39)、pp.965-968、日本建築学会

2)山崎寿一・中川和樹（2010)、能登半島地震被災集落・道下の住宅復興の実態、日本建築学会計画系論文集 No.651、pp.1151-1158、日本建築学会

3)山口実里・福留邦洋・岡崎篤行（2008)、中山間地における震災被災住宅の修復過程と専門家の役割、日本建築学会技術報告集 14（28)、pp.573-576、日本建築学会

4)山下泰士・川上光彦・宮脇達也（2009)、輪島市鳳至地区における震災復興のためのまちづくり計画支援、日本建築学会北陸支部研究報告集（52)、pp.411-414、日本建築学会

5)小柳健・川上光彦（2011)、震災を受けた歴史的市街地における住宅再建実態と町並み保存に向けた合意形成過程、日本建築学会計画系論文集 No.659、pp.91-99、日本都市計画学会

6)村上裕道（2007)、自治体の役割と活動、日本建築学会文化遺産災害対策小委員会調査委員会編､『震災後の文化財に対する総合的な対処方法・体制についての調査研究』、pp.15-24、神戸大学

**参考文献**

1) 阿部貴弘、災害時における歴史的市街地の復旧プロセスに関する基礎的研究-過去の自然災害及び東日本大震災における歴史的市街地の復旧事例分析から-、都市計画論文集、Vol.48.No.3、pp.207-212、平成 25 年 10 月.

2) 駒井悟、足立祐司、阪神・淡路大震災後における歴史的建造物の保存・建て替えに関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集計画系､39､pp.965-968、1999 年 5 月.

3) 山崎寿一、中川和樹、能登半島地震被災集落・道下の住宅復興の実態、日本建築学会計画系論文集、No.651　　、1151-1158、2010 年.

4) 山口実里・福留邦洋・岡崎篤行、中山間地における震災被災住宅の修復過程と専門家の役割、日本建築学会技術報告集、Vol.14, No.28、pp.573-576、2008 年.

5) 山下泰士・川上光彦・宮脇達也、輪島市鳳至地区における震災復興のためのまちづくり計画支援、日本建築学会北陸支部研究報告集､No.52､pp.411-414、2009 年.

6) 小柳健・川上光彦、震災を受けた歴史的市街地における住宅再建実態と町並み保存に向けた合意形成過程､日本建築学会計画系論文集､No.659､pp.91-99、2011 年.

7) 村上裕道、自治体の役割と活動、震災後の文化財に対する総合的な対処方法・体制についての調査研究、pp.15-24、2007 年.

# Ⅴ．津波からの多重防御・減災システムの構築に向けた分野横断的取り組み

Ⅰ.3.2 において、調査研究の全体俯瞰図（図-Ⅰ.1）を参照しつつ、一連の調査研究において分野横断の取り組みが求められる場合の代表例の１つとして、「津波からの多重防護・減災システムの構築」があることを示した。この課題は、分野横断研究の必要性を示すという点にとどまらず、東日本大震災を受けて行った調査研究群の技術政策への反映という点においても高い代表性を持つ。そこで、本研究報告の最後に当たる本Ⅴ部では、第Ⅲ部に示した被害調査の成果を基盤として創出した第Ⅳ部の研究成果を、上記課題の推進に資するための横断的取り組みという観点から改めて総括し、「本研究報告の特徴」のところで述べた総合性（synthesis）の意義を強調して、本研究報告の結語とする。

## Ⅴ.1　システム構築に必要な技術開発の骨格

既述のように、東日本大震災のような大規模津波に対処するためには、ハード・ソフト施策を総動員する多重防御による減災システムの構築が求められる。このシステムの構築において技術的骨格となるものは次のように整理できる。なお、以下の【】は技術検討の主たる対象あるいは場を示す。

イ）【津波】最大クラスまでを想定した、防災施設が対応できるレベルを超えた津波外力の設定
ロ）【津波】起こりうる津波浸水の想定
ハ）【津波】津波浸水時の被害生起に関わる津波作用の設定：津波浸水を受けても被害を起こりにくくする方策の技術検討に活用
ニ）【津波】津波侵入状況をいち早く把握し、即時減災策の実行に役立てるための手法
ホ）【人】円滑な避難を実行する方策の検討に資する手法
ヘ）【沿岸・港湾・海岸】津波の侵入を防ぐ施設の機能向上：設計外力を超えた津波を受けても、すぐには機能の完全喪失に至らない粘り強さの付与
ト）【陸域】津波浸水を受けても被害を起こりにくくするための施設等の整備における工夫
チ）【陸域】インフラの整備や土地利用に、本来目的に加えて減災策を組み込む方策
リ）【減災マネジメント】津波侵入時の減災マネジメント向上に資する手法

