

ISSN 1880-0114
国総研プロジェクト研究報告第30号
平成 22 年 2 月

国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.30

February 2010

地域被害推定と防災事業への活用に関する研究

Development of Damage Estimation Methods for Infrastructures
and the Applications for Disaster Mitigation Practices

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

地域被害推定と防災事業への活用に関する研究

綱木 亮介 (2006年4月～2007年3月) *

古賀 省三 (2007年4月～2008年3月) **

西本 晴男 (2008年4月～2009年3月) ***

Development of Damage Estimation Methods for Infrastructures and the Applications for Disaster Mitigation Practices

Ryosuke TSUNAKI (2006.4～2007.3) *

Shozo KOGA (2007.4～2008.3) **

Haruo NISHIMOTO (2008.4～2009.3) ***

概要

防災事業を進める上では、個々の管理施設・地点の被災の可能性とその影響度の評価が不可欠であるが、災害種別・施設種別によっては、手法自体がない、あるいは、従来手法では適用範囲、精度の面で十分ではないものもある。そこで、本プロジェクト研究では、土砂災害、水害、地震災害、津波災害の4つの自然災害を対象とし、個々の施設や地点の被災リスクを評価する手法の高度化を図るとともに、効率的な対策の実施や発災時の緊急対応の効率化に資するための支援方策や支援技術の開発を行った。

本報告は、その研究成果を取りまとめたものである。

キーワード：被害推定，リスク評価，土砂災害，水害，地震災害，津波災害，
防災事業，支援方策

Synopsis

It is an essential issue for the conduct of the disaster mitigation works to estimate the damage vulnerability of each infrastructure and to evaluate the direct/indirect effect of the damage. However, the damage estimation methods have not yet provided with enough accuracy and applicability depending on the variety of natural disasters and/or the variety of infrastructures.

In this 3-year NILIM research project, which had conducted from 2006 to 2008 fiscal years, the damage estimation methods were developed and improved considering natural disasters including mudslide, flood, earthquake and tsunami. And based on the damage estimation, the damage mitigation technologies to support quick and efficient responses were also developed. This report presents the final outcome of this 3-year NILIM research project.

Key Words : mudslide, damage estimation, risk evaluation, flood, earthquake,
disaster mitigation practice, supporting measures

* 元危機管理技術研究センター長

Former Director, Research Center for Disaster Risk Management

** 元危機管理技術研究センター長

Former Director, Research Center for Disaster Risk Management

*** 前危機管理技術研究センター長

Former Director, Research Center for Disaster Risk Management

プロジェクト研究担当者名簿				
担当分野		所属・役職	氏名	担当期間
プロジェクトリーダー		危機管理技術研究センター センター長	綱木 亮介	H18.4～H19.3
			古賀 省三	H19.4～H20.3
			西本 晴男	H20.4～H21.3
サブリーダー		危機管理技術研究センター 地震災害研究官	田村 敬一	H18.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官	五條 渉	H18.4～H21.3
1. 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化	(1) 土砂災害	危機管理技術研究センター 砂防研究室 室長	小山内 信智	H18.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 砂防研究室 主任研究官	秋山 一弥	H18.4～H20.9
			水野 秀明	H18.4～H21.3
			富田 陽子	H20.10～H21.3
		危機管理技術研究センター 砂防研究室 研究官	桂 真也	H21.4～H21.7
		危機管理技術研究センター 砂防研究室 研究員	松下 智祥	H19.4～H21.3
	(2) 水害	危機管理技術研究センター 水害研究室 室長	中村 徹立	H18.4～H20.3
			榎村 康史	H20.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 水害研究室 主任研究官	野仲 典理	H18.4～H19.3
			飯野 光則	H18.4～H19.8
			山本 晶	H19.4～H21.3
			小林 肇	H19.9～H21.3
			山岸 陽介	H18.4～H20.7
	(3) 地震・津波複合災害	危機管理技術研究センター 地震防災研究室 室長	小路 泰広	H18.4～H21.3
		河川研究部 海岸研究室 室長	福濱 方哉	H18.4～H19.3
		沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 室長	小田 勝也	H18.4～H20.8
		河川研究部 海岸研究室 主任研究官	加藤 史訓	H18.4～H19.3
		沿岸海洋研究部 主任研究官	岡本 修	H18.4～H21.3
		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	H18.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 研究官	鶴田 舞	H18.4～H19.10
	(1) 地震・津波複合災害	危機管理技術研究センター 地震防災研究室 室長	小路 泰広	H18.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 主任研究官	宇佐美 淳	H19.4～H21.3
			片岡 正次郎	H18.4～H21.3
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 研究官	鶴田 舞	H18.4～H19.10
	(2) 災害時対応	危機管理技術研究センター 地震防災研究 室長	小路 泰広	H18.4～H21.3
		河川研究部 海岸研究室 室長	福濱 方哉	H19.4～H20.3
			諏訪 義雄	H20.4～H21.3
		沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 室長	小田 勝也	H18.4～H20.8
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 主任研究官	宇佐美 淳	H19.4～H21.3
		河川研究部 海岸研究室 主任研究官	加藤 史訓	H19.4～H21.3
		沿岸海洋研究部 主任研究官	岡本 修	H18.4～H21.3

**地域被害推定と防災事業への活用に関する研究
プロジェクト研究報告書
目 次**

研究担当者

1. 研究目的と研究内容	
1. 1 研究の背景と目的	1
1. 2 研究内容	1
1. 3 研究体制	2
1. 4 研究スケジュール	2
2. 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化	
2. 1 土石流による土砂災害リスク評価手法の検討	
2.1.1 はじめに	5
2.1.2 研究目的と研究方法	5
2.1.3 土石流による土砂災害リスクの算定手法	5
2.1.4 土砂災害リスクの算定方法に関する考察	9
2.1.5 まとめと今後の課題	9
参考文献	9
2. 2 降雨で発生する斜面崩壊のリスク分析手法の検討	
2.2.1 はじめに	11
2.2.2 研究目的と研究方法	11
2.2.3 がけ崩れ災害データの整理	11
2.2.4 がけ崩れ災害リスク分析モデルの全体構成	12
2.2.5 斜面崩壊発生頻度モデル	12
2.2.6 損失予測モデル	16
2.2.7 リスクの定量化モデル	17
2.2.8 モデルの適用事例（ケーススタディ）	18
2.2.9 まとめと今後の課題	20
参考文献	21
2. 3 データ整備が不十分な中小河川に対する治水安全度評価手法の検討	
2.3.1 はじめに	22
2.3.2 研究目的と研究方法	22
2.3.3 中小河川の治水安全度評価	22
2.3.4 評価結果の公表	27
2.3.5 まとめと今後の課題	28
参考文献	28

2. 4	水害被害額の算定手法の検討	
2. 4. 1	はじめに	29
2. 4. 2	研究目的と研究方法	30
2. 4. 3	水害被害額の算定方法	30
2. 4. 4	まとめと今後の課題	32
	参考文献	33
2. 5	地震・津波複合災害に対する統一的な被災リスク評価手法の検討	
2. 5. 1	はじめに	34
2. 5. 2	研究目的と研究方法	34
2. 5. 3	海岸施設の被害想定	34
2. 5. 4	港湾施設の被害想定	37
2. 5. 5	河川施設の被害想定	39
2. 5. 6	道路施設の被害想定	41
2. 5. 7	被害想定結果の活用方法	43
2. 5. 8	まとめと今後の課題	49
	謝辞	49
	参考文献	49
3.	被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案	
3. 1	地震・津波に対する被害軽減対策の検討	
3. 1. 1	はじめに	51
3. 1. 2	研究目的と研究方法	51
3. 1. 3	地震・津波による道路施設の被害想定	51
3. 1. 4	被害想定結果に基づく軽減対策の検討	55
3. 1. 5	地震・津波に対する被害軽減対策手法の整理	58
3. 1. 6	まとめと今後の課題	62
	謝辞	62
	参考文献	62
3. 2	実践的な地震防災訓練の実施手法の検討	
3. 2. 1	はじめに	63
3. 2. 2	研究目的と研究方法	63
3. 2. 3	既往地震に基づく支障の体系化	63
3. 2. 4	道路管理者における地震防災訓練実施の手引きの作成	64
3. 2. 5	まとめと今後の課題	70
	参考文献	70
3. 3	高潮・津波に対する避難促進支援の検討	
3. 3. 1	はじめに	71

3.3.2	研究目的と研究方法	71
3.3.3	避難意思決定要因の解明	72
3.3.4	避難促進施策の試行と効果分析	83
3.3.5	避難意思決定要因に基づく避難促進施策の進め方	88
3.3.6	まとめと今後の課題	89
	謝辞	90
	参考文献	90

4.	研究全体のまとめと今後の課題	91
----	----------------	----

付録

1.	研究成果一覧	付-1
2.	所外発表論文等一覧	付-3

1. 研究目的と研究内容

1.1 研究の背景と目的

平成 21 年に限っても、7 月の中国・九州北部豪雨、8 月の駿河湾を震源とする地震や 8 月の台風 9 号による水害が発生するなど、毎年のように地震や豪雨による大きな被害が発生してきており、災害に強い安全安心な国土の継続的な整備が重要な課題とされている。しかしながら、厳しい財政状況下においては、効率的・効果的な防災対策の実施が不可欠であり、こうした防災事業を進める上で、個々の公共土木施設の被災の可能性や被災した場合の影響度を適切に評価していくことが求められている。

本研究は、防災事業の効率化に資することを目的とし、国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究」として平成 18～20 年度に実施したものである。土砂災害、水害、地震・津波災害を対象として、個々の公共土木施設の被災リスクの評価手法と被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策に関する研究開発を目的としたものである。

1.2 研究内容

防災事業を進める上では、個々の管理施設・地点の被災の可能性とその影響度の評価が不可欠であるが、災害種別・施設種別に見ると、手法自体がない、あるいは、従来手法では適用範囲、精度の面で十分ではないものもある。そこで、本プロジェクト研究では、土砂災害、水害、地震災害、津波災害の 4 つの自然災害を対象とし、個々の施設や地点の被災リスクを評価する手法の高度化を図ることにより、効率的な対策の実施や発災時の緊急対応の効率化に資することを目標としたものである。本研究では、対象とした 4 つの災害分野に対して、①施設または地点ごとの被災リスクの評価手法の高度化、②被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案、の 2 点を研究目的とした。

研究目的に対応する具体的な研究開発項目として、それぞれの災害分野における現状の技術レベルに応じて本プロジェクトで解決すべき研究課題を以下のように設定した。特に、被災リスクの評価の中で、従来の評価手法が十分ではなかった地震と津波の双方の影響を考慮した複合災害を考慮するとともに、災害後の対応能力の向上や避難支援といった災害時対応分野についての検討も実施した。

(1) 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化

1) 土砂災害

- ・住民の避難による効果や被災確率を考慮した土砂災害リスク評価手法の検討

2) 水 害

- ・データ整備が不十分な中小河川に対する治水安全度評価手法の検討
- ・水害による直接被害及び間接被害の被害額算定手法の検討

3) 地震・津波複合災害

- ・地震及びこれに続く津波により、河川施設、道路施設、海岸施設、港湾施設等に生じる被害想定手法の検討

(2) 被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案

1) 地震・津波複合災害

- ・地震・津波被害想定結果に基づく被害軽減対策の検討

2) 災害時対応

- ・地震災害時の対応の支援方策として、特に地震災害発生時の救援、復旧等の緊急輸送の基本となる道路を対象に、実践的な地震防災訓練の実施による震後対応能力の向上策の検討
- ・高潮・津波に対する避難意志決定要因の解明及び避難促進施策の進め方の検討

1.3 研究体制

本プロジェクト研究は、図 1.3-1 に示すように、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター長がプロジェクトリーダーをつとめ、危機管理技術研究センター砂防研究室・水害研究室・地震防災研究室、河川研究部海岸研究室、沿岸海洋研究部沿岸防災研究室による共同の研究課題として実施した。

研究の実施に際しては、プロジェクトリーダーをヘッドとする関係者の研究連絡会議を設置し、研究の進捗管理、協働作業に関する調整を行いながら実施した。特に、地震・津波複合災害に対する各種施設の被災想定手法については関係分野での協働作業として進めた。

外部機関との連携に関しては、地震・津波複合災害については、土木学会や日本地震工学会の研究委員会に委員として参画し、学会、建築分野等の関連分野の最新情報を収集しながら研究を進めた。また、海外情報としては、U J N R 耐風耐震構造専門部会の活動を活用し、地震及び津波に関する米国の研究情報の収集、意見交換を行い、研究に反映させた。

本研究の遂行や成果の実務への適用、活用・普及に関して、現場との共同作業あるいは協力を得ながら実施した。地震・津波複合災害については、現場との意見交換により、被害想定項目の追加、被害想定結果のマップ表示の改良、防災事業への具体的な活用方策を検討した。土砂災害については、がけ崩れのリスク評価モデルの開発において、全都道府県を会員とする協議会との意見交換等を通じてより簡易なパラメータの設定を行った。津波・海岸災害からの避難促進支援策に関しては、質問紙調査及びワークショップについて、自治体や自主防災会の協力を得て実施した。

1.4 研究スケジュール

4つの災害分野を対象とし、①施設または地点ごとの被災リスクの評価手法の高度化、②被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案、の研究目的のもとで、研究分野毎の現状レベルをベースに表 1.4-1 に示す3箇年のスケジュールで研究を進めた。

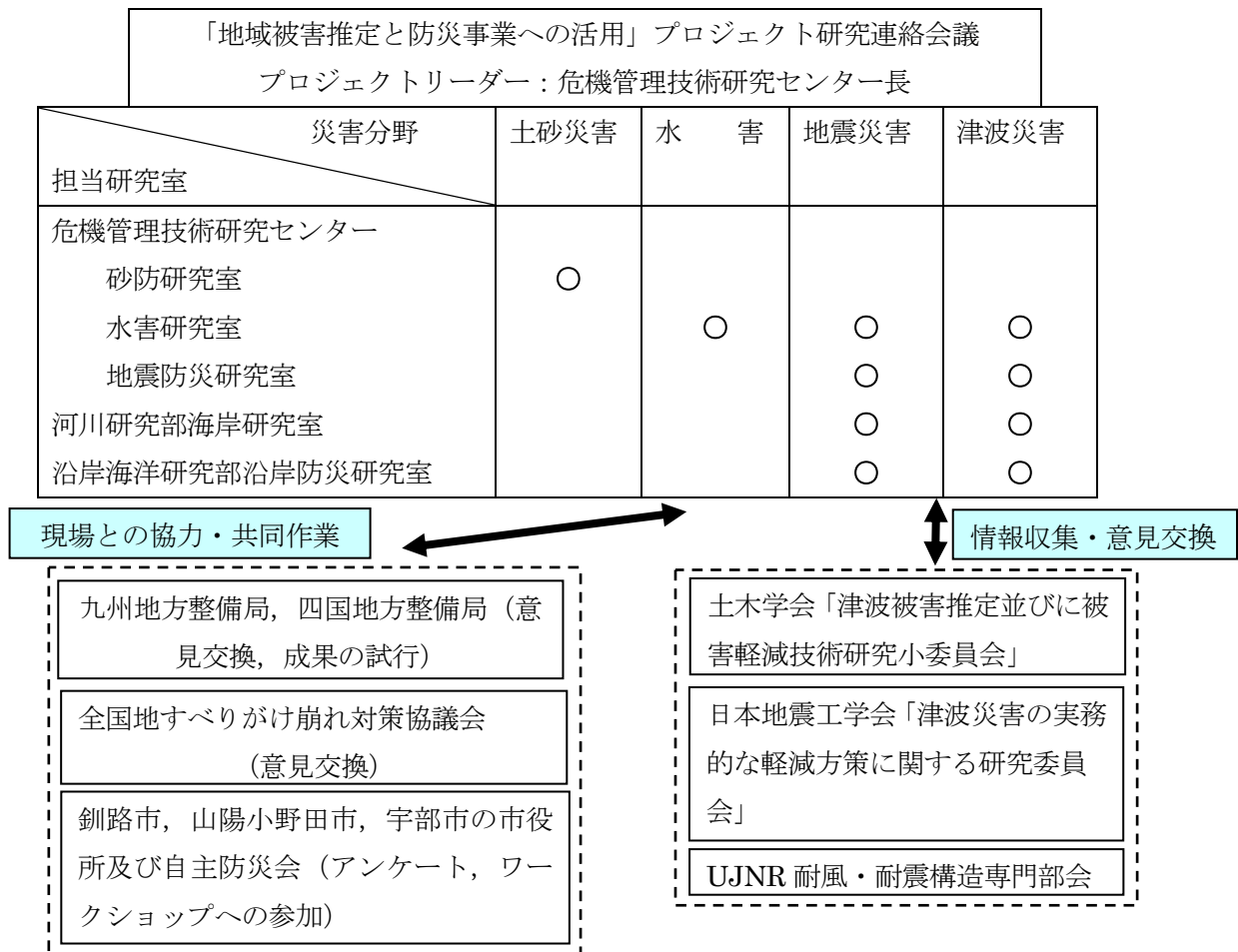


図 1.3-1 研究の実施体制

表 1.4-1 研究スケジュール

区分 (目標, サブテーマ, 分野等)			実施年度		
			H 1 8	H 1 9	H 2 0
施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化	土砂災害	土石流災害リスク評価		モデルの検討とプログラムの開発	避難行動モデル 高度化の検討
		斜面崩壊リスク評価	がけ崩れ災害実態の 降雨による斜面崩壊発生モデルの検討	分類・整理	リスク分析手法の検討
	水害	治水安全度評価手法	ハザードマップ作成支援システム作成	豪雨時における都市域の浸水危険度評価手法に関する研究	
			治水バランス評価マニュアル(案)作成		
			中小河川治水安全度評価システムの開発		
				中小河川の治水安全度評価の実施	
		水害被害額の算定手法	水害実態調査		
				波及被害の算定	
	地震・津波複合災害	地震・津波による被災度評価手法	公共土木施設の被害想定マニュアル作成		
		被災想定結果に基づく被害軽減対策		道路管理者の対策検討マニュアル作成	
被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策	災害時対応	地震防災訓練の実施手法	道路管理者における地震防災訓練実施の手引き(案)作成		
		高潮・津波に対する避難促進施策		意思決定要因の解明	避難促進方法の検討

2. 施設または地点ごとの被災リスクの評価手法の高度化

2.1 土石流による土砂災害リスク評価手法の検討

2.1.1 はじめに

IPCC 第4次評価報告書によると、日本周辺では、2080年から2099年の将来の降水量は1980年から1999年の現在と比べて年平均で9%増加すると予想された¹⁾。また、全国のアメダス観測所における観測結果を整理すると、全体の約7割で年最大時間雨量が増加傾向を示した。これらのことから、土石流による土砂災害リスクは今後大きくなることが予想されるため、効率的な土砂災害リスク低減対策が求められている。そのためには構造物による対策と、構造物によらない対策の両方を考慮して土砂災害リスクを算定しなければならない。しかし両者を組み合わせて評価する手法はまだ確立されていないのが現状である。

