

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—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.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なく、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/sewage/crd_sewage_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よの液状化対策工法。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。

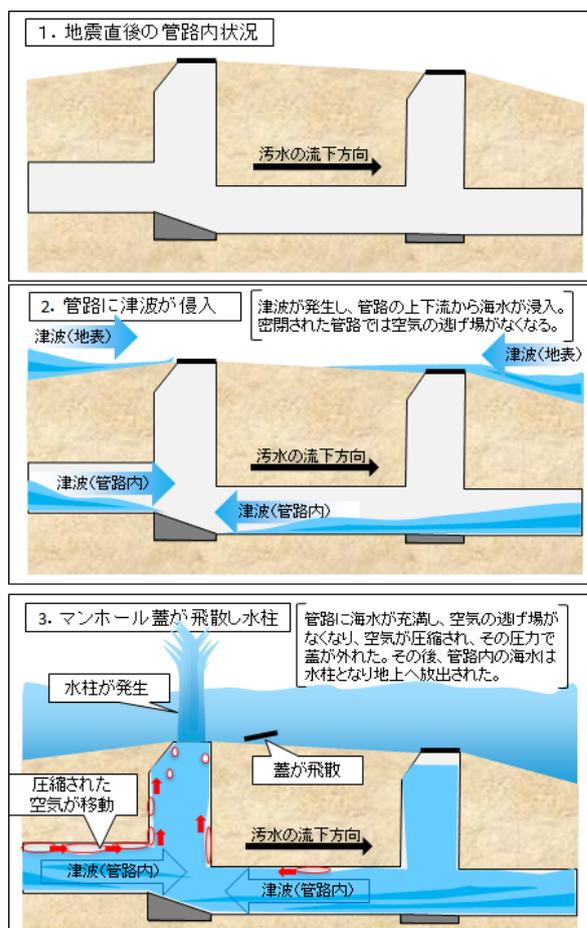


図-Ⅲ.3.2.1 マンホール飛散概念図

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。

参考文献

- 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.No615、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.No637、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.No623、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.No615、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.No637、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

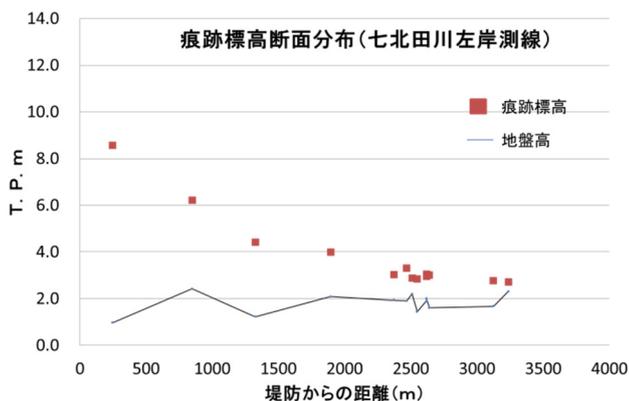


図-Ⅲ.4.5.2.2 津波の減衰が見られた例（中浜海岸測線）

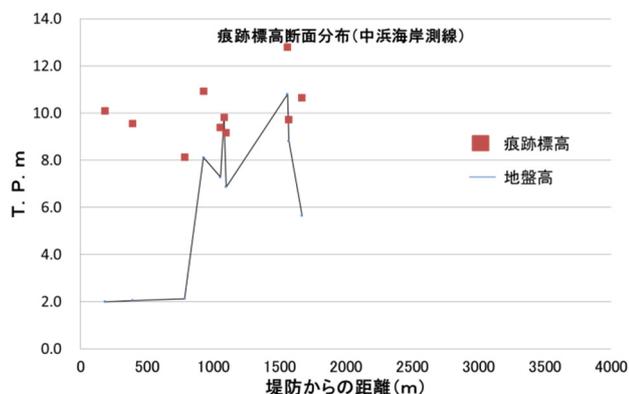


図-Ⅲ.4.5.2.3 津波の減衰が見られなかった例（中浜海岸測線）

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、線状盛土工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工・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。

○計算条件

対象地震：東北地方太平洋沖地震

断面モデル：藤井・佐竹モデルver4.0(すべり量をチューニング仙台平野では1.2倍)

基礎方程式：非線形長波方程式(海岸堤防の越流量は本間の越流公式で算定)