以上の各項目について、本調査研究がどのような検討を行い、成果を提示したかを次に述べる。

なお国総研においては、プロジェクト研究として「津波からの多重防御・減災システムに関する研究」を平成 23～26 年度に実施し、その成果がプロジェクト研究報告書第 52 号にまとめられている。この文献は本研究報告においてコア文献の１つとなっており、第Ⅲ、Ⅳ部の各所で参照してきている。ここでは、このプロジェクト研究で扱った内容を中心にしつつも、それだけに限定せず、標記課題と関係の深い取り組みの成果も取り込んで総括している。

## Ⅴ.2　システム構築と本研究報告に収められた内容との関係

<u>イ）に関わるもの</u>

Ⅳ.1.3.1 において、既往津波の痕跡調査結果の整理や津波シミュレーションを用いて、レベル 1（設計津波水位）、レベル 2（最大クラスの津波）の 2 段階の津波外力を設定する手順・方法をとりまとめたことを述べた。

<u>ロ）に関わるもの</u>

同じくⅣ.1.3.1 において、レベル 2（最大クラス）の津波に対する浸水想定を行うための手引きの作成過程について述べた。ここで用いられる津波浸水シミュレーションの適用法は、津波ハザードの評価だけでなく、避難地の設定やゾーニングを行うことにも用いられる。また、二線堤や盛土等による氾濫流制御の効果と制御施設に必要な安全性能の検討にも用いられる。

<u>ハ）に関わるもの</u>

陸域に津波が侵入する際、建築物の存在により、それがない場合に対して浸水位が上昇する。この上昇量は、浸水時にも当該建築物が利用可能かどうか、

あるいは、どの階以上が利用可能かを判断する上で必須となる。こうした観点から定義された「基準水位」について、Ⅳ.1.3.2 とⅣ.1.4.4 において、その設定法の検討過程を述べた。

浸水という観点では安全でも、当該建築物が津波により破壊されると、居室者は危険にさらされる。このため、津波に対する建築物の構造的安全性を判断するための津波荷重の設定が求められる。Ⅳ.8.1.1 とⅣ.8.1.2 において、津波避難ビルの設計に必要となる津波荷重の設定の合理化などを検討した内容を述べた。

なお、種々の対象物に適用される津波波力の各設定法に、工学的な合理性を有する技術系統があることをⅣ.1.4.5 で説明した。

河川を遡上する津波については、特に今回見られた河川から堤内地への顕著な氾濫やその逆を伴う際の挙動を、実験、解析および現地データの比較から詳細に調べた結果を、Ⅳ.4.1 で述べた。

ニ）に関わるもの

Ⅳ.1.3.4 においては、予報津波高と施設状況に対応して浸水範囲を迅速に表示できる津波浸水域検索システムの開発について述べた。これは、最大クラスだけでなく、頻度の高い津波の津波警報を受けて発出される防災情報（避難指示・勧告等）の信頼性や具体性を高め、防災・減災のための行動が的確に行われることに寄与することをねらったものである。Ⅳ.6.1.2 では、海洋レーダーによるリアルタイムでの面的津波検知技術の開発内容を述べた。

ホ）に関わるもの

Ⅳ.6.1.1 においては、港湾地域を対象に、津波避難シミュレーションの高度化、その有効性の検証を行い、また、避難者の動きを把握する人流計測システムを構築し、その有効性を確認した結果を述べた。

Ⅳ.10.1 では、津波避難の安全性確保を市街地整備に考慮することを可能にするために、徒歩避難および車両避難を対象に津波避難シミュレータを開発し、市街地整備計画に活用する方法を検討した内容を述べた。

ヘ）に関わるもの

Ⅳ.4.4.1 とⅣ.4.4.2 では、台形断面盛土の三面被覆を基本構造とする海岸堤防について、設計外力を超える津波に対しても、破壊するまでの時間が少しでも長くなる、あるいは、全壊に至る可能性が少しでも減じる構造上の工夫の検討過程と内容を述べ、また、この粘り強さの付与がもたらす減災効果の試算結果を述べた。