2.1.2 研究目的と研究方法

効率的な土砂災害リスク低減対策を求めるためには、構造物による対策と構造物によらない対策の両方を考慮して土砂災害リスクを算定しなければならない。構造物による対策については、土石流を捕捉し導流して保全対象へ流入させないための砂防設備の配置²⁾といった観点で研究が進んできた。一方構造物によらない対策については避難の判断をする基準³⁾や土地利用規制⁴⁾、避難計画⁵⁾などを中心に研究が進んできた。そのため、両者を組み合わせて評価する手法はまだ確立されていない。

本研究では、構造物による対策と構造物によらない対策を組み合わせた対策による、土砂災害リスクの低減効果を評価する手法の開発を目標とし、その基礎となる土砂災害リスクの算定方法について検討したので、ここで報告する。

2.1.3 土石流による土砂災害リスクの算定方法

(1) 対象とする被害

本研究で扱う土砂災害リスクは、公共事業評価⁶⁾を参考に、土石流によって被る人的被害と物的被害とした。

(2) 算定方法

1) 算定の流れ

図 2.1-1 は土砂災害リスクの算定の流れである。まず、土石流の流れの状態を2次元平面上で土石流氾濫計算を用いて計算した。次いで、住民の避難を同一平面上で計算した。最後に、土石流の流れの状態と住民の避難を重ね合わせて人的被害と物的被害を算出した。

2) ハイドログラフの設定

本研究では簡略化のために、ハイドログラフは三角形とし、想定した土砂量に見合う時間だけ計測すると仮定した。なお、土石流ピーク流量は文献⁷⁾により算出した。

3) 土石流氾濫計算

土石流の流れの状態は土砂の連続式を加えた2次元浅水流モデルを基礎式とした有限体積法で逐次計算した。土砂の堆積速度と侵食速度が土砂の連続式の湧き出し項に組み込んだ。なお、計算方法の詳細は文献⁸⁾を参考にしたい。

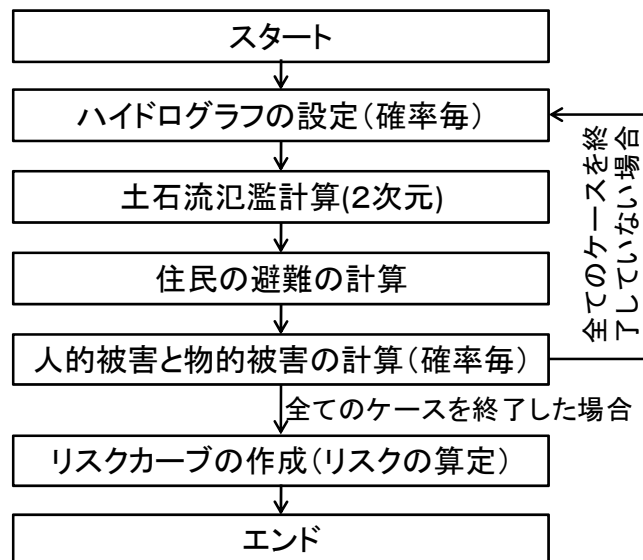


図 2.1-1 算定の流れ

4)住民の避難の計算

本研究では構造物によらない対策の効果も算定するため、避難勧告・指示，土砂災害警戒情報，近隣住民からの伝聞といった情報，時々刻々変化する土石流の流れの状況といった視覚から得られる情報等が住民の避難行動に及ぼす影響を考慮する必要がある．そこで，即応性・目的志向性・社交性を考慮できるマルチエージェントシステムを採用した．

最近では，土砂災害に対する警戒避難について住民に対してアンケート⁹⁾がなされるようになり，住民の避難行動が明らかになりつつある．しかしながら，住民が避難を決断する基準や，選択するルートや方向といった行動の基準がまだ明確になっていない．そこで，本研究では，各住民すなわちエージェントは以下のルールに従って行動すると仮定した．

- ①土石流の発生と同時に，エージェントは避難を始める．
- ②土石流がエージェントの視野に入っていない場合，エージェントは道路に沿って高い方向に向かう．
- ③土石流がエージェントの視野に入った場合，エージェントは道路に関わらず標高の高い方向に向かう．

5)人的被害と物的被害の計算

人的被害は文献⁶⁾では逸失利益や医療費の財産的損害と本人や家族の受ける精神的損害としているが，本研究では簡略化して財産的損害を対象として避難不可能な状態のエージェントの総数とした．なお，避難不可能な状態は，石礫が流れてくることを考慮して，洪水よりも低い「エージェントの存在する場所における水深が 0.1m 以上」の状態と仮定した．

物的被害は文献⁶⁾では資産としているが，本研究では簡略化して破壊した建築物の総数とした．なお，建築物に作用する土石流の流体力が建築物の耐力を上回った場合に破壊と判断した．

6)リスクカーブの作成

リスクカーブは 2.2.5 で算出した被害をハイドログラフの確率別にプロットして作成した．

(3)算定事例

図 2.1-2 は架空の集落の地形から作成した計算メッシュと、エージェントと建築物の配置を示したものである。エージェントの移動速度は 1.0m/s とした。なお、エージェントから半径 2m 内で土石流の水深が 5cm 以上となった場合に、「土石流がエージェントの視野に入った場合」と判断した。図 2.1-3 は確率別のハイドログラフを示したものである。ピーク流量はそれぞれの年超過確率での時間雨量の値の比を単純にかけて設定した。なお、土砂容積濃度は3ケースとも 0.3 で一定とした。図 2.1-4 は人的被害の計算例で、100 年超過確率の場合の結果である。左岸側のエージェントは道沿いに避難した。しかし、土石流が 50 秒以降エージェントの視野内に入ってきたため、それらのエージェントは近くの高台でとどまっていた。右岸側のエージェントは道路沿いに避難したが、すぐに土石流を認識したため、右岸側の山腹へ向きを変えて避難した。図 2.1-5 は物的被害の計算例で、100 年超過確率の場合の結果である。6 戸の建築物が破壊した。

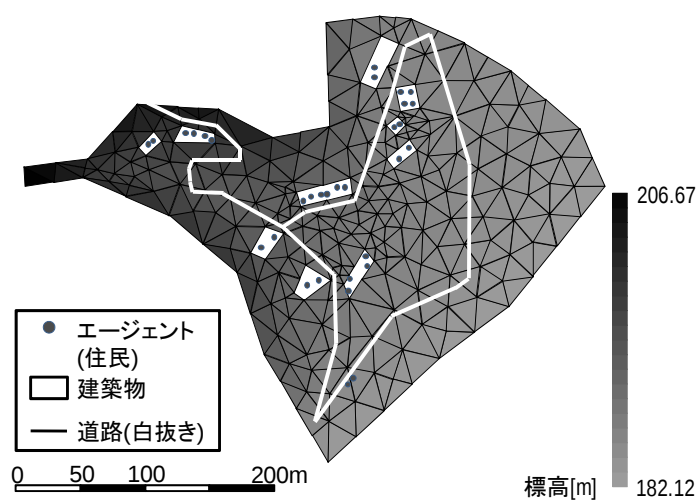


図 2.1-2 計算に用いた地形とエージェント等の配置

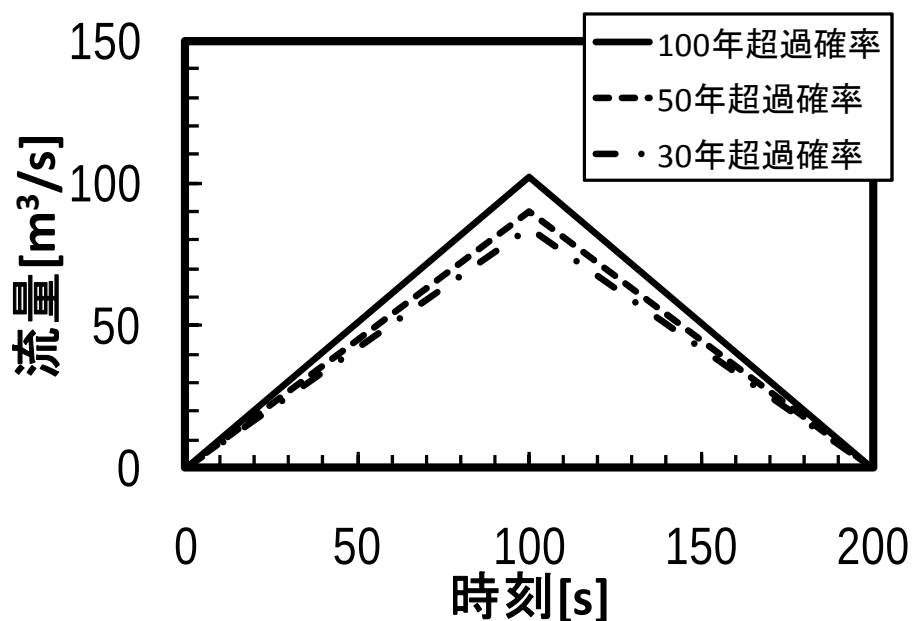


図 2.1-3 ハイドログラフ

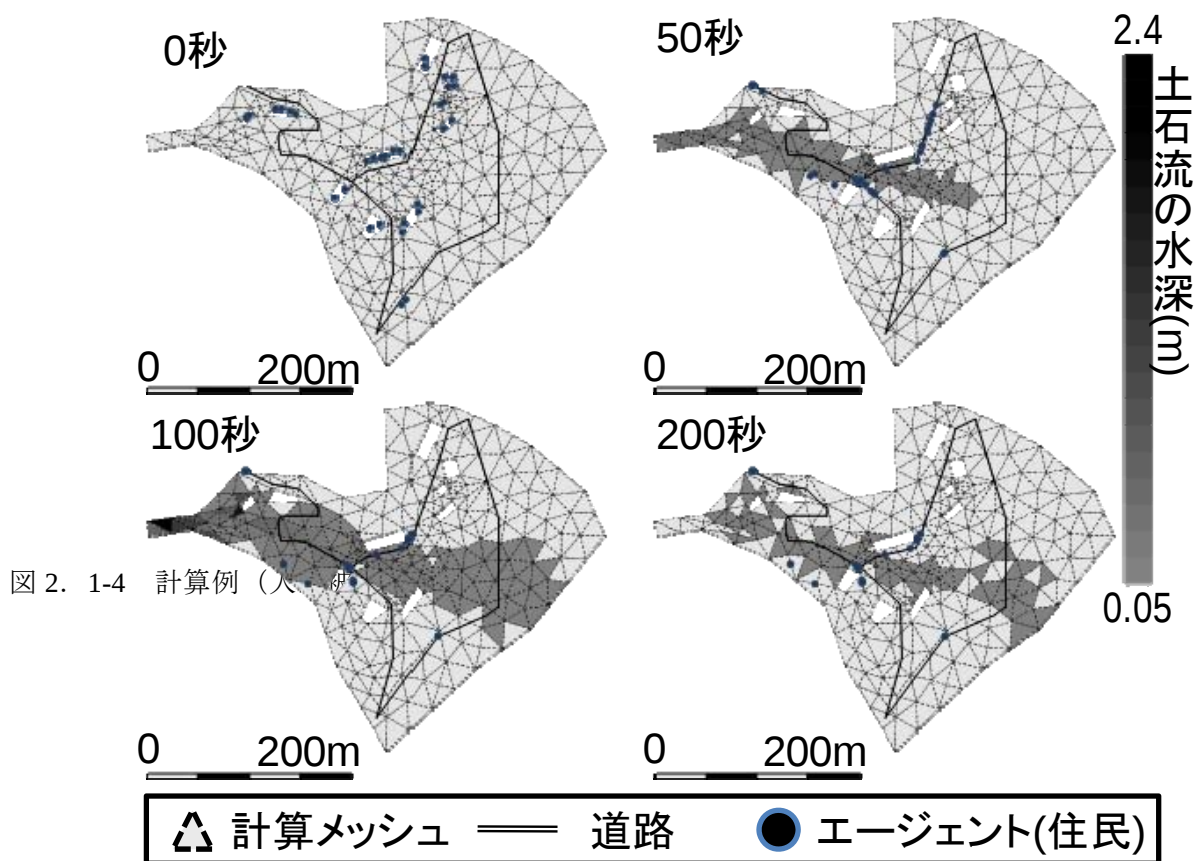


図 2.1-4 計算例（人的被害）

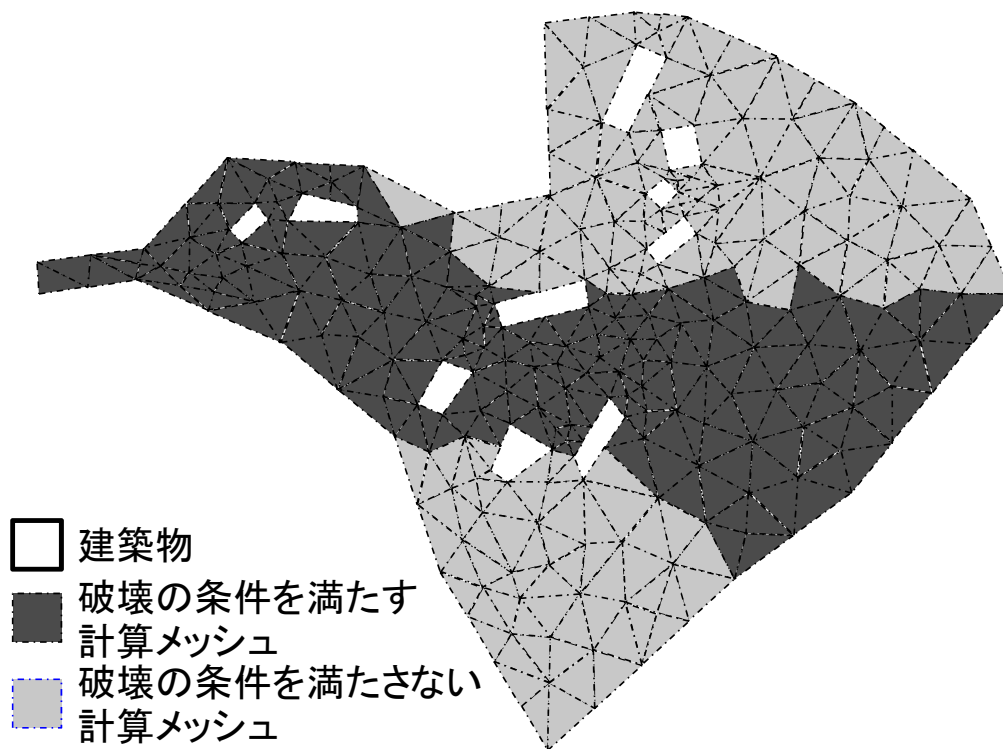


図 2.1-5 計算例（物的被害）

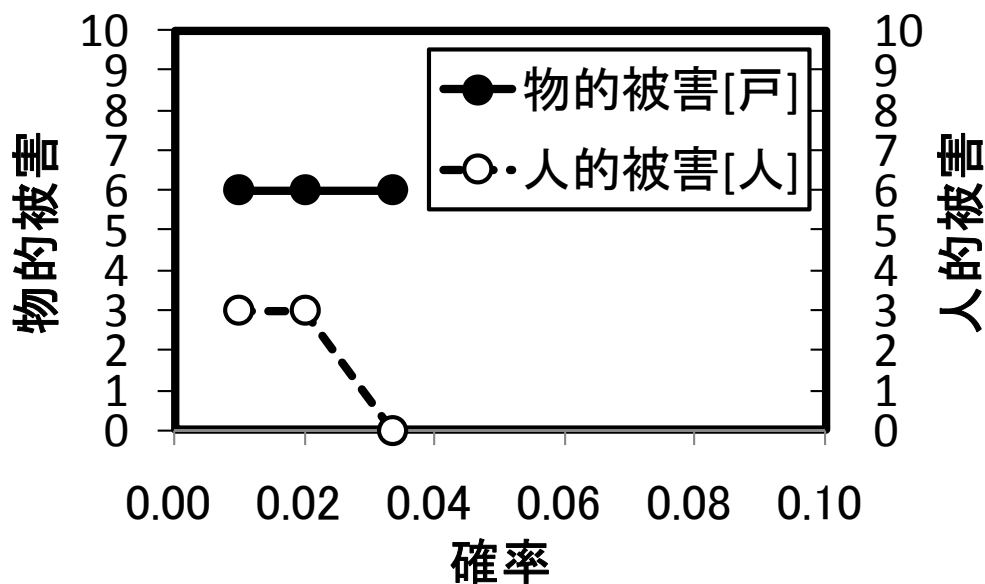


図 2.1-6 リスクカーブ

2.1.4 土砂災害リスクの算定方法に関する考察

図 2.1-6 は人的被害と物的被害に関するリスクカーブである。今回の事例では、3つの確率規模に対して、それぞれの人的被害と物的被害を算定した。想定したような避難行動がなされるという仮定の下では、確率が大きくなるとともに、人的被害は少なくなった。一方、物的被害は3ケースともに同じ数値となった。これはハイドログラフに大きな差がなかったためと考えられる。本報告では、土石流による土砂災害リスクの算定方法の検討に主眼を置いたため、ハイドログラフの設定と住民の避難行動の設定においてかなり簡略化したため、前述のような傾向が表れたと考えられる。

2.1.5 まとめと今後の課題

ここでは土砂災害リスクの算定方法の検討結果を報告した。今後は今回簡略化した個所を詳細に詰めていき、土砂災害リスクの算定方法を確立していきたいと考えている。さらに、構造物による対策と構造物によらない対策の両者の効果も考慮した算定方法も開発していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) Susan Solomon et al.: Climate Change 2007 The Physical Science Basis, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, p.855, 2007
- 2) 中川一ら：1999年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害について—数値シミュレーションによる再現計算と砂防施設配置効果の評価—，京都大学防災研究所年報第44号 B-2, p.207-228, 2001年
- 3) 野呂智之ら：土砂災害発生危険基準線に対する客観的な設定手法の有効性，土木技術資料 47-4, p.26-31, 2005年
- 4) 寺田秀樹ら：土石流による家屋被災範囲の設定方法に関する研究，国総研資料第70号，146pp. 2003年
- 5) 中川一ら：GISを用いた避難行動の解析—岐阜県吉城郡上宝村栴尾地区周辺を対象に—，京都大学

防災研究所年報第 40 号 B-2, p.397-407, 1997 年

6)建設技術研究会：公共事業評価の手引，新日本法規，p.89，2004 年

7)危機管理技術研究センター砂防研究室：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，国総研資料第 364 号，p.43，2007 年