地盤高：地震前の地盤高データから地盤沈降量(仙台平野では一律に-50cmを設定)を差し引く

潮位条件：T.P.0m

盛土工造物の扱い：河川堤防、東部道路は地形として考慮。ただし、東部道路のカルバートは実態に応じて設定

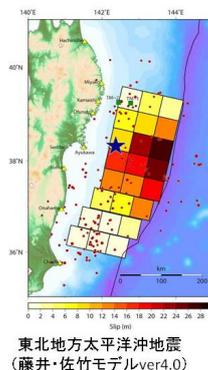


図-Ⅲ.4.5.3.1 計算条件

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）。

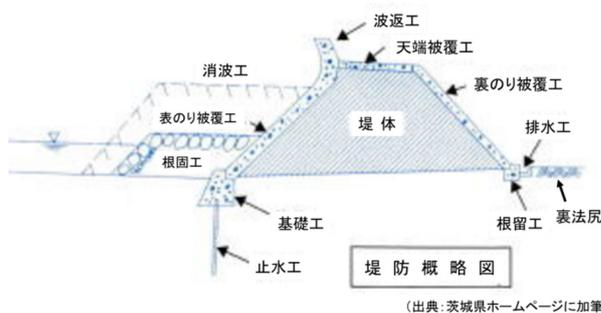


図-Ⅲ.4.5.4.1 海岸堤防に関する語句

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。

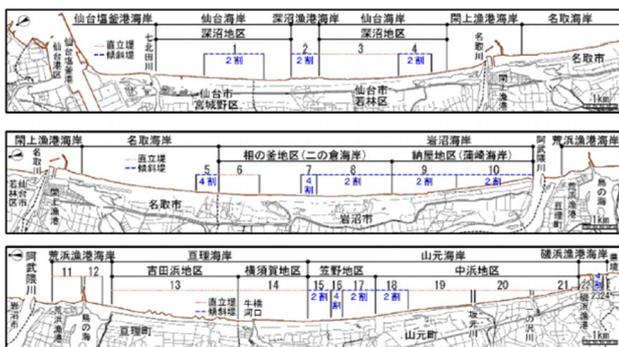


図-Ⅲ.4.6.1 海岸堤防被災状況の調査地点と区画

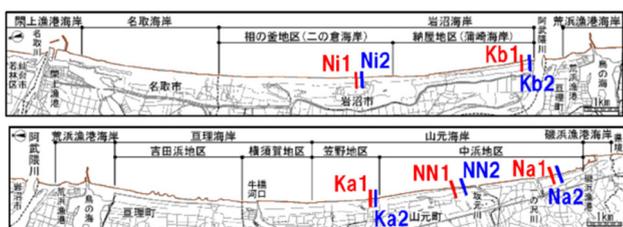


図-Ⅲ.4.6.2 洗掘調査の実施地点

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（亶理海岸横須賀地区）、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、深淺測量を実施した。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。

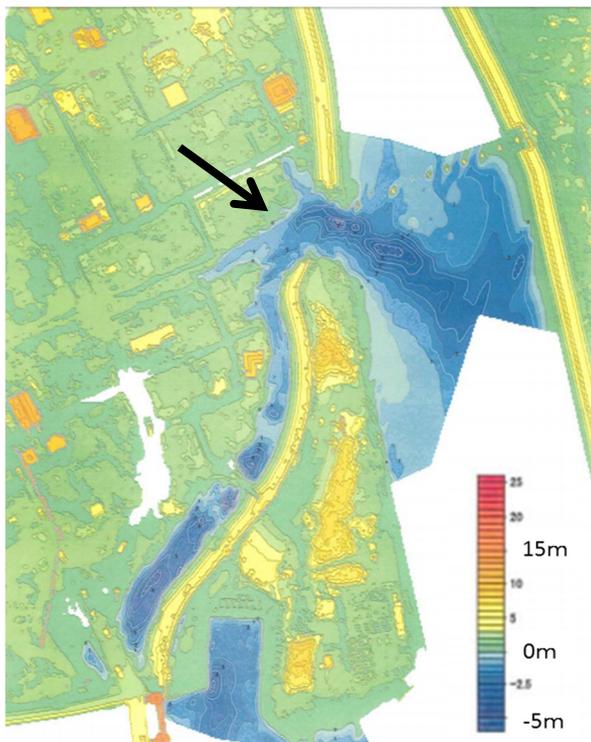


図-Ⅲ.4.7.1 大槌川河口の測量結果 (矢印先が破堤部)

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

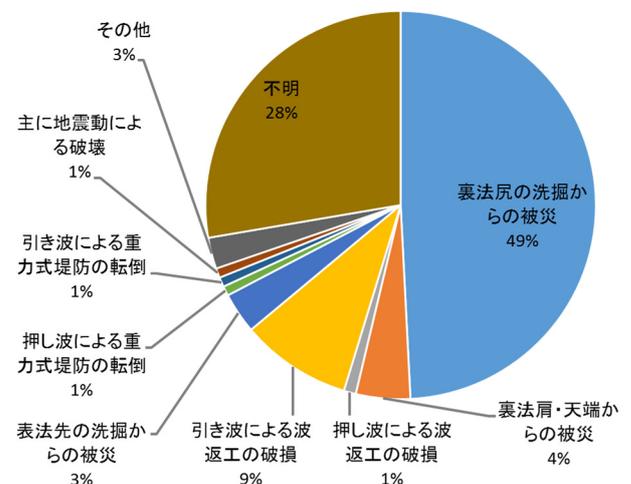


図-Ⅲ.4.8.1 各被災パターンの被災延長割合 (集計区間の延長 99km)

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。

$$P_B = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad \text{式・Ⅲ.4.8.1}$$

ここに n は、考慮する要素数であり、 $X_1 \dots X_n$ は説明変数であり各構造要素の値が入る、 α は定数、 $\beta_1 \dots \beta_n$ 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 β	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)