Ⅳ.6.2.2 とⅣ.6.2.3 では、海岸保全施設（防潮壁）と港湾施設（防波堤）の耐津波設計の検討を行った結果を、防波堤について上記と同様に粘り強い構造とする工夫の提案とともに述べた。

上記は、設計外力を超える津波に対して粘り強さを発揮させるための構造上の工夫を施すという目標を共有しつつ、対象とする構造物の技術的特徴に応じて的確な工夫をそれぞれに編み出すという検討体系となっている。

ト）に関わるもの

Ⅳ.1.3.3 では、特定開発行為（津波防災地域づくりに関する法律が定めるものであり、特別警戒区域において社会福祉施設、学校及び医療施設等を建築する予定の開発行為）にかかわる技術的基準の検討過程を述べた。特定開発行為には、厳しい津波浸水が想定される中、津波浸水時に十分な安全性が確保されるように開発を行うことが義務づけられるものであり、それを達成する技術的要件が、この基準に示されている。

Ⅳ.8.1.3 で述べた外壁材の脱落を考慮した耐津波設計法の開発は、津波浸水時の外壁材脱落の有無が建築物に作用する津波荷重に影響を与えることに着目し、脱落の条件を明確にして、耐津波設計の合理化を図ろうというものである。

チ）に関わるもの

Ⅳ.4.4.3 において、もともと存在する自然地形・地物や歴史的人工物、海岸保安林などが、津波浸水時に減災機能を発揮する場合があることに着目し、これらを自然・地域インフラと呼んで、その減災機能の評価法を検討した内容を述べた。この検討は、既存の地形・地物等を津波減災に役立てるという観点から、当該地域の様々なニーズとも整合させながら、自然・地域インフラを適切に管理する方策につなげることを狙うものである。

Ⅳ.11 では、東日本大震災における公園緑地の状況についての調査分析を踏まえ、公園緑地が防災・減災機能を発揮するための課題・教訓を確認し、それを今後の公園計画・設計に活かせるように、防災公園計画・設計に関するガイドライン（案）を改訂する（平成 27 年 9 月改訂版）ための検討内容を述べた。

Ⅲ.5.3 においては、道路橋示方書の平成 24 年 2 月改定に際して、耐震設計編に、津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で橋の構造を計画するこ

とが規定されたことを述べた。

リ）に関わるもの

Ⅳ.10.2 においては、東日本大震災に際しての都市防災拠点の機能喪失状況を調べ、津波被災リスクのある都市の防災拠点の機能確保手法を検討し、津波防災都市づくりの推進に資するよう「津波防災都市づくりにおける都市防災拠点機能確保のための検討の手引き（案)」を作成するまでの過程を述べた。

## Ⅴ.3　分野横断の統合的取り組みの重要性

以上から明らかなように、本研究報告の第Ⅳ部で説明した各分野にわたる多くの調査研究内容が、それぞれにおいても役割を果たしながら、それらが相互に連携することで、全体として「津波からの多重防御・減災システムの構築」を進めるための技術の骨格をなしている。

東日本大震災を引き起こしたような巨大な地震・津波外力に対して被害の最小化を図るためにはとりわけ、性格の異なる様々な技術や方法を適切に組み合わせた包括的な施策展開の実施が求められ、当然それを支える調査研究も多様なものになる。しかも、その施策展開の具体的“出口”を見据え、個々の調査研究間に所定の相互関係が確保されるよう的確な研究マネジメントを行うことが求められる。

本研究報告が指し示す重要なポイントの１つは、包括的な施策展開を支える調査研究における分野横断の統合的マネジメントのあり方と言える。この点について、本研究報告の内容で評価されるところ、改善すべきところを的確に理解し、次のステップにつなげていくことは、本研究報告の活用において重要な位置を占める。なおその上で、そのような統合的研究マネジメントを可能にする前提条件として、各分野の技術的研鑽がしっかり行われている必要があることも、合わせて強調しておきたい。

国土技術政策総合研究所研究報告
RESEARCH REPORT of ＮＩＬＩＭ
Ｎｏ．57　September 2016

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは　（事務局課・電話）

〒305-0804　茨城県つくば市旭１番地
企画部研究評価・推進課　　TEL 029-864-2675