8)水野秀明ら：天然ダムの湛水池への段波の突入による水位変化に関する影響に関する研究，国総研資料第 333 号，p.27-32，2006 年

9)小山内信智ら：土砂災害警戒情報の運用と活用状況，砂防と治水第 180 号，p.22-26，2007 年

2.2 降雨で発生する斜面崩壊のリスク分析手法の検討

2.2.1 はじめに

毎年、台風や梅雨前線による大雨や地震等により、多数のがけ崩れが発生し、甚大な人的・物的被害が出ている。がけ崩れの発生の恐れがあるとされている急傾斜地崩壊危険箇所（人家5戸以上）は平成14年度時点で全国に113,557箇所存在する¹⁾。災害を防止するためには、のり枠工や待受擁壁といった対策施設を整備する必要があるが、その整備率は平成18年度末で約25%と非常に低い水準にとどまっている¹⁾。今後、がけ崩れ対策を効率的に推進していくためには、個別の急傾斜地崩壊危険箇所についてがけ崩れによる災害リスクを評価し、それに基づいて対策の内容を決定したり、優先的・積極的に施設整備を行う箇所を決定したりすることが望ましいと考えられる。しかし、がけ崩れによる災害リスクを定量的に評価する手法はまだ確立されていないのが現状である。

2.2.2 研究目的と研究方法

国土技術政策総合研究所砂防研究室では、がけ崩れの発生した斜面の形状やその誘因、がけ崩れの規模、被害状況等に関する情報を昭和47年から収集しており、平成19年までで約19,000件のデータを蓄積している²⁾。これらのデータを活用することにより、がけ崩れ災害リスクを評価する手法を開発できると考えられる。本研究では、さまざまな誘因イベントの中で最も発生件数の多い降雨によるがけ崩れ災害について、リスク評価手法を構築した上でモデル地区への適用を行った。

位置		崩壊発生年月日			発生時間		斜面特性					崩壊規模					誘因		降雨		保全対象人家戸数	人的被害		被災戸数								
県名	市町村名	西暦	元号年	月	日	時	分	斜面種類	横断形状	縦断形状	勾配	高さ	基岩種類	崩壊頭部までの高さ	崩壊部分の幅	面積 幅×斜面長	勾配	崩壊部分の深さ	崩壊土量	崩土の到達距離		主要因コード	崩壊発生原因	異常気象名	発生時までの連続雨量	発生時までの最大時間雨量	死者数	不明者	負傷者数	全壊	半壊	一部破損

表 2.2-1 がけ崩れ災害データの主なデータ構成

2.2.3 がけ崩れ災害データの概要

がけ崩れ災害データを構成する主要な項目は、表 2.2-1 に示すように、位置情報（場所、地域性）、時間情報（災害発生の年月日、時間）、斜面情報（場の特性・斜面の特性）、災害の規模情報（ハザード特性）、誘因（イベント）情報、被害・被災情報（損失等の大きさ）等である。がけ崩れ災害データのうち、降雨を誘因とする崩壊の深さが4m以下の比較的浅い崩壊について、災害の規模（ここでは崩壊土量）と発生頻度の関係を基岩別に分析した（図 2.2-1）。用

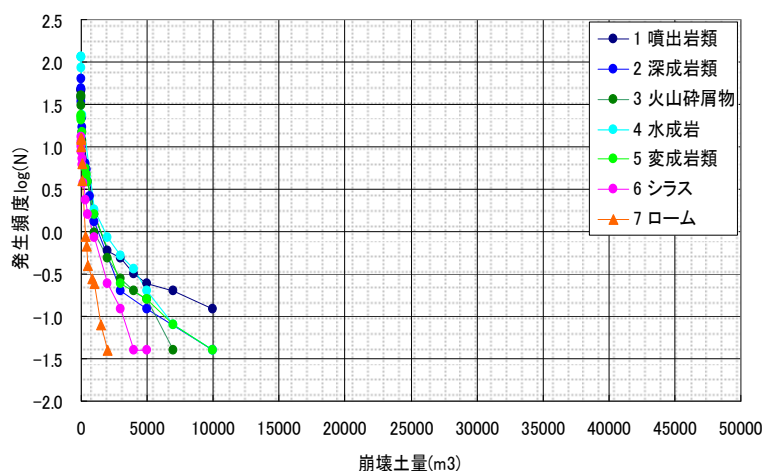


図 2.2-1 基岩別の崩壊土量と発生頻度の関係

いたデータの期間は、基岩の種類が記録されている昭和 47 年～平成 11 年である。図 2.2-1 によると、災害の規模が小さい災害はその発生頻度が高く、逆に規模が大きい災害はその頻度が低い傾向にあることが分かる。

2.2.4 がけ崩れ災害リスク分析モデルの全体構成

がけ崩れ災害リスク分析モデルの基本的な構成を図 2.2-2 に示す。このリスク分析モデルは、斜面崩壊発生頻度モデルと損失予測モデルから構成している。このうち、斜面崩壊発生頻度モデルは、ハザード評価（ハザードの予測数量化）に関わる予測モデルである。一方、損失予測モデルは、斜面災害による社会的な損失、いわゆる物的損失や人的被害等の予測モデルである。リスクは、ハザード評価の結果から損失を予測評価した上で、災害発生年の超過確率と損失の大きさの関係から定量化することができる。以下、斜面崩壊発生頻度モデルと損失予測モデルについて解説する。

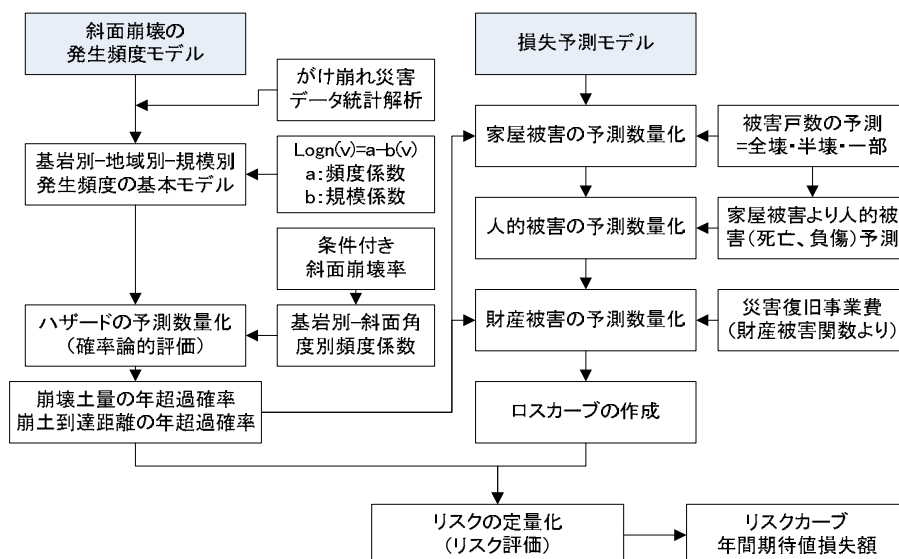


図 2.2-2 斜面崩壊リスク分析モデルの構成

2.2.5 斜面崩壊発生頻度モデル

(1) モデル化にあたっての着眼点

昭和 47 年～平成 19 年の 36 年間ににおける降雨を誘因としたがけ崩れ災害データを用いて、斜面崩壊リスク評価の基本となる災害の発生頻度に関するモデル化の検討を行った。モデル化にあたっての主な着眼点は以下のとおりである。

- ☐ 確率論的な評価手法であるとともに、全国的に適用可能な手法であること。
- ☐ 斜面崩壊の発生の場合（地域、地質）や誘因の特性について考慮できること。
- ☐ 損失予測モデルと組み合わせてリスク分析モデルの適用性などを検討できること。

(2) 用いたデータ

検討に用いたのは、過去 36 年間のがけ崩れ災害データの中

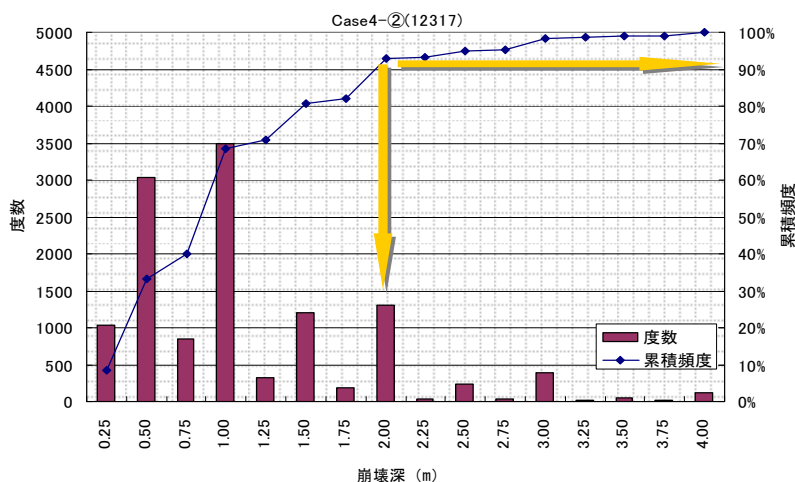


図 2.2-3 検討に用いた災害データの概要

から、降雨を誘因とするデータでかつ地すべり的な崩壊を除いたものである。図 2.2-3 は検討に用いた災害データの崩壊深に関する頻度分布図である。崩壊深は最大 4 m、累積頻度の約 90%が崩壊深 2 m であり、一般的ながけ崩れを代表するデータであると言える。

(3) モデル化の方法

災害データをもとに、①全基岩－都道府県別と②基岩別－地域別について、災害規模（ここでは崩壊土量とした）別の発生頻度を統計分析で検討した。

①全基岩－都道府県別については、36 年間の災害データをもとに、全ての基岩について都道府県別の崩壊土量と災害の発生頻度の関係を分析した。全基岩－都道府県別に整理した崩壊土量と発生頻度との関係を図 2.2-4 に示す。

②基岩別－地域別の検討では、基岩の種類が記載されている昭和 47 年～平成 11 年までの 28 年間の災害データを用いた。基岩は災害データで分類されている噴出岩類、深成岩類、火山砕屑物、水成岩、変成岩類、シラス、ロームの 7 種類とした。また、地域は北海道・東北地方、関東地方、北陸地方、中部地方、近畿地方、中国地方、四国地方、九州地方（沖縄を含む）の 8 地域とし、概ね地方整備局が管轄する範囲と同様とした。基岩別－地域別に整理した崩壊土量と発生頻度との関係を図 2.2-5 の

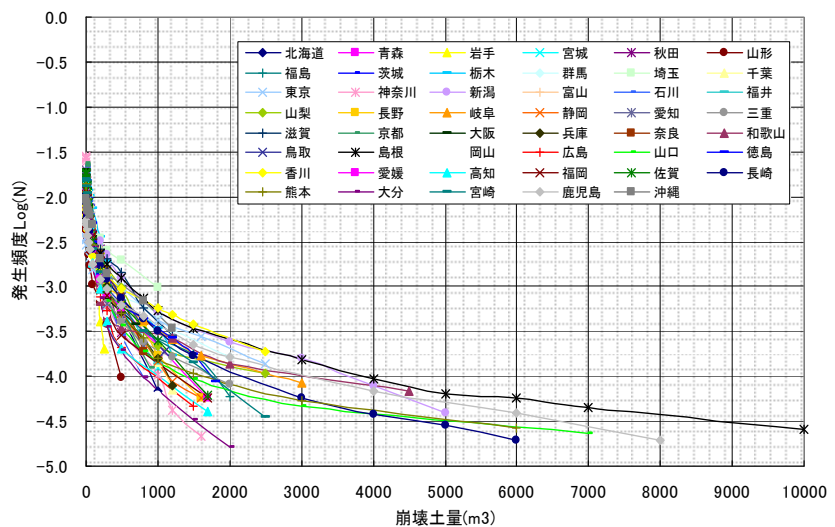


図 2.2-4 全基岩－都道府県別の崩壊土量と発生頻度の関係

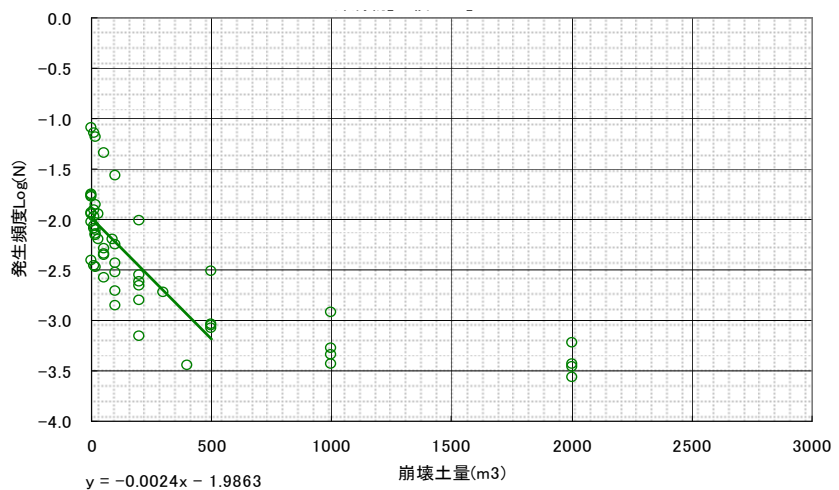


図 2.2-5 基岩別－地域別の崩壊土量と発生頻度の関係および斜面崩壊発生頻度モデル（火山砕屑物－九州地方）

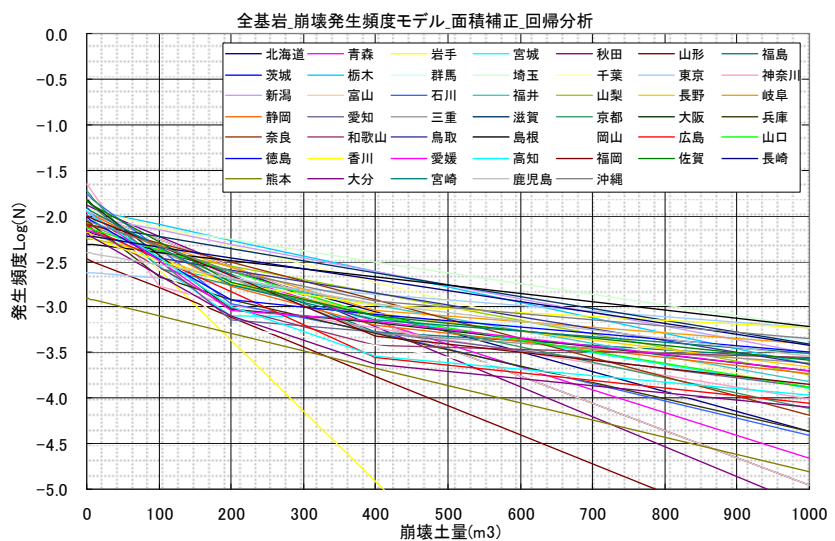


図 2.2-6 全基岩－都道府県別の斜面崩壊発生頻度モデル

丸印（一例として火山砕屑物－九州地方）に示す。

図 2.2-4 および図 2.2-5 に示された関係をモデル化するにあたって，斜面崩壊が発生する年平均の回数を次のように求めた． T 年間に k 個の崩壊データがある場合，崩壊土量 V の任意の値を v とし， k 個のデータのうち崩壊土量が v を超えているものの割合を $\phi(v)$ とし $V > v$ となる斜面崩壊の年平均回数 $nh(v)$ は次式で表わされる．

$$nh(v) = \phi(v) \frac{k}{T} \text{-----}(2.2-1)$$

すなわち，崩壊土量 V の任意の値 v と $nh(v)$ ($\log nh(v)$) との関係が崩壊土量の発生頻度となる．斜面崩壊の発生頻度は，この関係がスケーリング則に従うと仮定し，次式でモデル化するものとした．

$$\log nh(v) = a - b(v - V_L) \text{-----}(2.2-2)$$

ここで V_L は工学的に意味のある最小の崩壊土量であり，経験的にこの値が小さくなると被害の発生も小さくなるような値である．また， a は発生頻度を表す係数， b は崩壊の規模を表す係数である．回帰分析等で係数 a ， b を求めることで，斜面崩壊の発生頻度モデルが設定できる．なお，係数 a から崩壊土量が V_L 以上となる崩壊の年間発生回数は以下ようになる．

$$v_0 = 10^a \text{-----}(2.2-3)$$

あるエリア内（今回の分析では都道府県単位）で任意の期間に発生する斜面崩壊は，そのエリア内固有の素因の大きさに支配されると考えられるため，面積比係数として「100 m²／崩壊地面積」で補正処理を行うこととした．面積比で補正して得られた最終的なモデル関数を，①全基岩－都道府県別については図 2.2-6 に，②基岩別－地域別については図 2.2-5 の直線（一例として火山砕屑物－九州地方）に示す．

（4）条件付き斜面崩壊率の設定

先に説明した崩壊の規模を表す係数 b 値は，都道府県単位，地域単位で設定した値でモデル化することができる．一方，斜面崩壊の頻度を表す係数 a 値は斜面の崩れやすさを意味し，この a 値を斜面ごとに設定することで各々の斜面固有の崩れやすさを反映した発生頻度モデルとなる．先に設定した a 値は平均的な値

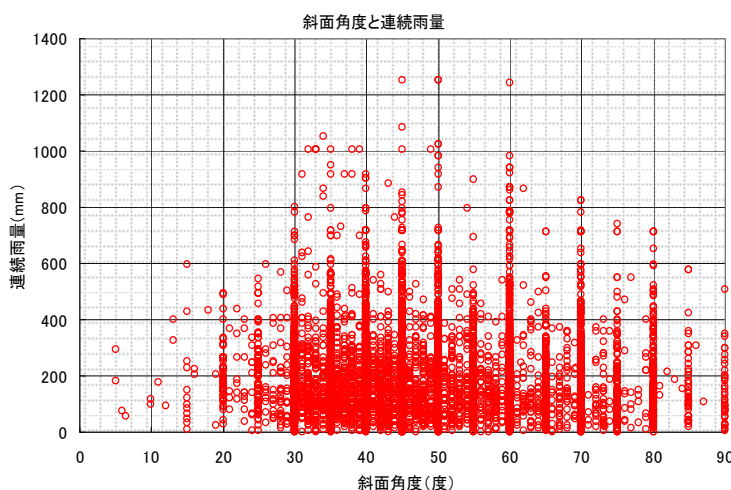


図 2.2-7 全基岩の斜面角度と連続雨量の関係
(分布図)

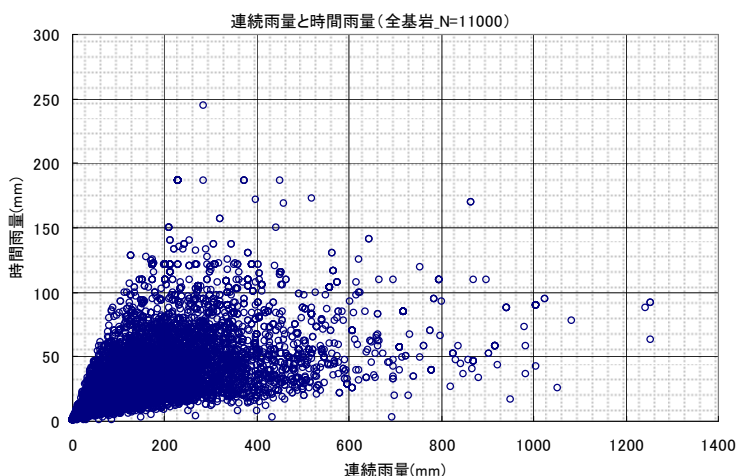


図 2.2-8 全基岩の連続雨量と時間雨量の関係

である．このため，個別の斜面での崩れやすさの違いについては，降雨量－斜面角度との相関から設定を試みた．

降雨による斜面の崩壊現象を考えた場合，崩壊発生時までの連続雨量と時間雨量がともに関係すると考えられる．斜面角度と連続雨量の関係（図 2.2-7）を見ると，バラツキはあるものの，平均値や中央値で見ると斜面角度が緩くなるに従って連続雨量は多くなる傾向が現れている．一方，連続雨量と時間雨量との間には明瞭な相関関係は見られなかった（図 2.2-8）ため，ここでは連続雨量に着目することとした．