参考文献

- 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。

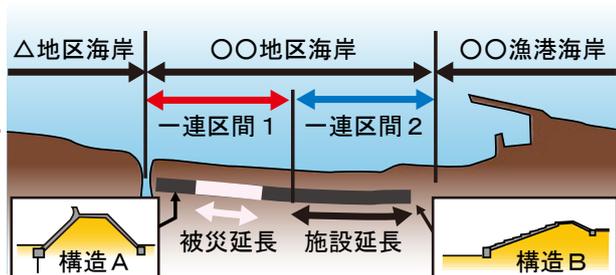


図-Ⅲ.4.9.1 分析単位とする一連区間の模式図

海岸保全施設は行政上の1海岸（図-Ⅲ.4.9.1 中の○ ○地区海岸）の中でも構造が一樣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/tjt/>）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、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、奈良県の国道、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+鋼ゲルバー非合成鈹桁橋であり、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。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。

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一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、鋼ゲルバー非合成鈹桁
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(仙山河川国道事務所)



写真-Ⅲ.5.1.1 天王橋

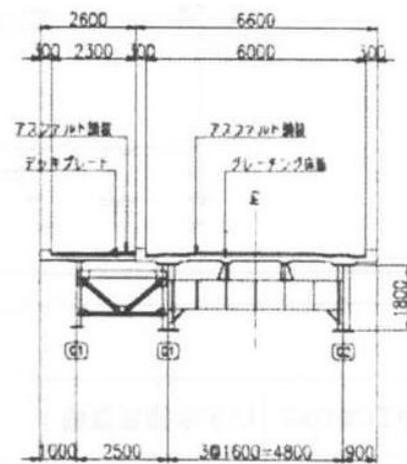


図-Ⅲ.5.1.1(1) 橋梁一般図(天王橋)

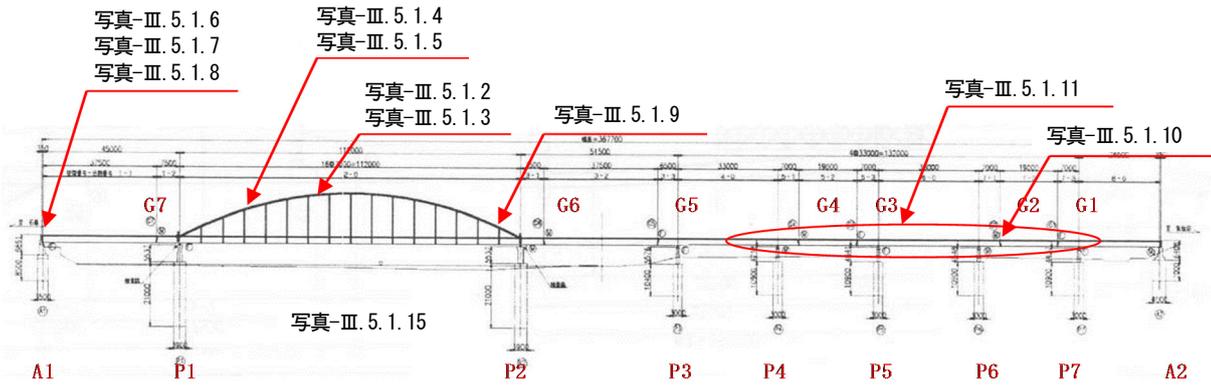


図-Ⅲ. 5. 1. 1 (2) 橋梁一般図(天王橋)



写真-Ⅲ. 5. 1. 2 ガセット部破断



写真-Ⅲ. 5. 1. 5 上横構座屈(近景)



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. 6 支承ボルト破断及び支承横方向のずれ



写真-Ⅲ. 5. 1. 4 上横溝座屈(遠景)



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)

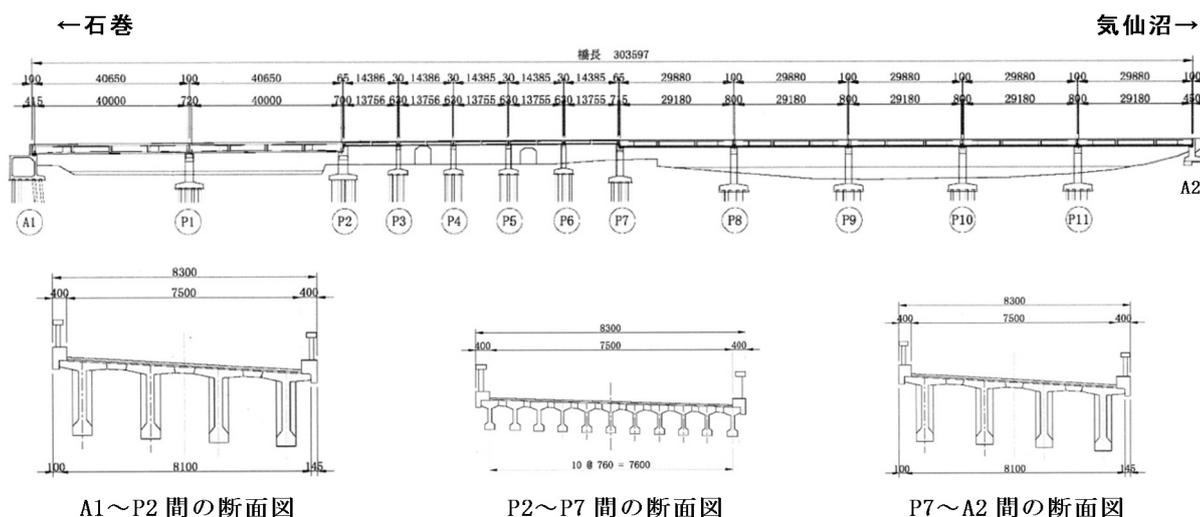


図-Ⅲ.5.1.2 橋梁一般図(歌津大橋)