崩壊率は次のように設定した．まず，斜面角度別の連続雨量の平均値を求め，斜面角度と災害発生時までの連続雨量との関係を回帰近似による関数式で定義した（図 2.2-9）．次に，連続雨量の変化と災害の発生数（年平均）との関係を分析し，平均的な斜面角度に対する崩壊率を 1.0 と仮定して，上記の斜面角度と雨量との相関式をもとに斜面角度別の崩壊率を設定した（図 2.2-10）．なお，平均的な斜面角度の崩壊率を 1.0 とした理由は，災害データから斜面崩壊の発生頻度モデルを定義するに際し，規模別の頻度として分析した値の平均値をモデル化したことから，ここでの基準も合わせるためである．基岩別でも同様の考え方に基づいて斜面角度と崩壊率の関係を設定した．図 2.2-11 に一例として火山砕屑物に対する斜面角度と崩壊率の関係を示す．斜面崩壊のリスク評価に際しては，斜面角度を変動値とした崩壊率を求め，頻度の係数 a 値に乗じることで個別の斜面に対応した頻度係数 a' 値を得ることになる．

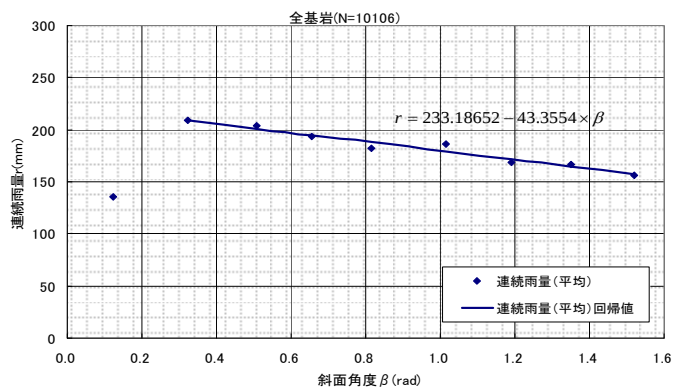


図 2.2-9 全基岩の斜面角度と連続雨量の関係（回帰線）

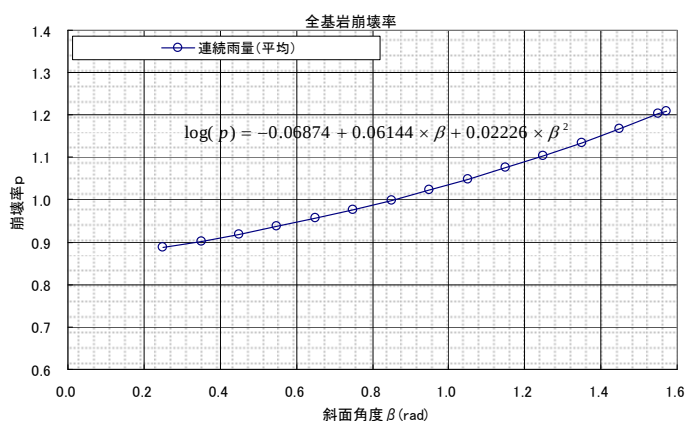


図 2.2-10 全基岩の斜面角度と崩壊率の関係

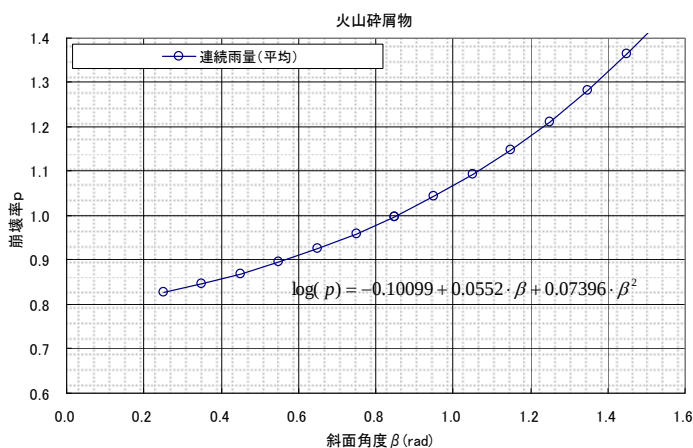


図 2.2-11 基岩別の斜面角度と崩壊率の関係
(火山砕屑物)

2.2.6 損失予測モデル

損失の予測対象は、家屋被害・人的被害・財産被害とした。モデル化に当たっては、災害データからそれぞれの被害関数について設定した。

(1) 家屋被害

災害データには、斜面崩壊によって被災した家屋の被災レベルとして全壊、半壊、一部損壊の3つで整理されている。被害予測のモデル化では、斜面崩壊の発生頻度モデルと同様に崩壊土量をパラメータとして、この3つのレベルの損失を予測するための被害関数を検討した。ただし、災害データには、保全対象家屋数は示されているものの位置情報がないため、保全対象家屋数に対する被災

家屋数を家屋の損失率とした。すなわち、ここでの損失率は0～1.0となり、家屋被害がない場合が0、全ての保全対象家屋が被害を受けた場合は1.0とした。被害予測のための被害関数は、既知である保全対象家屋数に損失率を乗じることで、被害戸数が得られるものとした。

家屋被害の被害関数は次のようにして求めた。家屋被害の形態は、災害データでの記録と同様に全壊、半壊、一部損壊の3つの被災レベルとした。家屋被害が記録されているデータのみを用いて、任意の崩壊土量（5～50 m³、50～100 m³、・・・）における損失率を抽出し、これが対数正規分布の確率量に従うものとしてその平均値を算出して被害関数を設定した。災害データによると、斜面崩壊によって被災した家屋は、全壊が9.6%、半壊が10.2%、一部損壊が38.6%であることから、得られた被害関数をこの被災率で補正した。こうして得られた家屋被害に関する被害率曲線（被害関数）を図2.2-12に示す。

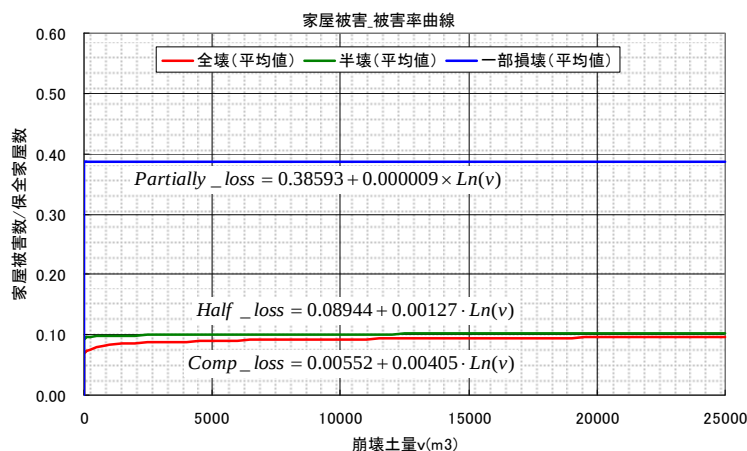


図 2.2-12 家屋被害の被害関数

(2) 人的被害

斜面崩壊によって被災した人的被害には、被災レベルとして死亡と負傷があり、それぞれの被災者数が記録されている。被災者数の予測モデルについては、この2つの被災レベルを対象とした被害関数を検討した。災害データによると、人的被害は家屋被害によって生じており、家屋被害数をパラメータとした関数式とした。また、人的被害はいずれの家屋被災レベル（全壊、半壊、一部損壊）でも発生しているため、被災レベルご

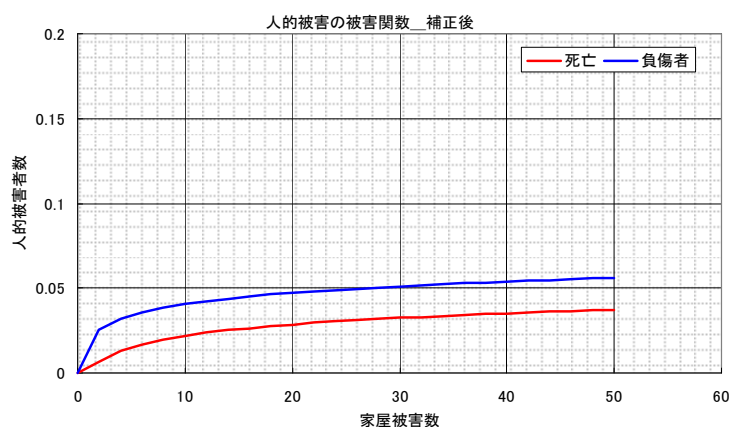


図 2.2-13 人的被害の被害関数

との予測ではなく、被害家屋数の合計値に対する人的被害数とした。

人的被害の被害関数は次のようにして求めた。人的被害の形態は、災害データでの記録と同様に死亡、負傷の2つの被災レベルとした。人的被害者数と家屋被害数は対数正規分布の確率量に従うものとし、任意の家屋被害数（例えば5戸未満、5～10戸、・・・）における人的被害者数からその平均値を算出して被害関数を設定した。これを、災害データ上の被災率で補正した。こうして得られた人的被害に関する被害関数を図 2.2-13 に示す。これを用いて、5.1.で予測した家屋被害から人的被害としての死者数及び負傷者数を予測することとなる。

なお、人的被害に係る損失額については、一応の算定は可能であると思われる。しかし、自然災害で発生する人的被害を貨幣換算する手法は必ずしも確立されていないため、今回の検討では人的被害の人数予測にとどめた。

(3) 財産被害

財産被害は災害復旧事業費が主な対象と考えられる。そこで、平成20年度の災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業費の実績値をもとに検討を行った。損失額は年超過確率に対応した設定が必要となることから、崩壊土量と事業費との相関関係から被害関数を設定した。また、事業費には受益者負担があることから、崩壊土量と負担金との相関を検討し、これに関する被害関数も併せて設定した。財産被害の被害関数の設定にあたっては、事業費と崩壊土量の関係、受益者負担金と崩壊土量の関係をプロットし、それぞれ回帰近似することにより求めた（図 2.2-14）。

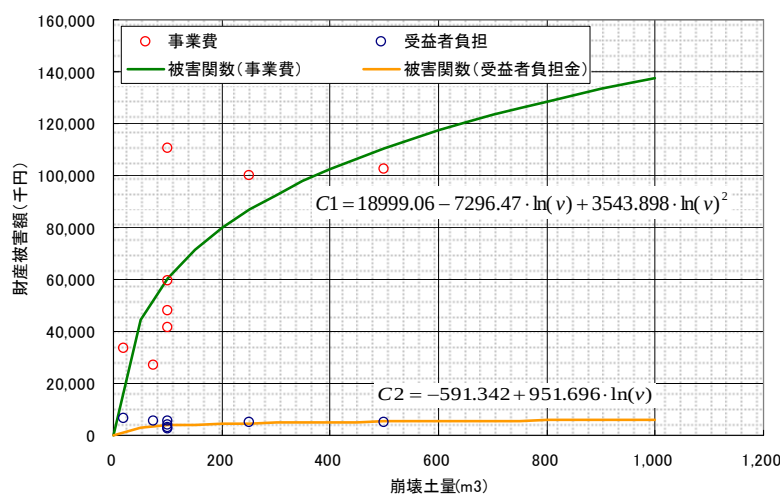


図 2.2-14 財産被害の被害関数

2.2.7 リスクの定量化モデル

以上作成した斜面崩壊の発生頻度モデル、すなわちハザードカーブと、損失予測の結果によるロスカーブを用いて、斜面崩壊によるリスクの定量化モデルが作成できる。これを模式的に表すと図 2.2-15 のようになる。

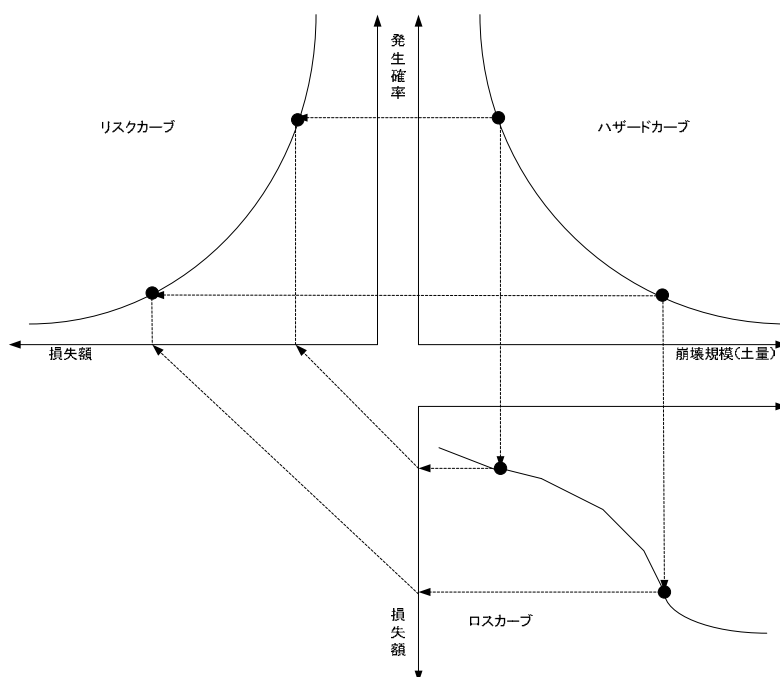


図 2.2-15 リスクの定量化手順

(1) ハザードカーブ

上記のように、ハザードカーブのベースとなる斜面崩壊の発生頻度モデルは、全基岩―都道府県別と地域別―基岩別についてモデル化した（図 2.2-6, 2.2-5）。また、斜面の崩れやすさについては、斜面傾斜をもとに崩壊率を設定した（図 2.2-10, 2.2-11）。以上から、斜面崩壊の発生頻度モデルから作成するハザードカーブは、地域・基岩・斜面の特性を考慮したモデルとなる。

(2) ロスカーブ

ロスカーブとは、崩壊土量と家屋被害、人的被害、財産損失の関係を表すものである。このうち家屋被害については、損失予測のモデル化で説明したように、予測される崩壊土量から家屋被害戸数（全壊、半壊、一部損壊別およびその合計値）を予測する被害関数としている（図 2.2-12）。また、人的被害（死亡、負傷）は、家屋の被害戸数をもとに推定する被害関数である（図 2.2-13）。以上から、家屋被害および人的被害については、崩壊土量と家屋被害戸数、人的被害人数との関係図が作成できる。家屋の損害額は、家屋の再調達価額に対して家屋の被害モードに応じた損失率を乗じることで得られることから、検討箇所ごとにこの関係を整理することでロスカーブが作成できる。一方、財産被害については、崩壊土量との関係（図 2.2-14）から求めることができるため、ハザードカーブから直接、財産被害としてのロスカーブが作成できることになる。

(3) リスクカーブ

リスクカーブは予想損失額と年超過確率との関係であり、図 2.2-15 に示すようにハザードカーブとロスカーブをもとに作成する。リスクカーブから、任意の発生確率に対する損失の大きさや最悪ケースの損失の大きさが読み取れる。また、リスクカーブで囲まれた面積が年間期待値損失（年間平均損失）であり、1 年あたりの平均的な損失額も予測できる。

2.2.8 モデルの適用事例（ケーススタディ）

本研究で作成したリスク分析モデルを用いて、具体の急傾斜地崩壊危険箇所におけるリスク評価を行った。

(1) 適用箇所の概要

リスク分析モデルの適用検討箇所（図 2.2-16）は宮崎県内にあり、概要は以下のとおりである。

- 急傾斜地崩壊箇所の延長：230 m
- 傾斜度：41° (=0.7175 rad)
- 斜面高さ：30 m
- 斜面方位：1（東向き斜面）
- 斜面形状：凹形直線斜面
- 人家戸数／人家戸数：17
- 人家戸数／換算人家戸数：44

現地調査の結果によると、がけ崩れの危険性がある地層は、表土と火山灰質粘性土（層厚 4～5 m 程度）である。また、この下位には花崗斑岩が分布している。

(2) ハザード分析

上記で示した斜面崩壊の発生頻度

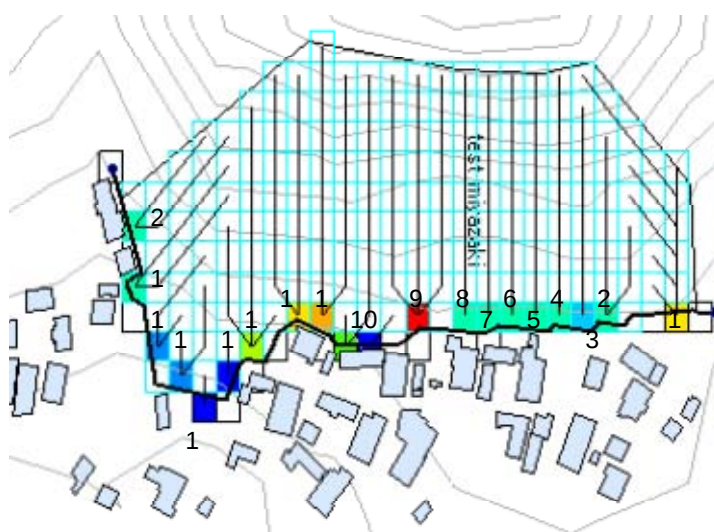


図 2.2-16 検討箇所の平面図

モデルは、過去の崩壊履歴をもとに設定した頻度モデルである。このため、具体的な検討箇所への適用にあたっては、対象エリアの面積比を考慮する必要がある。宮崎県の急傾斜地危険箇所資料によると、急傾斜地Ⅰの面積は26,450,759.95 m²である。一方、過去の崩壊履歴によると、宮崎県での全崩壊地の面積は78,658.88 m²であり、このうち、火山砕屑物での崩壊地の面積は218.57923 m²である。単純に比

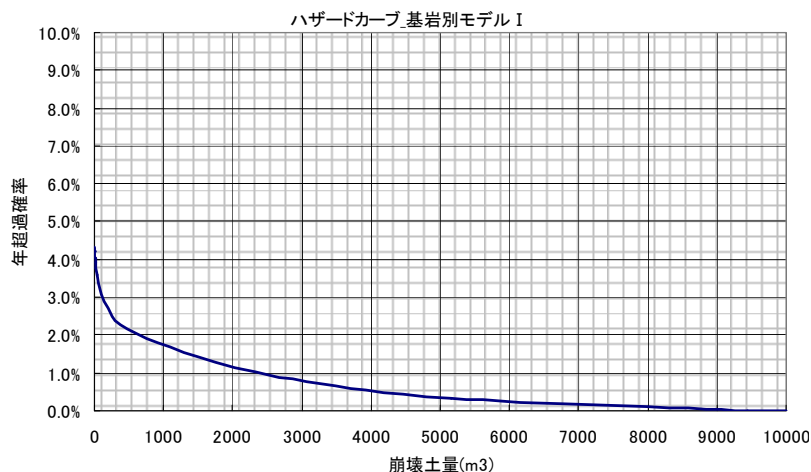


図 2.2-17 検討箇所におけるハザードカーブ

率でみると、火山砕屑物が占める割合は0.278%である。今回の検討では、上記の比率をベースに、急傾斜地Ⅰに対する面積比をもとにハザードを分析することとした。

ハザード分析には、地域別－基岩別モデルを用いた。九州地方での火山砕屑物における斜面崩壊発生頻度モデルは図 2.2-5 に示されるような直線であり、頻度係数 $a = -1.9863$ 、規模係数 $b = 0.0024$ である。頻度係数は平均値であることから、検討箇所の斜面角度 ($\beta = 0.7175$ rad) で補正する。崩壊率は、火山砕屑物における斜面角度と崩壊率の関係 (図 2.2-11) から次式で得られる。

$$\log(p) = -0.10099 + 0.0552 \times \beta + 0.07396 \times \beta^2 = 0.947744 \text{ -----(2.2-4)}$$

ここから、上記の a 値に崩壊確率を乗じた値を頻度の係数 a' 値として設定する。すなわち、

$$a' = \log(10^{-1.9863} \times 0.947744) = -2.00961 \text{ -----(2.2-5)}$$

このようにして得られた斜面崩壊の頻度モデルを用いて、ハザード分析を行った。分析にあたっては、図 2.2-16 に示すように、検討箇所の斜面を 10 m×10 m のメッシュに分割し、任意の発生頻度に対する急傾斜地下端部のメッシュに到達する土量をそれぞれ集計した。その上で、急傾斜地Ⅰに対する面積比を考慮したハザードカーブを作成した (図 2.2-17)。

(3) ロス分析

図 2.2-12 から得られる家屋被害に関するロスカーブと、図 2.2-13 から得られる人的被害に関するロスカーブを図 2.2-18 に示す。なお、財産被害によるロスカーブは、図 2.2-14 に示した崩壊土量と復旧費用との関係から求められる。

(4) リスク分析

ハザードカーブおよびロスカーブから得られたリスクカーブを図 2.2-19 に示す。家屋損失

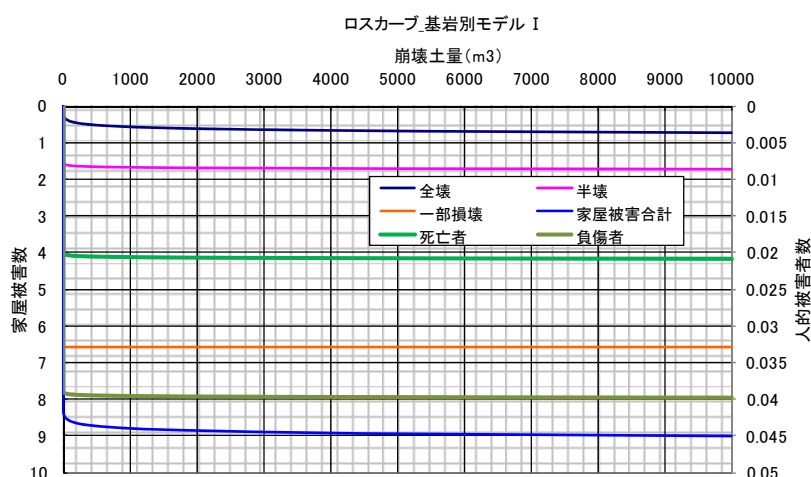


図 2.2-18 検討箇所におけるロスカーブ

額の算定にあたっては、「損失額＝再調達価額×損失（被害）率」として求めた。この損失率は、自然災害などにより住家などが破損した場合の被害認定基準を参考に、全壊が 100%、半壊が 50%、一部損壊が 20%と仮定した。再調達価額は、検討箇所での平均的な述べ床面積と床面積当りの工事費をもとに統計資料から一律 15,600 千円と仮定した。

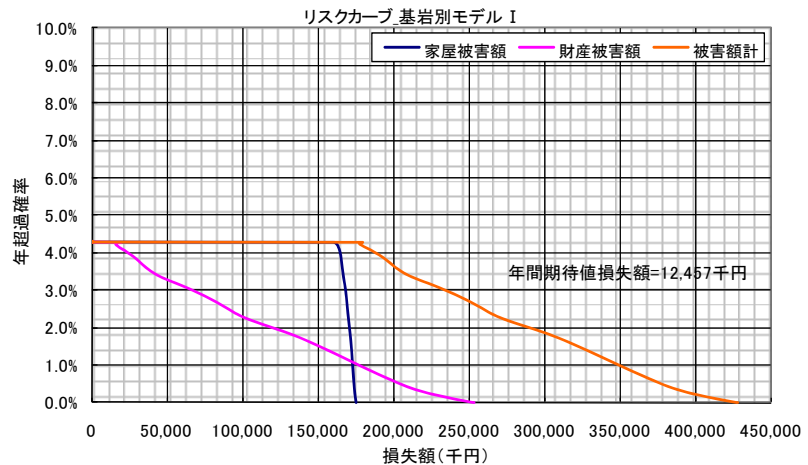


図 2.2-19 検討箇所におけるリスクカーブ

図 2.2-19 から、検討箇所におけるがけ崩れ災害リスクとして、年間期待値損失額（年平均損失）は 12,457 千円であること、1/50 の確率で約 280,000 千円程度の損失の可能性があること、最悪ケースでは 400,000 千円強の損失の可能性があることなどが評価できる。なお、上述の通り、人的被害については貨幣換算による評価を行っていない。

2.2.9 まとめと今後の課題

本研究では、地域や基岩の特性を考慮したがけ崩れ災害リスク分析モデルの開発を行った。本モデルを用いることにより、個々の急傾斜地崩壊危険箇所における確率論的なハザード・損失予測をもとに、全国あるいは地域レベルでのリスクの相対的評価が可能となる。したがって、本モデルは次のような活用が期待できる。

① ハザードマップへの活用

規模別の確率論的なハザード評価であることから、全国あるいは地域レベルでのハザードと確率の大きさをもとにしたランク付け、確率評価によるハザードマップへの反映等ができる。

② 防災対策の優先度評価への適用

年間期待値損失額や任意の発生確率に着目した損失額（あるいは最大損失額）は、客観性のある優先順位付けのための基礎資料となり得る。また、損失予測の結果による被害規模（被害家屋数や人的被害人数）単独での優先度評価も可能である。

③ 対策効果・整備レベルの評価

防災対策の実施効果や整備レベルの評価も可能である。例えば、待受型の対策において、その残存リスクをもとに対策効果の評価が可能となる。また、年超過確率 1%レベル、5%レベルと言った基準値を設けることで、整備水準の評価が可能になる。

④ 事業評価、投資効果分析への適用

防災対策によって削減されるリスク量は、投資に対する便益として評価することができる。すなわち、防災対策で要する費用と便益との比もしくは差をもとに防災投資による効果分析が可能になる。

なお、上記に向けた今後の課題として、以下の点が挙げられる。

□ ハザード評価について、斜面角度を基本とした斜面の崩壊率を検討したが、その妥当性を検証す

るために、数値解析による検証や他の要素を関連付けた検討が必要である。

- 損失予測のための被害関数は、バラツキのあるデータの平均値から設定したものである。このため、多くのケーススタディ等をもとに精度的な検証や制約条件等について検討を加える必要がある。
- リスク評価の結果を用いた優先度評価や投資効果分析等については、簡便で分かりやすい表現方法、具体的な手法等についての検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 全国治水砂防協会：砂防便覧（平成 20 年版），pp.724，2008 年 3 月
- 2) 小山内信智・富田陽子・秋山一弥・松下智祥：がけ崩れ災害の実態，国土技術政策総合研究所資料，No.530，pp.203，2009 年 3 月

2.3 データ整備が不十分な中小河川に対する治水安全度評価手法の検討

2.3.1 はじめに

近年、集中豪雨等により全国各地で甚大な災害が発生している。とりわけ、局所的な豪雨の影響を受けやすい中小河川においては甚大な被害が発生している。

その一方で、財政面の厳しい制約もあり、効果的な水害対策を図るためにはより優先度の高い地域から治水対策を進めていくことが重要である。また、河川管理者、地域の防災対策を担う関係自治体、さらには地域住民が一体となり、効率的・効果的な治水対策を推進し、災害発生時における実効的な危機管理を実現するためには、河川の各区分における安全度を評価し、その結果を地域にわかりやすく示すことも重要である。

しかしながら、都道府県等が管理する中小河川では河道横断測量、水位・流量観測等が十分に実施されておらず流下能力などの基本的かつ重要な情報が不足している箇所もあるのが現状である。

以上のような背景から水害研究室では、全国同一の尺度による簡便な治水安全度評価手法を立案し、地方整備局等と連携し一級水系の指定区分等の中小河川を対象として、治水安全度評価を実施し、国管理区分を含む水系全体の治水安全度（その河道区分が安全に流せる洪水の規模）の公表を行った。

2.3.2 研究目的と研究方法

本研究の目的は、横断測量の行われていない河川においてどの程度の洪水に耐えうるのか、その安全度の評価を簡易に行うことである。このため、一級水系の指定区分等の中小河川を対象として、航空レーザー測量により地形データの取得を行い、これを用いて治水安全度評価を行うシステムを開発した。

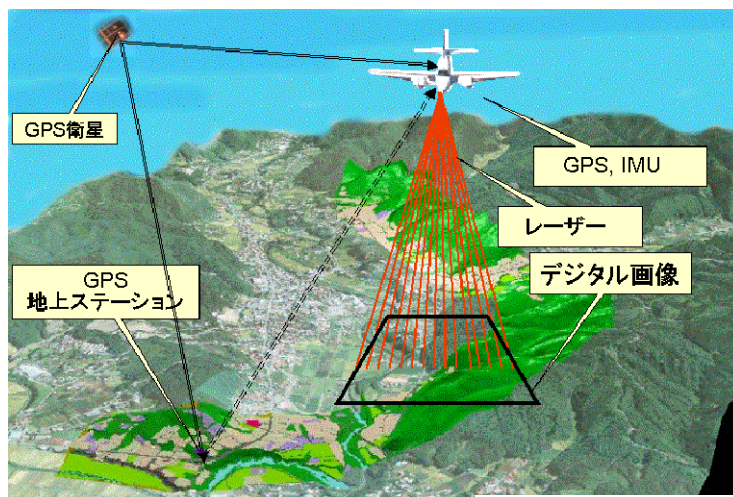
2.3.3 中小河川の治水安全度評価

(1)河道地形データの作成

1) 航空レーザ測量によるデータの取得

国の管理区分以外の中小河川においては、整備計画の検討が行われている等の限られた区分においてのみ河道測量成果が存在し、多くの区分においては河道横断測量成果を有していないことが実状である。こうした測量“空白区”を速やかに解消するため、広範囲の地形データを高密度で取得できる航空レーザー測量（以下、LP測量）を活用した¹⁾。

LP測量は、図 2.3-1 に示すとおり、航空機に搭載した航空レーザスキャナから地上に向けてレーザパルスを発射し、反射して戻ってきたレーザパルスを解析することで地形データを取得する技術である。地形データから河道横断形状や氾濫原の地形形状などを得ることが可能である。



※IMU：慣性計測装置

図 2.3-1 LP測量の概念²⁾

今回は、「航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針(案) 平成17年6月 国土交通省河川局」に従い、レーザ計測密度について2mピッチを最低条件として行っている。

2) 地盤高データの作成(データ処理)

上記にて取得した、LP測量結果である生データにはノイズデータとよばれる空中の雲や塵などに反射したデータも含まれている。このノイズデータを除去し、地表面データ(オリジナルデータ)を作成する。このオリジナルデータは構造物や草本群落の標高値も含むため治水安全度評価に用いる河道断面を作成するための地盤高データを得るには、構造物や植生群落を除去し地盤高データ(グラウンドデータ)を作成する必要がある。この過程をフィルタリング処理²⁾と呼ぶ。

計測範囲の全域を対象に地表面データをコンピュータプログラムによるフィルタリング処理(自動フィルタリング)を行い、構造物や大きな植生群落等を取り除く。

ただし、自動フィルタリング処理だけでは河川周辺にある除去対象物の取り除きの過不足(橋梁や樹木の取り残し、堤防の消失など)があるため、自動フィルタリング処理後のデータと航空写真(オルソフォト)を見比べ手作業による補正(手動フィルタリング)を行い、流下能力計算に必要な地盤高データを作成する。

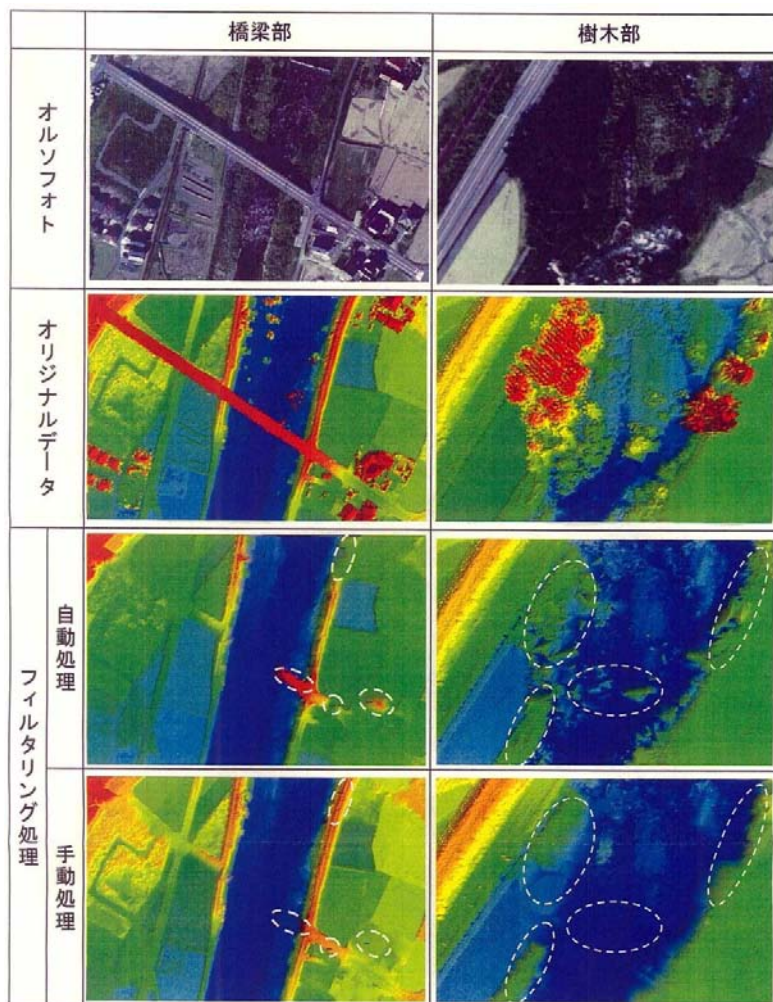


図2.3-2 フィルタリング処理の過程
(河道内樹木と橋梁データの除去)

3) 河道横断形状の作成

地盤高データから河道横断形状を作成する手法としては、主なものに投影法、バッファー法、TIN（不整三角形網Triangulated Irregular Network）法があるが、今回は機械的に河道横断図を作成できるTIN法を採用し、河道中心線に直交する任意の横断測線上の標高を、地盤高データから作成された三角形網より自動的に河道横断形状を得るシステムを開発し治水安全度評価に使用した。

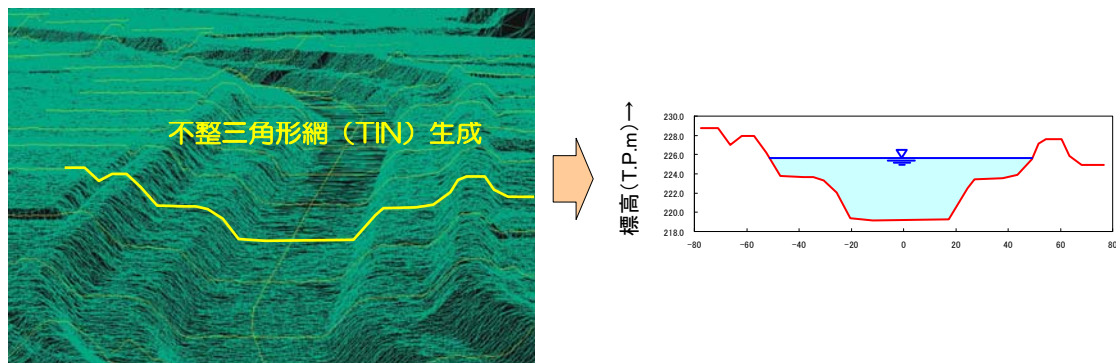


図2.3-3 TINによる河道横断図作成

4) 地盤・地形データの精度を向上させるための配慮

河道横断図取得においては、L P 測量自体の誤差³⁾（計測機器や計測実施条件等に左右されるが、概ね水平精度 $\pm 30\text{cm}$ 、鉛直精度 $\pm 15\text{cm}$ ）、TINデータからの内挿補間による誤差の影響の他に、レーザの性質上、水面下の地形データを計測できないこと、草本類の影響を受けるため実際の地盤高よりやや高い地盤高で計測され、通常の河道横断測量結果と比較するとやや横断面積が小さくなる傾向が見られた（図2.3-4、図2.3-5 参照）。