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. 19 流出している桁の状況



写真-Ⅲ. 5. 1. 16 P10から見たA1側の状況



写真-Ⅲ. 5. 1. 20 桁のひび割れ状況



写真-Ⅲ. 5. 1. 17 P2橋脚の損傷状況



写真-Ⅲ. 5. 1. 21 流出している桁の状況



写真-Ⅲ. 5. 1. 18 P8橋脚の損傷状況



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50cm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ものであり、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 φ 1016
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

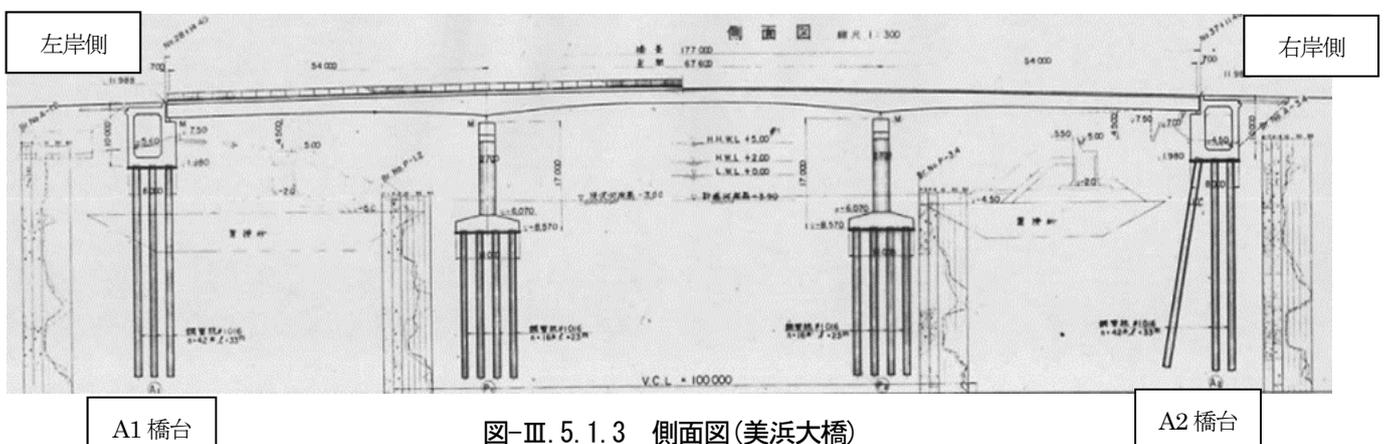


図-Ⅲ.5.1.3 側面図(美浜大橋)

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。



左岸側橋台

(a) 全体図



(b) 拡大図



(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



(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



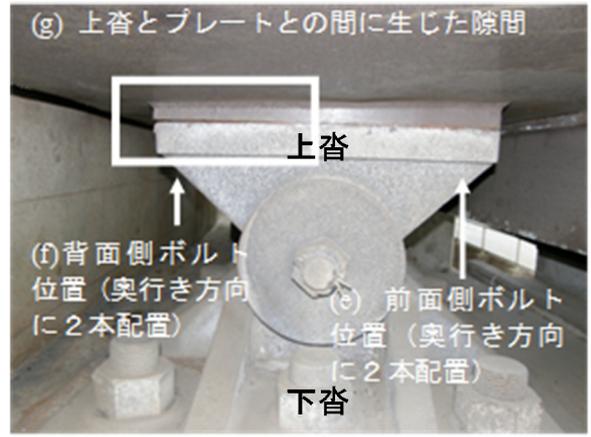
(a) A2 橋台全景 (河口側より撮影)



(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

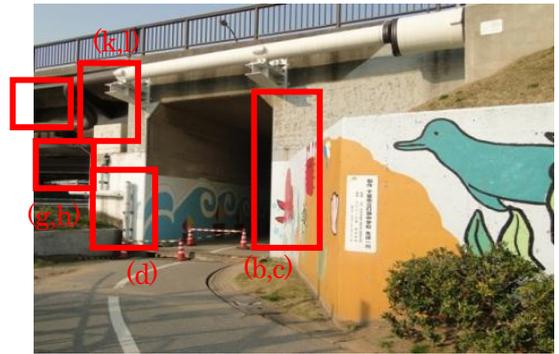


(e) 支承部 (前面側) のボルト破断の状況
写真-Ⅲ. 5. 1. 28 (1) A2 橋台 (右岸側) の状況

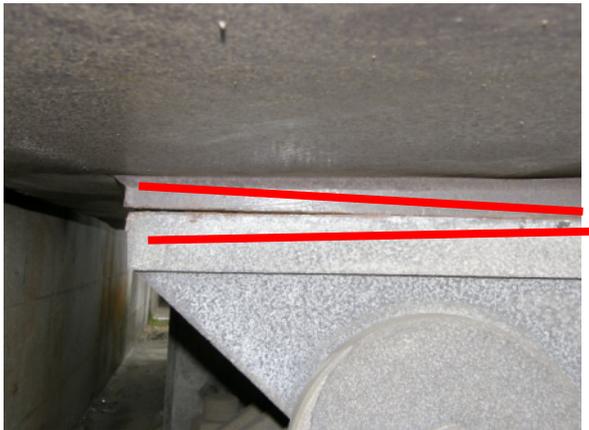
注) 各写真は本文 39~40 ページの記載内容に対応し各写真を左上から左下、右上から右下に配置。