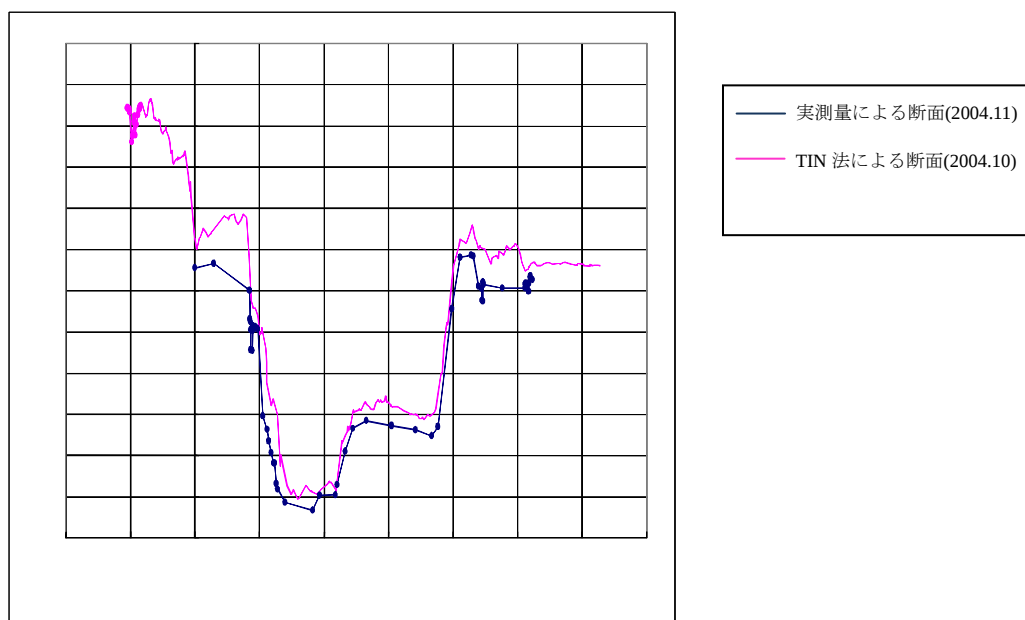


図2.3-4 L P 計測による断面と実測による横断面

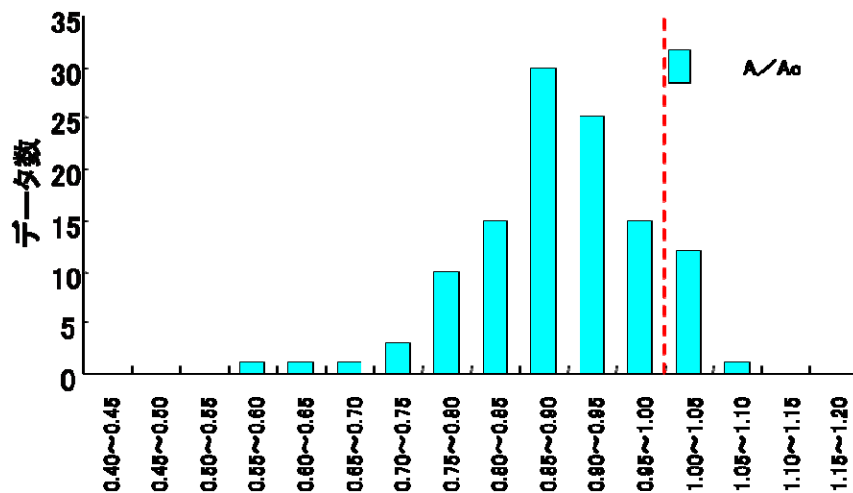


図2.3-5 実測断面に対するLP測量による断面の比
(A:LP測量による断面積 A₀:実測による断面積)

これらの誤差をできるだけ小さくするために、河道横断測量が実施されている場合は、その測量断面を用いて精度チェックや補正・補完を行った。

(2) 流量・水位計算

1) 基本的な考え方

中小河川においては前述のように、水位・流量観測等が十分に実施されていないこともあり、今回の評価にあたっては全国各雨量観測地点の降雨強度式と合理式による確率規模別流量の計算及び一次元不等流計算といった簡便な解析手法を採用した。

2) 降雨強度 r

降雨強度式にはフェア式を用いる。実際の計算では独立行政法人土木研究所が開発した「アメダス確率降雨計算プログラム」を使用する。 (<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>)

$$r_t^T = \frac{bT^m}{(t+a)^n} \quad \dots(2.3-1)$$

ここで、

r_t^T : 確率年 T 継続時間 t の確率降雨強度 (mm/hr)

T : 確率年(年)

t : 降雨継続時間 (hr)

a, b, m, n : フェア式パラメータ

このプログラムは、全国の気象庁アメダス観測点の約1,300地点のうち748地点について、1971年～2000年までの雨量データを基に作成したものである。なお、 t にはクラーク式によってもとめた合理式における洪水到達時間を与える。

3) 合理式と流出係数 f

合理式で用いる流出係数 f は、土地利用区分ごとの流出係数の加重平均（各区分の面積に関する）とし、「河川砂防技術基準⁴⁾」を参考に山地を0.7、平地を0.8と設定した。なお、計算に必要な流域面積や流路長といったデータは河川現況台帳をもとに国総研水害研究室が整理し、放水路の新規建設等により修正が必要であると判断される場合には修正を行った。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} frA \quad \dots(2.3-2)$$

ここで、各変数は以下の通りである。

Q_p : 洪水ピーク流量 (m³/s),

f : 流出係数

r : 洪水到達時間内の降雨強度 (mm/hr)

A : 流域面積 (km²)

4) 一次元不等流計算と粗度係数 n

河床材料や河道内樹木群等の河道特性を反映できる水位計算手法も実用化されているが、河道特性を把握することは容易ではない。そのため、河道横断面に合成粗度係数を設定し一次元不等流計算により、水位計算を行った。ただし、中小河川には急勾配区間も多いので、必要に応じ、常流射流混在の計算もできるようにしている。

この場合において、河道の全ての特性（河床材料、河道横断面形状など）を考慮した合成粗度係数の与え方が大切になる。今回の検討では中小規模でも粗度係数が実測値等から詳細に検討されている58河川を対象にした場合、平均的な合成粗度係数として $n=0.033$ が得られたことから、国総研が行った一次評価においては、すべての区間においてこの値を一律に設定し、水位計算を行った。

(3) 治水安全度の評価

(1)(3)で作成した河道横断形状から堤防の評価高（今回の検討では堤防の評価高については、「評価高＝現況天端高－確率規模別流量に応じた余裕高」を基本としているが、背後地盤高の方が高い場合は、評価高を背後地盤高として採用している。）を決定し、(2)で得た水位計算結果と比較することによって、治水安全度を評価する。

$T=30$ の洪水の水位計算結果と評価高を比較し、堤防の評価高が水位を上回る場合、青色で着色し、「30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。また、評価高が $T=10$ の洪水の水位計算結果を下回る場合は、「10年に一度発生すると想定される降雨に未対応の区間」として赤色で着色し、そのどちらでもない場合は、黄色に着色し、「10から30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。（図 2.3-6 参照）。

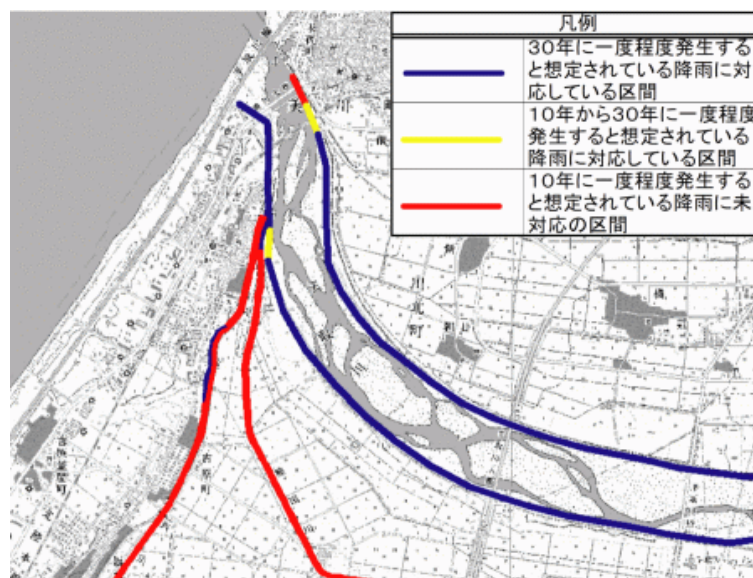


図 2.3-6 中小河川治水安全度評価イメージ

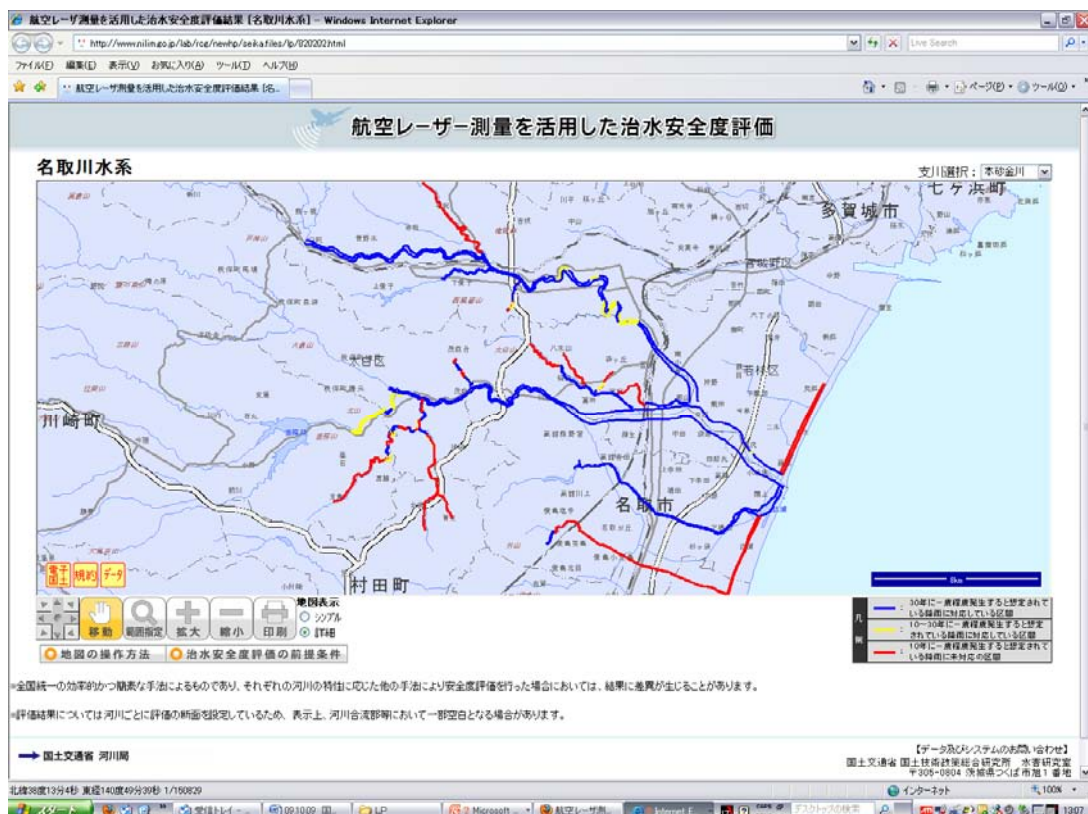
2.3.4 評価結果の公表

評価結果は国総研水害研究室の web ページで公表している。

トップページ (<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/lp/eva.html>) にある「治水安全度評価」のタブから地方・水系を選択した後に目的の水系の評価結果を見ることができるようになっている(図 2.3-7)。なお、背景地図には国土地理院が公開している電子国土を用いている。



公表サイトのトップページ



公表結果のページ例

図 2.3-7 治水安全度評価公表サイト

公表にあたっては、国総研において評価作業を行った結果を都道府県に送付し、妥当性の確認を行っていただいた。なお、自治体においてすでに何らかの形で安全度の評価を適切に行っている場合は、国総研で作業した結果ではなく自治体の評価結果を掲載していることがある。

また安全度評価は 100m ピッチで実施しているが、表示にあたっては L P データの精度や評価結果の見やすさを考慮して 500m ピッチでその区間における最も低い安全度の表示を基本とした。

2.3.5 まとめと今後の課題

本評価を進めるにあたり、本省河川局をはじめ、都道府県、北海道開発局、地方整備局の関係各位に多大なるご協力を頂いた。深く謝意を表する次第である。

なお、水害研究室では、中小河川の治水安全度評価のほか、GIS データを取り込んで入力データの作成・流出計算から氾濫計算までの一連の計算を実施・地図を背景にした解析結果の表示・表示結果の加工等が行える「洪水ハザードマップ作成システム」の開発、本支川や上下流の治水安全度バランスを調査するための技術的手法についてとりまとめた「治水安全度バランス調査マニュアル（案）」の作成等もおこなってきた。

これらの成果が中小河川を含む水系全体の治水安全度に関する客観的で正確な認識の醸成に貢献し、地域における水害や、より実効的な危機管理の実現、さらには住民等の危機管理意識の向上につながっていくことを期待する。

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局：航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案）， pp.1-10, 2005.6
- 2) (財)日本測量調査技術協会：《図解》航空測量ハンドブック, pp.59-65, 2004.1
- 3) 今井靖晃，瀬戸島政博，山岸裕，藤原宣夫：解像度の異なる LIDAR データによる都市内樹林の受講計測特性, 測量, Vol.55, No.2, pp.28-32, 2005.2
- 4) 国土交通省河川局監修，(社)日本河川協会編：国土交通省河川砂防技術基準 同解説 計画編, pp.35, 2005.11

2.4 水害被害額の算定手法の検討

2.4.1 はじめに

我が国の国土は、厳しい自然条件下にあり、河川氾濫区域内に人口や資産が集中する社会条件も加わり、洪水による甚大な被害を受けやすい状況にある。このような状況に対処するためには、優先順位の高い事業から効率的に進めていくことが重要であり、一定の規則に従い費用対効果を適切に評価する必要がある。現在、河川改修やダム・遊水池などの治水施設整備を実施する際には、その整備効果について、「治水経済調査マニュアル（案）」¹⁾に準拠した手法で、治水事業による被害軽減額を事業効果として評価し、費用対効果分析を行っている。現行マニュアルの被害項目は、表 2.4-1 に示す通り、直接被害、間接被害に大別されるとともに、様々な項目に分類されるが、具体的な算定方法が示されている項目は、浸水による家屋・家財の被害や事業所の償却・在庫資産等の直接被害や、一部の間接被害に限られており、その他の間接被害については、算定方法が確立されておらず、治水事業効果の適切な評価の観点から課題が残されている。

表 2.4-1 治水経済調査マニュアル（案）の被害項目

分類	区分	細分	内容 (注1)
直接被害	一般資産被害	家計	家屋・家財被害
		事業所 (注2)	償却・在庫資産被害
		農漁家	償却・在庫資産被害
	農作物被害		農作物の減収
	公共土木施設水害		公共土木施設、公益事業施設、農業用施設の被害
	人身被害		人命損傷
間接被害	営業停止被害	家計	浸水世帯の平時の活動阻害
		事業所 (注2)	浸水事業所の生産停止・停滞被害
	応急対策費用	家計	緊急的支出、代替品消費支出
		事業所	緊急的支出、代替品消費支出
		公共	ゴミ処理、避難所開設等の緊急的支出
	交通途絶被害		道路等交通途絶に伴う被害
	ライフライン切断による被害		電気・ガス・水道等の停止に伴う被害
	経済的波及被害		浸水事業所の営業停止被害から波及する周辺地域事業所での被害
	精神的被害		浸水世帯の精神的打撃

(注1) 網掛けの項目については具体的な算定方法が提示されている。

(注2) 公共・公益を含む。

2.4.2 研究目的と研究方法

水害が発生し、浸水被害を受けた事業所は営業停止・停滞を余儀なくされるが、被災した事業所と取引関係にある事業所は、たとえ直接的な浸水被害を受けていなくても、間接的に被害を受けることになり、こうした被害が経済活動過程を通じて広範に波及していくことが考えられる。このような被害項目を経済的波及被害と呼んでいる。経済的波及被害の算定方法については、種々の検討^{2), 3)}がなされているところであるが、その確立には至っていない。

そこで、本研究では、近年発生した水害を対象に、被災した事業所の営業停止停滞等による、被災地以外、及び他の経済主体（家計）に帰着される波及被害の推計を試みた。

2.4.3 水害被害額の算定手法

（１）計量化の対象とした被害

「治水経済調査マニュアル（案）」は、事業所活動に関する被害額算定について、表 2.4-2 の通り示している。

表 2.4-2 治水経済マニュアル（案）で対象とする事業所被害

事業所被害	算定方法
事業所償却・在庫資産被害	事業所償却・在庫資産額に、浸水深別の被害率を乗じることによって資産の直接的な浸水被害額を算定。
営業停止・停滞損失	浸水被害を受ける事業所の従業者数に、営業停止・停滞による損失延べ日数及び１人１日当たりの付加価値額を乗じて算定。
事業所における応急対策費用	浸水被害を受ける事業所数に、代替活動等支出負担単価を乗じ事業所における代替活動等に伴う支出増を算定。

本研究で構築した経済モデルは、表 2.4-3 に示すように、(1)直接的又は間接的に被害を受けた事業所における生産活動の停止・停滞が経済活動過程を波及して、最終的に財消費量の減少として、家計に帰着する被害（家計に帰着する波及被害）、及び(2)生産活動の停止・停滞によって資本が遊休化する被害（事業所にとどまる被害）、を計量化の対象としている。

表 2.4-3 計量化の対象とする被害

営業停止・停滞損失	概要
家計に帰着する波及被害	① 直接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
	② 間接的な浸水被害を受けた事業所からの経済波及被害
事業所にとどまる被害	③ 直接的な浸水被害を受けた事業所で遊休化した資本の金銭価値

家計及び事業所の経済主体から構成される経済システムにおいて、水害により被害が波及するイメージを図 2.4-1 に示す。水害発生前（平常時）には、事業所で生産活動が行われ、生産された製品（財・サービス）は家計によって消費されるか、他の事業所によって原材料として利用されている。ここで水害が発生して、事業所の生産活動が低下すると、ユーザーに対する製品の供給減少が生じ、サプライチェーンを通じて、その影響は伝播していく。

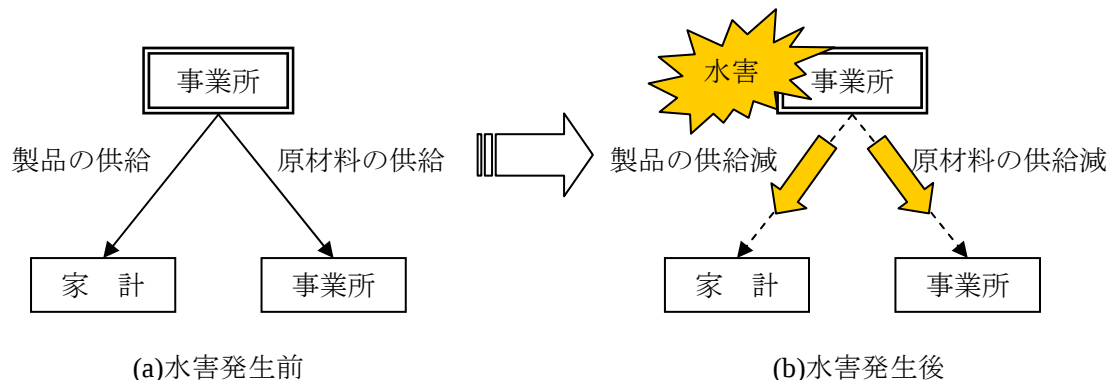
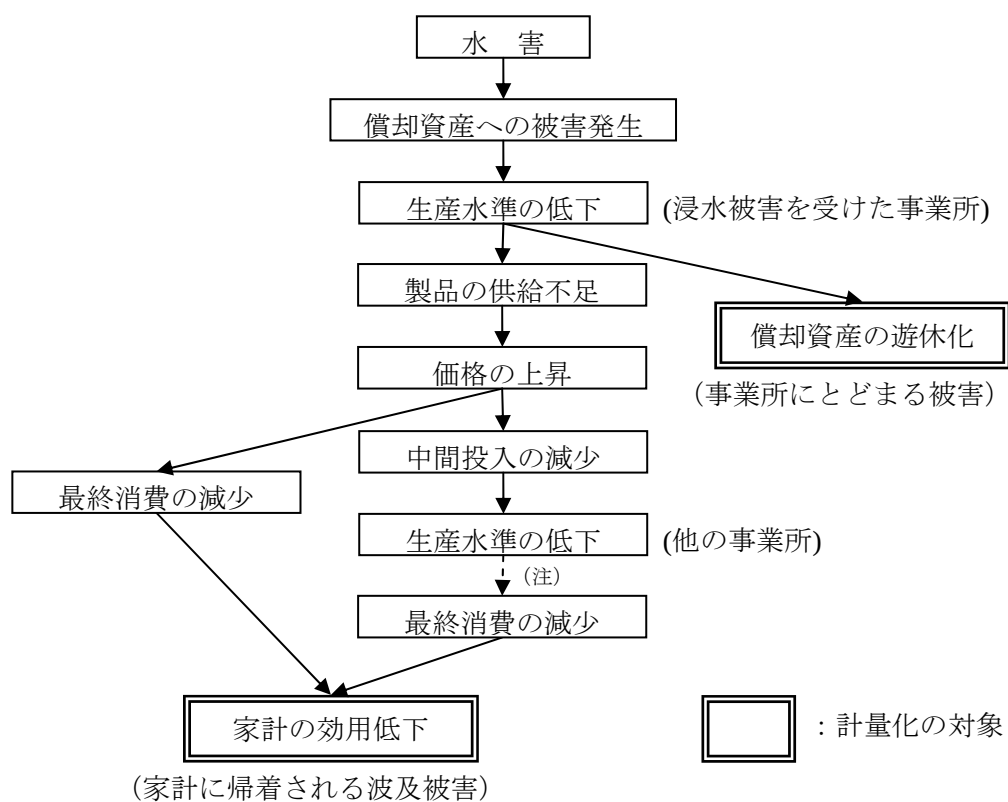


図 2.4-1 水害による被害の波及イメージ

波及被害は、最終的に消費財等の不足として、家計の効用低下に帰着され、モデルでの計量化の対象となる。モデルが扱う被害波及の流れを図 2.4-2 に示す。



(注) 浸水被害を受けた事業所と同様に「製品の供給不足」→「価格の上昇」の過程がある。

図 2.4-2 被害波及の流れ

（２）使用した経済モデルの基本構造

本研究では、土屋・多々納・岡田(2005)「新潟県中越地震による経済被害の計量化」²⁾が示した「空間的応用一般均衡モデル」を用いた地域経済のモデル化の考え方を採用した。「空間的応用一般均衡モデル」は、「全ての市場でのモノやサービスの取引（売買）の需要と供給が一致（均衡）している」との仮定のもとで、自然災害や公共プロジェクトが経済に与える影響・効果を評価する手法である。

本研究では、水害による産業の資本損傷を資本稼働率の低下として表現して、地域間・産業間の経済的依存関係を通じて、財の価格・生産量、家計効用に与える影響を定式化した。地域・経済主体（家計・企業）の相互依存関係を図 2.4-3 に示す。

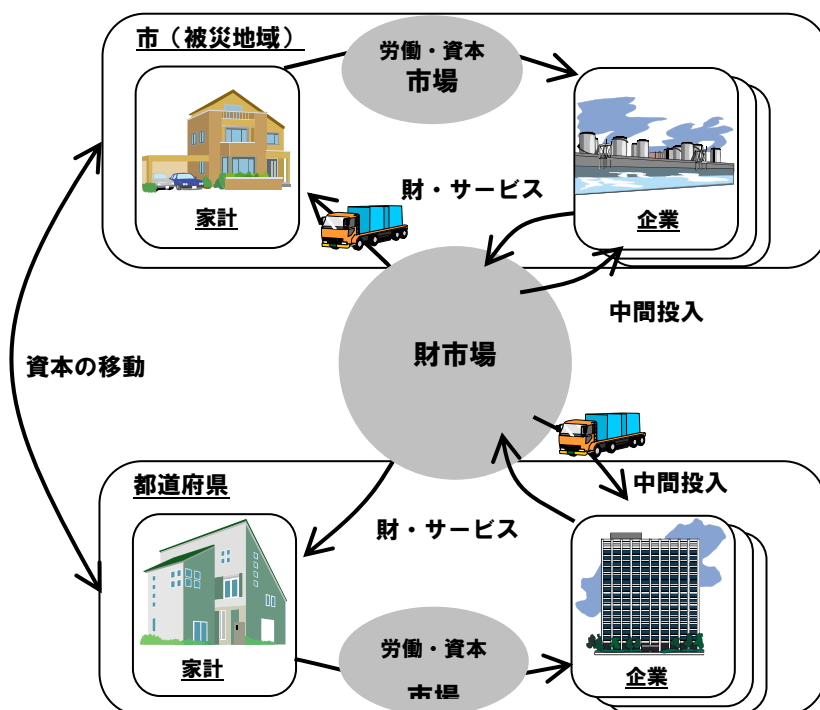


図 2.4-3 経済社会システムのイメージ

2.4.4 まとめと今後の課題

近年水害が発生した諏訪市・延岡市・名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の6市、及び名古屋市・豊橋市・岡崎市・一宮市の4市を統合したケースで算定を行った。

償却資産に資本稼働率の低下割合を乗じて算定した「事業所にとどまる被害」に対して、「事業所にとどまる被害」を入力データとして、産業連関表から経済モデルを用いて算定した「家計に帰着する波及被害」の関係は、図 2.4-4 の通りとなった。「家計に帰着する波及被害」は、「事業所にとどまる被害」の約4倍と算定され、「事業所にとどまる被害」に比べて相当に大きくなることが確認された。

今後は、こうした試算結果と水害統計調査等の結果を比較することにより、経済モデルや算定方法の信頼性の向上を図り、治水事業効果の適切な評価への反映に努めていく必要がある。

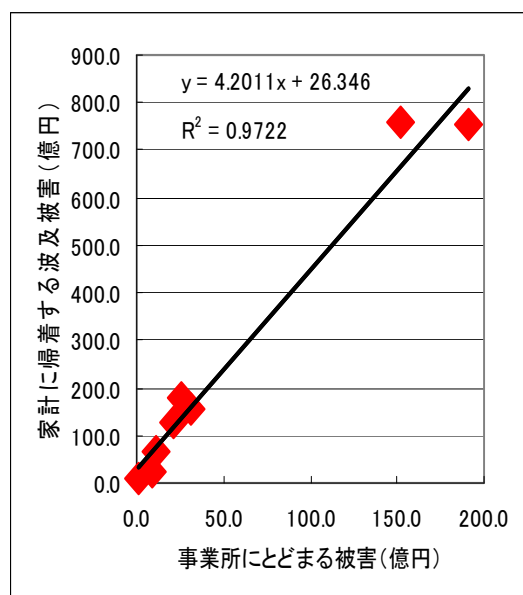


図 2.4-4 「事業所被害と家計波及被害」の関係性（4 市統合含む）

【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局：「治水経済調査マニュアル（案）」，2005
- 2) 土屋哲，多々納裕一，岡田憲夫：「新潟県中越地震による経済被害の計量化」，京都大学防災研究所年報，第 48 号 B，2005
- 3) 石川良文，片田敏孝，木村秀治，佐藤尚：水害による地域経済への影響の事後分析，土木計画学研究・講演集第 29 巻，2004

2.5 地震・津波複合災害に対する統一的な被災リスク評価手法の検討

2.5.1 はじめに

地震・津波被害の軽減には、被害想定を実施し、その結果に基づいて対策計画を立案・実行することが有効であるが、公共土木施設の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法は確立されていなかった。本節では、海岸・港湾・河川・道路の各施設を対象とした被害想定手法、ならびに被害想定結果の活用方針を検討した結果の概要を示す。なお、この結果は文献 1) にマニュアル（案）として公表されている。

2.5.2 研究目的と研究方法

中央防災会議や地方自治体によって今後発生が予想される大規模地震に対する被害想定が実施されている。被害想定が実施されている地震は内陸直下の地震と海溝型の地震とに分けられるが、海溝型の浅い地震は、強い揺れの後に津波が来襲する特徴がある。上記の被害想定では、これら揺れと津波に対して建物被害や人的被害を想定しているが、被害を防ぐ、または緊急輸送を担うための施設である公共土木施設の被害を想定する手法については、総合的に地震・津波対策を計画する際に参考となる指針が存在しなかった。そこで、公共土木施設の地震・津波被害想定を実施するにあたって、被害を想定すべき施設、被害の想定手法を検討した。一部施設の被害想定については参照すべき基準書を示し、評価手法の詳細は基準書などに従うこととしたうえで、公共土木施設の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法をとりまとめた（図 2.5-1）。

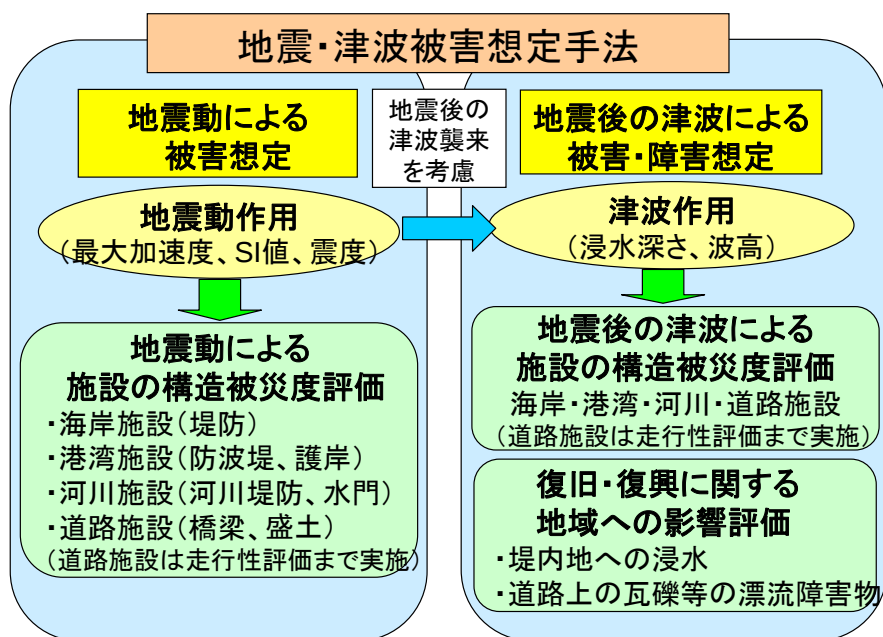


図 2.5-1 公共土木施設の地震・津波被害想定手法の概要

2.5.3 海岸施設の被害想定

海岸施設（本稿では海岸保全施設を略して表記）の被害想定で対象とする項目は、地震動及び津波による施設機能の低下であり、浸水防止機能を有する海岸施設の代表的なものである海岸堤防を対象とした（表 2.5-1）。

表 2.5-1 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（海岸施設）

対象施設等	評価手法の概要
海岸堤防	地震：動的・静的 FEM 解析により変形を評価 津波（倒壊）：波圧と土圧を算定し堤体の安定性を照査 津波（洗掘）：越流量等から洗掘量を推定 津波（被覆工の流出）：越流に対する被覆工の必要質量を照査

海岸施設は、海岸堤防が海岸背後の人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するなど、浸水を防止する機能を有している。地震動による海岸堤防の沈下は、津波による背後地の被害を増大させる可能性があり、機能低下の典型例である。よって、想定地震のもとで所要の機能を確保できる耐震性能を照査することとする。津波による海水の侵入を防止する機能に着目すると、天端高の維持に関わる沈下を照査する必要がある。

被害想定において対象とする地震動は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」²⁾に従って、通常の施設については、施設の供用期間中に 1～2 度発生する確率を有する地震動（レベル 1 地震動）、背後地の重要性等により高い耐震性能が必要とされる海岸施設については、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル 2 地震動）とする。また、各施設の構造特性に応じた適切な耐震解析法に基づいて耐震性能を照査することとするが、構造物の変形状況をより精緻に予測できる動的 FEM 解析(例えば FLIP)や静的 FEM 解析(例えば ALID)を用いることが望ましい。

一方、一般的に地震後の津波は数波に渡り、後続の波が第一波より高いこともある。このため、津波による海岸施設の被災は、海岸施設の浸水防止機能を低下させ、その後に来襲する津波による背後地の被害を増大させる可能性がある。よって、想定津波に対する施設の安全性能を照査する必要がある。

1983 年日本海中部地震(M7.7)および 1994 年北海道南西沖地震(M7.8)の被災事例を整理すると、津波による海岸堤防の被災形態は、①堤体・上部工の倒壊、②堤体基礎洗掘、③被覆工の流出に分類される。

①は、図 2.5-2 のように津波の波力が堤体・上部工に作用することにより、堤体の転倒・滑動や上部工の亀裂・倒壊が生じるものである。これについては、堤体に作用する波圧と土圧を算定し、堤体の安定性を照査することができる。なお、津波の波圧・波力の算定式は多数提案されているが、構造物の位置、ソリトン分裂の有無などを考慮して適切な算定式を選択する必要がある。たとえば、孤立波を作用させた水路実験（写真 2.5-1）では、図 2.5-3 のように、砕波しながら孤立波が堤防模型に作用する場合に、静水面（ $z/H=0$ ）よりやや上方において既存の算定式を上回る波圧が測定されている³⁾。

②は、図 2.5-4 のように越流により構造物近傍の地盤が洗掘されるものであり、波力の増大などを通じて①や③に繋がる可能性がある。局所的な現象である洗掘を推定するには津波の流動を詳細に想定する必要があるが、越流量などから洗掘量を推定する方法⁴⁾もある。

③は、地震動により被覆工の目地が開くことなどにより、越流により被覆工が流出するものである。その照査には、越流に対する被覆工の必要質量を求めるイスバッシュの式⁵⁾など、被覆工の位置や形状等に応じて適切な算定方法を採用する必要がある。