(f) 支承部(背面側)のボルトのゆるみ



(a) A1 橋台全景(河口側より撮影)



(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



(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)

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。



(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

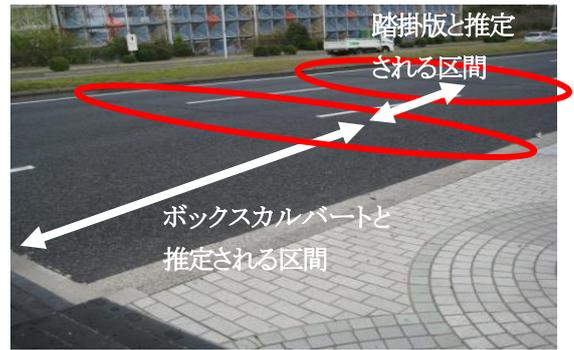


写真-Ⅲ. 5. 1. 30 A1 橋台 (左岸側) 背面の路面状況



(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。

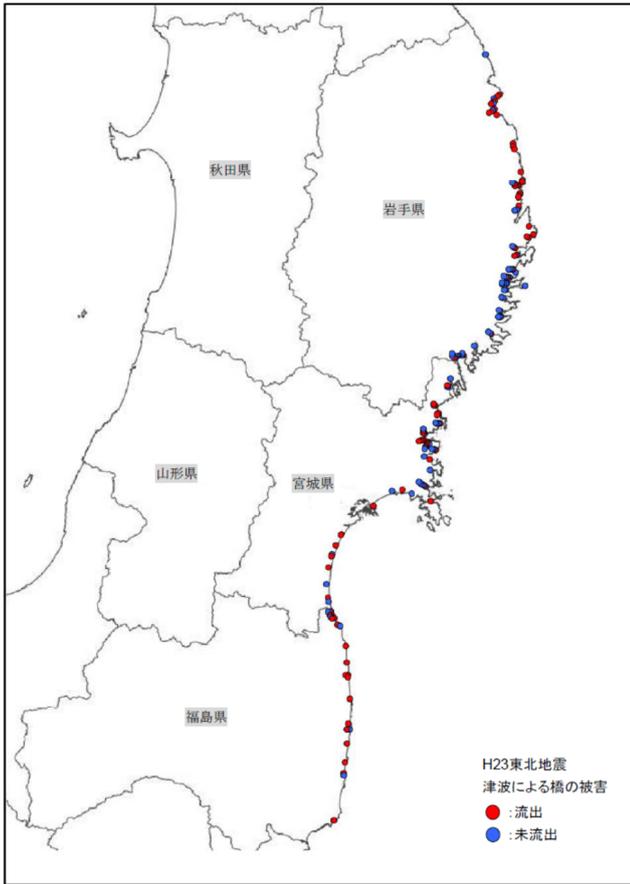


図-Ⅲ.5.2.1 対象橋梁位置図

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 次元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。

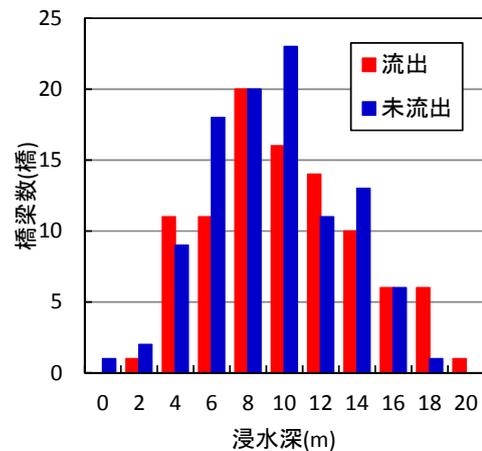
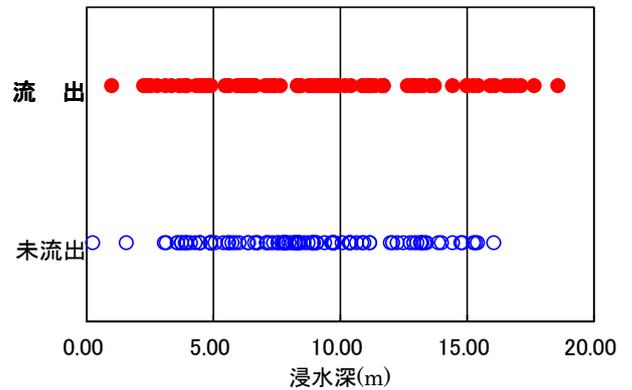


図-Ⅲ.5.2.2 浸水深と津波被災状況

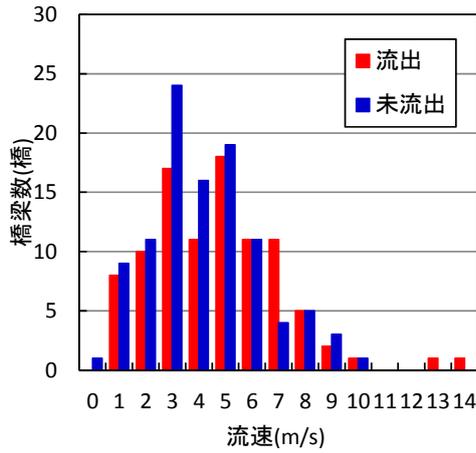
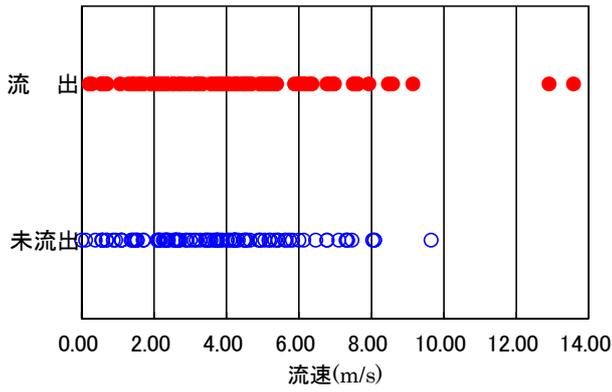


図-Ⅲ.5.2.3 流速と津波被災状況

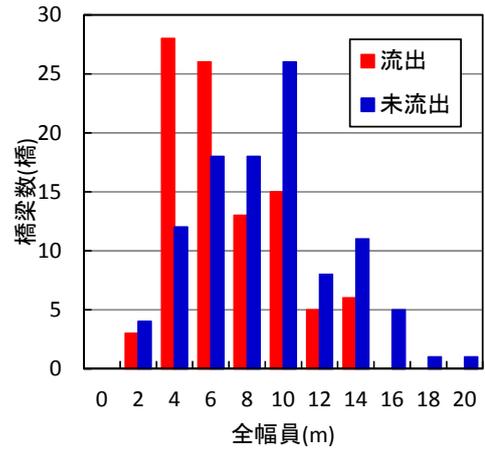
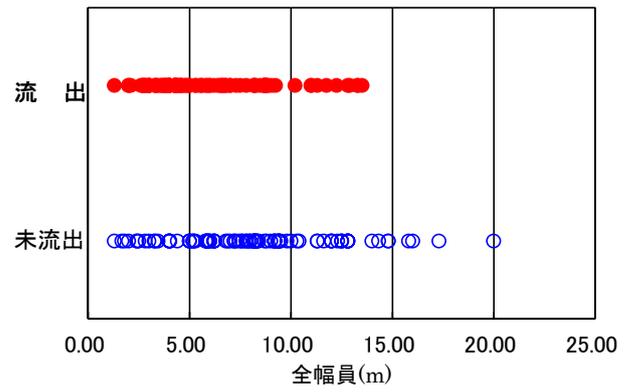


図-Ⅲ.5.2.4 全幅員と津波被災状況

・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事ができる。

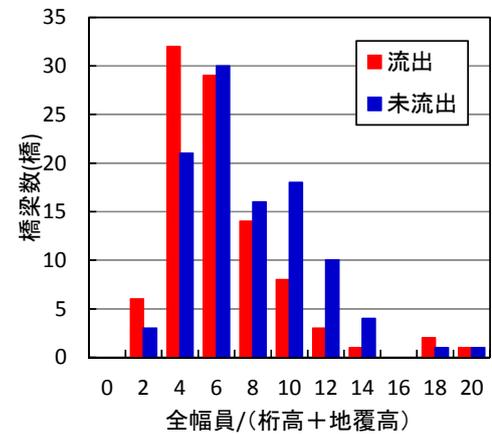
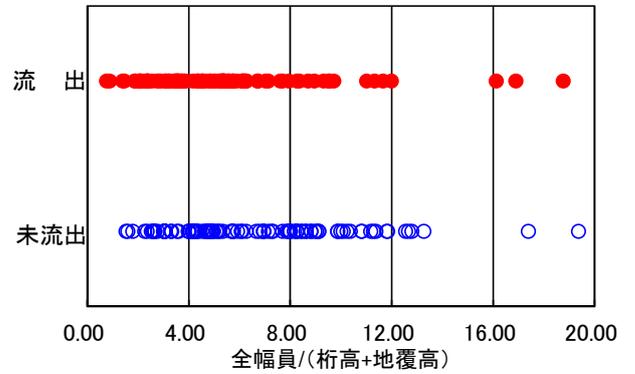


図-Ⅲ.5.2.5 全幅員/(桁高+地覆高)と津波被災状況

・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。

参考文献

- 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つた。

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OpenFOAM⁸⁾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り解析を実施した。小泉大橋の場合は地震発生からの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）

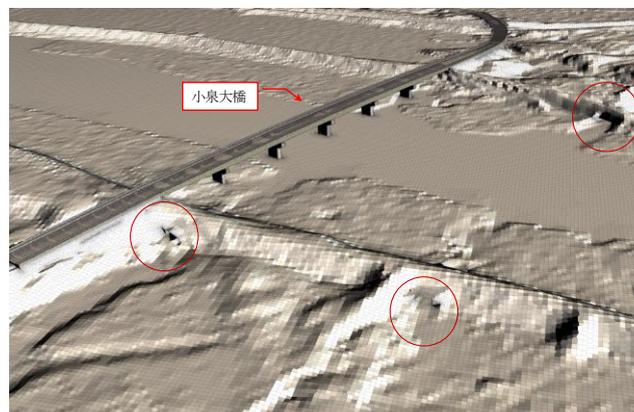


図-Ⅲ.5.3.2.2 3次元モデル図（小泉大橋、赤い丸は水路の位置を表す）

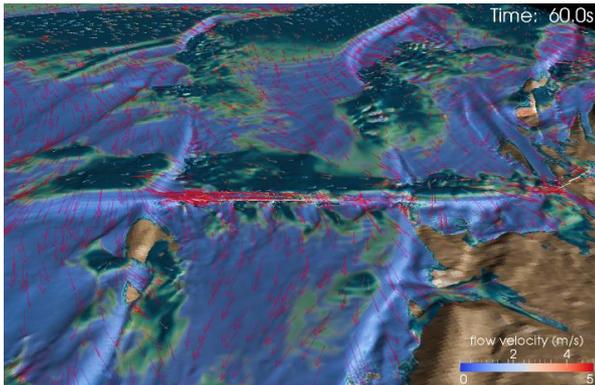
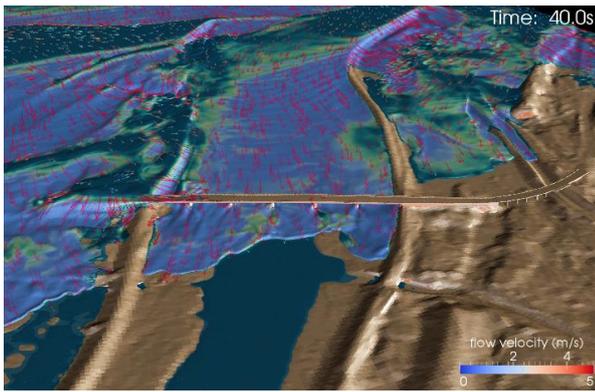


図-Ⅲ.5.3.2.3 小泉大橋への津波来襲状況の解析結果

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

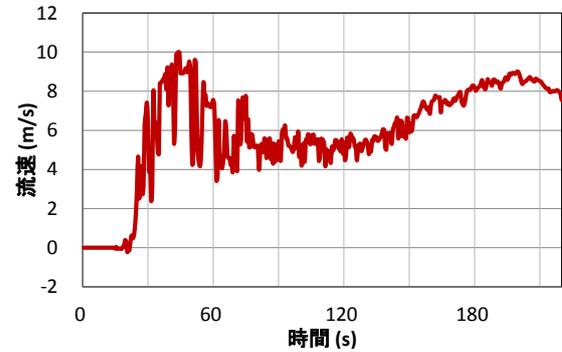
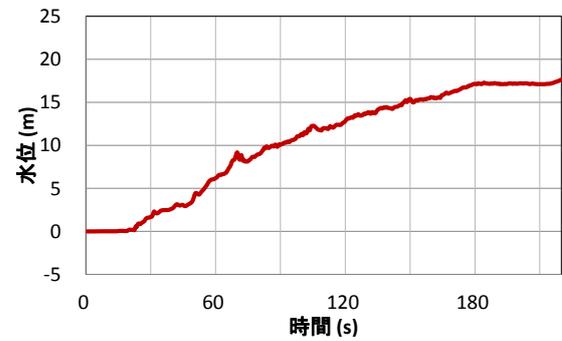


図-Ⅲ.5.3.2.4 3次元津波解析による小泉大橋地点の津波再現結果

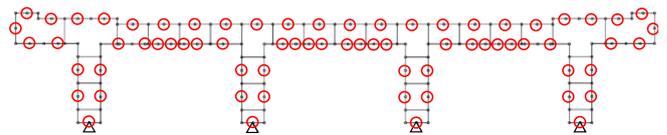


図-Ⅲ.5.3.3.1 支承作用力の算出に用いた上部構造断面モデルの例

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が鉛直上向き作用力を受けて破断した後、すぐに水平方向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

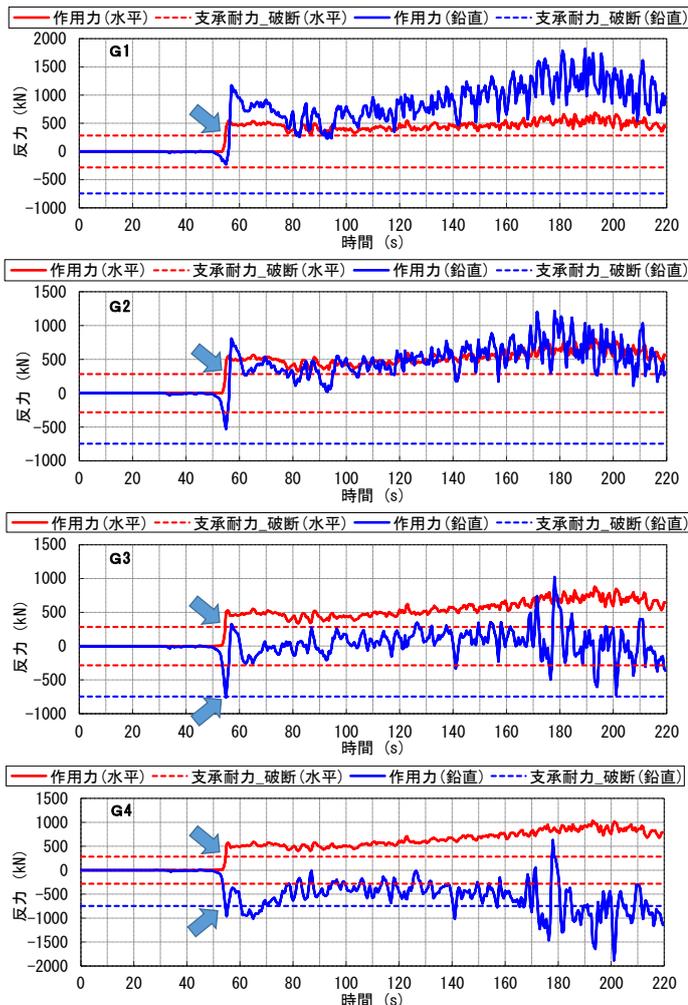


図-Ⅲ.5.3.3.2 小泉大橋の支承G1～G4への作用力の時刻歴と抵抗力の比較 (水平は橋軸直交方向の陸側、鉛直は下向きが正)

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-Ⅲ.5.3.3.1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

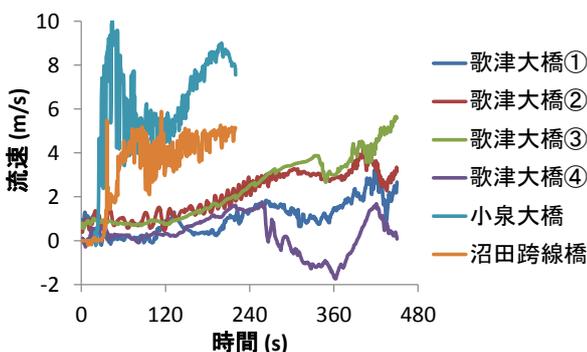
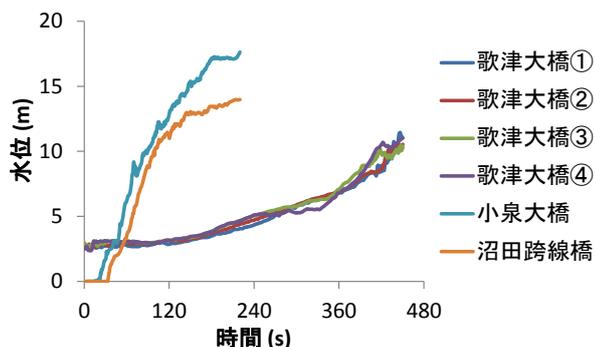


図-Ⅲ.5.3.4.1 対象道路橋に作用した津波の水位と流速（橋軸直交方向、陸側が正）の再現結果

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。

参考文献

- 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-1No588-593、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) 陸間の破損

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。



写真-III.6.2.1.1 防潮壁の被災状況(釜石港須賀地区)

(2) 防潮壁の被災特性の分析

13.国土技術政策総合研究所：浅井正、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。

施設延長 (km, %)

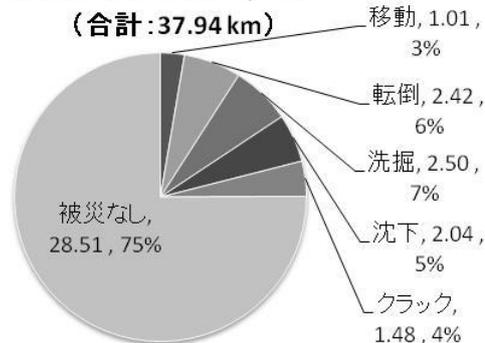


図-III.6.2.1.1 被災パターン毎の被災延長の割合

参考文献

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、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、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

参考文献

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、船用機関製造業
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充することにより、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、情報の補充を行った。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ことにかかった日数（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。

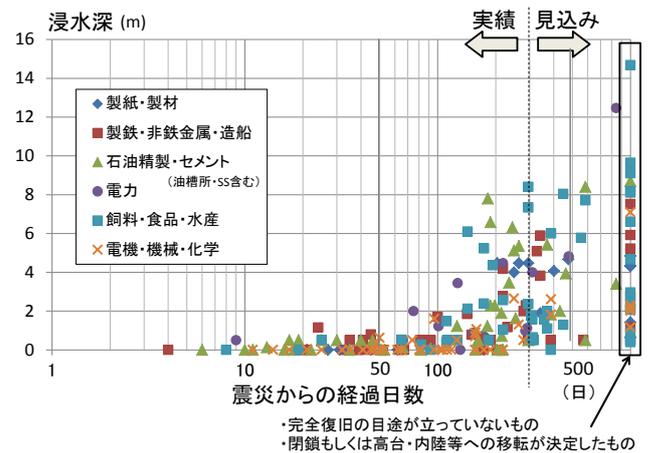


図-Ⅲ.6.2.3.1 各企業・工場の復旧日数と浸水深の関係

参考文献

- 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)で被害に差が出る事が確認された。
- ・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
	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	
	日経工業新聞	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、通信の被害状況を取りまとめた（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、 M_w （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（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130cm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一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、靱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、一定以上の強度と靱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

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、比較的大きな被害が起き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、以下のような点を取りまとめられた。

・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20cm程度の変形を確認しており、中には40cm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との関係は、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、バルコニー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も多く見られる一方で、崩壊、転倒、移動、流出した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(閑上地区)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性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－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録一、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