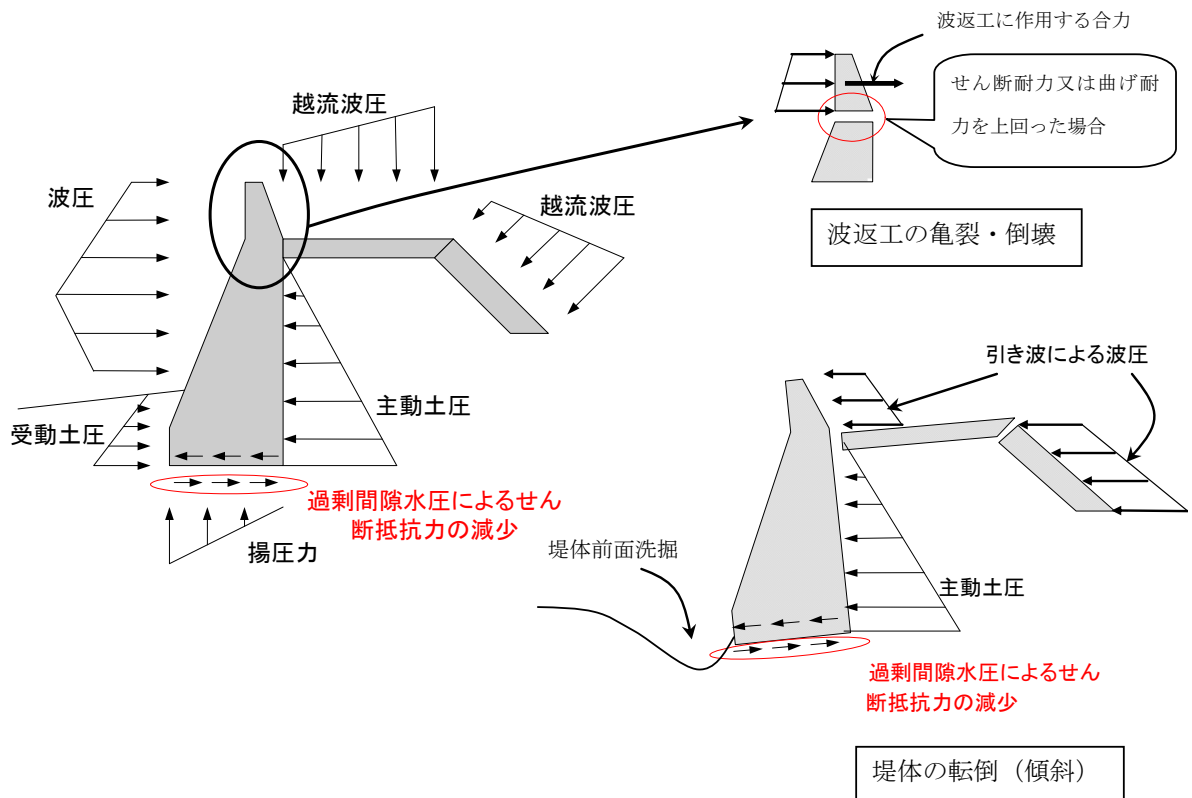


図 2.5-2 海岸堤防に作用する荷重

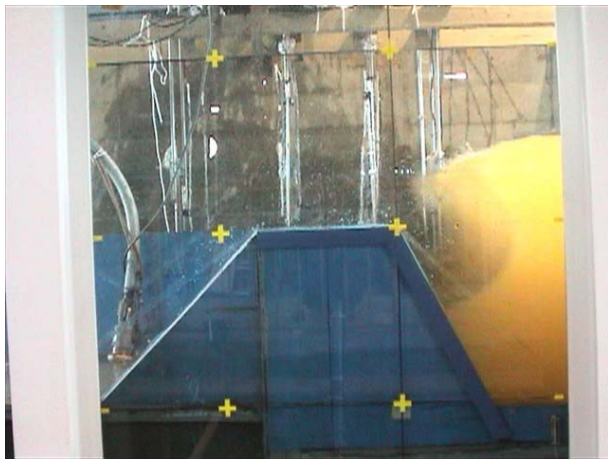


写真 2.5-1 砕波しながら堤防に衝突する孤立波

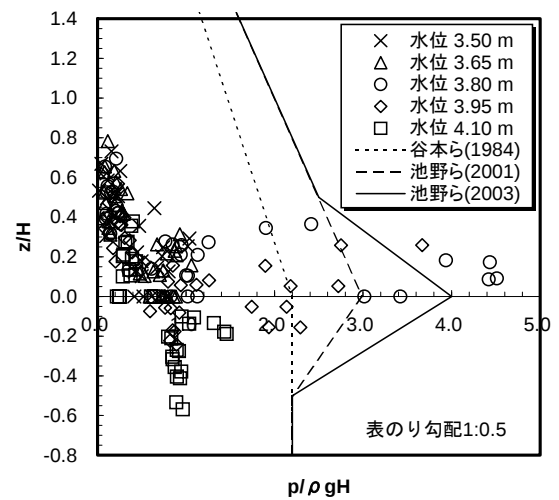


図 2.5-3 波圧の鉛直分布（表のり勾配 1:0.5）

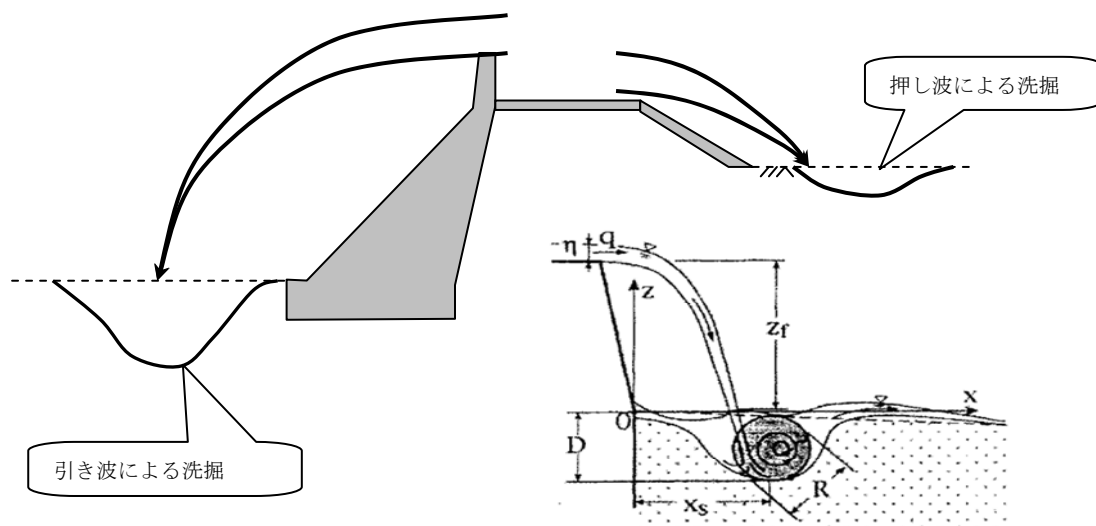


図 2.5-4 津波による構造物周辺の洗掘

2.5.4 港湾施設の被害想定

地震，津波による港湾施設の被害想定に関するこれまでの研究成果をレビューし，地震に対する被害想定手法，津波に対する被害想定手法に分けてそれぞれ体系化を図った．地震に対する被害想定手法については，これまでの関連研究がかなり進んでいることもあり，まとまった形での体系化がほぼ確立された形になっているが，津波に対する被害想定手法については，関連研究が途上のものも多く，必ずしも完全な形での体系化が実現できた段階にあるわけではない．そのため，津波波力に対する防波堤の安定，被覆石の散乱，消波工の移動・散乱，護岸の変形については類似の研究成果を津波の場合に適用する形で被害想定手法とみなすこととしている．また，近年，津波漂流物に関する被害想定手法についての研究が各方面において精力的に行われてきており，本分野について最新の研究成果を踏まえたものを取りまとめた（表 2.5-2）．

以下，被害想定の対象とする項目を 4 つ設定し，各項目について説明する．

表 2.5-2 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（港湾施設）

対象施設等	評価手法の概要
防波堤	津波波圧を評価し滑動・転倒・支持力不足について検討
護岸	時刻歴応答解析により変形量を評価
漂流物	津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせる評価

※地震による被災評価は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾に従う

(1) 港湾施設の地震動による被害

港湾施設の地震動による被害は，2007 年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾に従って想定することとする．地震動による港湾施設の被害予測手法については，静的解析手法（震度法，応答変位法等），動的解析手法（応答スペクトル法，時刻歴応答解析法）に分類できる．本研究では，各種港湾施設に対して，これらの地震被害予測手法の適用性を検討し，その結果，震度法については重力式構造物，矢板式構造物，盛土に適用可能であり，保有水平耐力法については直杭式栈橋に

適用可能であることなどが分かった。こうした結果を、実際の被害想定に用いる際の参考とすることが望まれる。

(2) 地震動・津波による防波堤の被災

地震動については、設置水深が深く設計波高が小さい場合に、波浪に関する変動状態において定まる堤体の断面諸元とレベル1地震動の関係より耐震性能照査の必要性を判断し、必要性ありと判断された場合、耐震性能照査を行うこととしている。なお、滑動・転倒に関して照査が必要とされた場合の性能照査方法は、港湾基準にもとづき行う。

津波による防波堤の被災は、波浪を対象とする変状と近似していると考え、津波による被災として特に問題となるものについての被害想定手法を以下の1)~3)のように評価した。

1) 防波堤の津波に対する安定

滑動による堤体の変位・転倒による堤体の変位・マウンド支持力不足による堤体の変位についての検討は、既存の成果である谷本らの津波波圧式を用いる。

2) 防波堤の被覆石の散乱

本検討では、流れに対する被覆材の安定質量のイスバッシュの式により、使用被覆石の重量が安定質量以下の場合、散乱が発生すると考えられる。

3) 防波堤の消波工の移動・散乱

消波工の散乱については、津波に対する評価式が存在しないため、ソリトン分裂津波による異型ブロック堤に関する散乱実験結果⁶⁾を参考にするのが望ましい。これによれば、津波による破壊力は従来の波浪によるものと比べて格段に大きく、消波ブロックの移動・散乱が生じる危険性があることが示唆されている。

(3) 地震動・津波による護岸の変形

護岸の傾斜をはじめとする構造物の変形量について、定量的な照査を行うためには、時刻歴応答解析法を用いる必要がある。時刻歴応答解析手法は、有効応力解析法と全応力解析法に分類することができ、解析プログラムがそれぞれについて存在する。これらを地震時の過剰間隙水圧の発生程度等に応じて使い分ける必要がある。なお、全応力解析法は、その地点の土被り圧等の応力に比べて過剰間隙水圧が無視できる程度の場合に適用されるのが通常である。

津波による護岸の被害は、波力による被害、前面洗掘の被害、背面洗掘の被害に分類できる。このうち、背面洗掘の被害については、護岸背後地盤洗掘の検討、津波戻り流れによる抗力を作用荷重とするケーソン壁体上部工の安定に関する検討結果⁷⁾が参考になる。

(4) 漂流物の評価

港湾に津波が来襲した際の漂流物の挙動を適切に再現できる漂流シミュレーション手法を用いて漂流域の推定を行う。漂流物の外力としては、平面2次元津波解析結果を用い、漂流物に関する運動方程式を解くことにより、漂流物の挙動を計算することができる。

また、漂流物の衝突力を算定する方法には、木材を対象漂流物とする松富らの研究⁸⁾や、コンテナを対象とする水谷らの研究⁹⁾など、様々な既往研究が存在する。国総研では、平面二次元津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせた解析法を提案している(図2.5-5)¹⁰⁾。

実際に構造物の安全性照査を行う際には、これら各種算定手法について試算した結果等から、平均的な値を採用する等、適宜判断する必要がある。

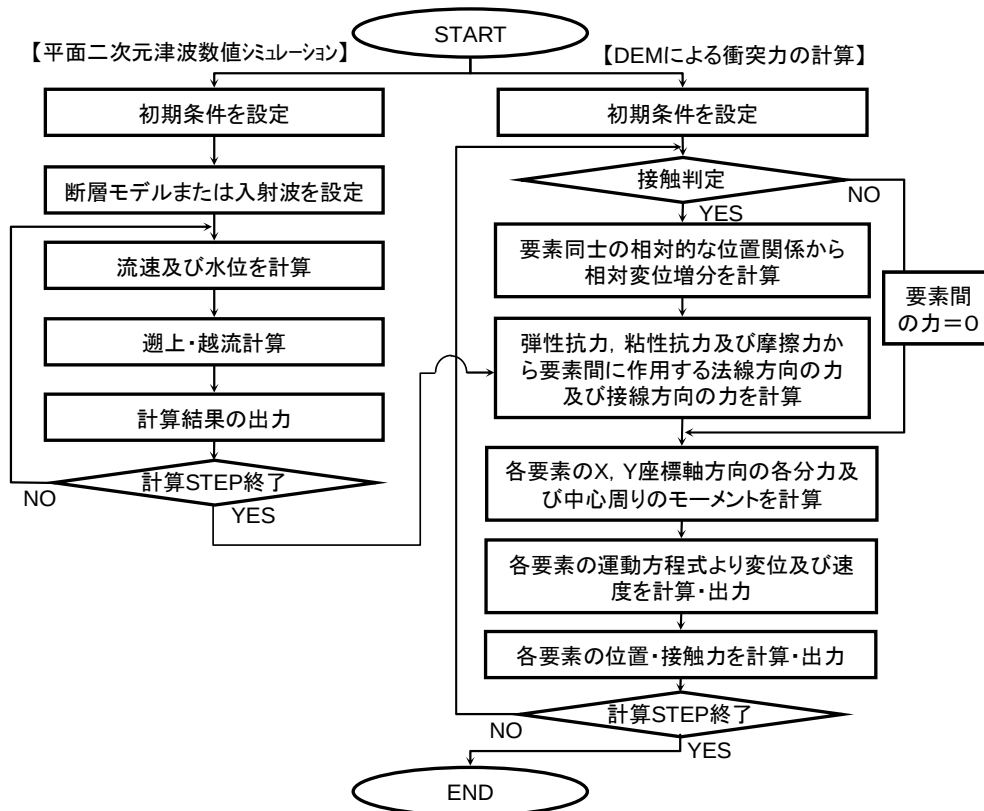


図 2.5-5 漂流物計算過程を示すフロー

2.5.5 河川施設の被害想定

液状化に伴う河川堤防の沈下量評価及び、堰、水門、樋門、樋管などの河川管理施設の地震動による被災評価については「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾の方法に則って検討することを基本とする。また、津波による被災評価については以下のような検討を行った（表 2.5-3）。

表 2.5-3 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（河川施設）

対象施設等	評価手法の概要
水門、樋門等	津波波力を算定 ¹²⁾ し応力照査
越流区間	（液状化による沈下後の堤防天端高）＜（津波時の河道内の水位）となる区間を評価
津波が堤内地に逆流する施設	津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無等を整理して評価
堤内地の浸水	津波の河川遡上シミュレーションにより評価

※地震による被災評価は「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」¹¹⁾に従う

(1) 津波による水門、樋門等のゲート部損傷

一般的に水門や樋門は上流からの水圧に耐えられるように設計されており、下流側からの水圧については検討されていない。水門や樋門等の河川構造物は津波の進行方向と平行にゲートが設置されているが、河道の湾曲や河川敷の状況などに応じて斜めから津波を受けることが考えられる。よってこれら施設も応力照査の実施対象とすることが望ましい。

津波波力の算定方法は「アルミニウム合金製水門設計製作指針案」¹²⁾等において提案されている。なお、津波の進行方向に対して平行な位置に配置されている水門については、衝撃力が直接作用することは考えにくい。津波の遡上状況や施設の設置状況に応じて斜めに衝突することが想定される。よって安全側(波力が作用する側)を想定して、津波がある角度から衝突するものと考え、衝撃圧を算定することも考えられる。衝突角度は適宜現地の状況等によって設定することが望ましい。

(2) 津波の越流区間

液状化による沈下後の堤防天端高と津波の河川遡上シミュレーションによる河道内の水位を比較し、津波が越流する堤防区間を把握する。津波の河川遡上シミュレーション手法については、「津波河川遡上解析の手引き（案）」¹³⁾に示されている手法を基本とする。

(3) 津波が堤内地に逆流する施設（水門、樋門など）の特定

水門、樋門等については地震動による被害が発生しなければ、状況によっては、閉操作を完了させ、堤内地への津波の流入を防ぐことが可能である。津波の河川遡上シミュレーションから得られる各所における津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無など、表 2.5-4 に示すような項目を一覧表に整理することで、津波が堤内地に流入する施設を把握することが可能である。

表 2.5-4 整理項目例

・河川名	・種別（樋門、水門など）	・ゲート構造
・管体等の大きさ	・操作状況（委託・遠隔等）	・敷高
・背後地地盤高	・想定津波高	・操作所要時間
・津波到達時間	・操作方針	

(4) 津波の河川遡上による堤内地の浸水

津波の河川遡上による堤内地の浸水想定を行う際には、上記の地震動による河川構造物に被害状況、水門・樋門等の閉操作の可否等を考慮して、適切に条件設定を行うことで、シミュレーションの精度を向上させる。シミュレーション手法については、前述の「津波の河川遡上解析の手引き（案）」¹³⁾が参考となる。

水門・樋門等の開口部からの水の流入量、河川堤防の越流量については次に示す手法で計算することができる。

①水門・樋門等の開口部からの水の流入量

最小計算格子幅よりも狭く、開口部の高さも限定されているような水門・樋門・樋管からの堤内地への流出入について「氾濫シミュレーション・マニュアル（案）」¹⁴⁾に施設の前面と背面の水位差を用いて流量を算定する方法が示されており、その他に施設開口部の幅に応じて通過流量を制限する方法が考えられる。いずれの方法を用いる場合においても、施設の開口部の断面積など施設諸元を考慮したモデル化を行う必要がある。また、堤外側にフラップゲートが設置されている施設については、津波来襲時にゲートが自動で閉鎖されるため津波が施設を逆流することはないと考え、モデル化の対象から除外できると考えられる。

②河川堤防の越流量

河道内の水位が堤防天端高を超えた場合、越流状態に応じて堤単位長さ当たりの越流量を本間の公

式¹⁵⁾を用いて算出することができる¹⁶⁾。

2.5.6 道路施設の被害想定

(1) 道路通行障害の予測手法の検討

道路は地震・津波災害時にも、沿岸部からの避難や救助等の緊急活動、ライフラインの復旧活動等を支える交通基盤として機能することが期待されている。しかしながら、全ての道路施設に直ちに補強等の対策を実施することは困難であるし、道路施設そのものは被災を免れたとしても浸水等により通行障害が発生する場合がある。したがって、これら種々の可能性を考慮した上で、地震発生からどの程度の時間、どの区間に通行障害が生じる可能性があるかを予め把握しておくことが望ましい。

ここでは、地震・津波発生時の道路通行障害の予測に適用可能な手法を整理した¹⁷⁾。地震・津波時には、種々の要因で道路通行障害が発生する可能性があるが、ここでの対象は、橋梁と盛土の地震動・津波波力による被災、浸水と道路上への漂流物（家屋倒壊による瓦礫、漁船）の影響とした（表 2.5-5）。このうち、橋梁と盛土の地震動による被災および盛土の津波による被災については、既往の研究で提案されている手法^{18),19),20)}が適用可能であるが、道路橋の津波被災度については実用的な評価手法がないため、模型実験の結果等をもとに新しく提案した。道路の浸水区間は、推定されている最大浸水深が路面高（＝路面の標高－周辺地盤の標高）より大きい区間として評価できる。また、漂流物についても新しく評価手順を検討した。

表 2.5-5 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（道路施設）

対象施設等	評価手法の概要
橋梁	地震：地震動強さと構造諸元から簡易フロー ¹⁸⁾ に基づき評価 津波：津波高さと構造諸元から簡易フローに基づき評価
盛土	地震：道路防災総点検の評価点数と換算水平震度から沈下量を推定 ¹⁹⁾ 津波：越流水深と盛土高から整理された被災基準 ²⁰⁾ により評価
浸水区間	（最大浸水深）＞（路面の標高－周辺地盤の標高）の区間として評価
漂流物	最大浸水深と各種統計調査データから手順に基づき評価

(2) 道路橋の津波被災度評価

まず水路と橋桁模型（縮尺 1/18）を用いた実験（写真 2.5-2）を行い、津波を模擬した孤立波が橋桁模型に衝突する際の波力を計測した²¹⁾。実験で得られた波力の時刻歴は、水平成分、上下成分ともに、波が衝突した直後にかなり大きい衝撃波力が作用し、その後、ほぼ定常であるが漸減する抗力が作用していた。検討の結果、衝撃波力は波が橋桁模型の付近で砕波するか否かに大きく影響されることが、橋桁の流失可能性の評価には津波による道路橋の被災度評価には、水平抗力を考慮する必要があること、水平抗力は港湾基準の式⁵⁾により安全側の評価が可能であること（図 2.5-6）などが分かった²¹⁾。

この結果を参考に、図 2.5-7 に示すような道路橋の津波被災度評価フローを作成した。これは以下のような考えに基づくものである。

①橋桁を越流すれば支承が損傷すると評価する。ただし、平成8年以降の道路橋示方書を適用したものについては、兵庫県南部地震相当の地震力を考慮して耐震設計され、相当大きな耐力を有しているこ

とから、津波の衝突に対しても十分な耐力を有しているものとする。

② 支承が損傷する場合、橋桁が流失するか否かの判定を行う。津波衝突時に橋桁に作用する水平抗力（港湾基準の式で評価²¹⁾）が摩擦力（橋桁の水中重量×摩擦係数）よりも大きい場合、橋桁が流失する可能性がある」と判定する。

③ 橋桁が流失する可能性がある場合、橋軸直角方向変位制限装置あるいは落橋防止構造の有無で被災度を判定する。これは、2004 年スマトラ島沖地震による津波の際にバンダアチェ市周辺で見られた、橋桁の橋軸直角方向への移動を防ぐ拘束機構が橋桁の流失を防止した事例²²⁾を考慮したものである。

フローにしたがって評価した被災度から、地震被災度評価¹⁸⁾と同様に、図 2.5-8 に従って道路橋の走行性 a, b, c を判定する。ただし、背面土判定シートとして図 2.5-9 を用いる点が地震とは異なる。走行性の定義は以下の通りである。

- a: 構造的に問題があるため短期間での通行は不可能
- b: 構造的に問題なく1～2日程度の段差修正で通行可
- c: 無補修あるいは軽微な段差補修で通行可



写真 2.5-2 水路実験において橋桁模型に衝突する孤立波

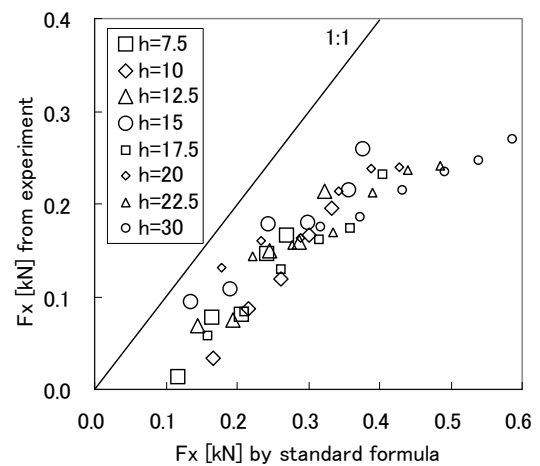


図 2.5-6 計測された波力と港湾基準式から推定される波力の比較 (h は水深[cm])

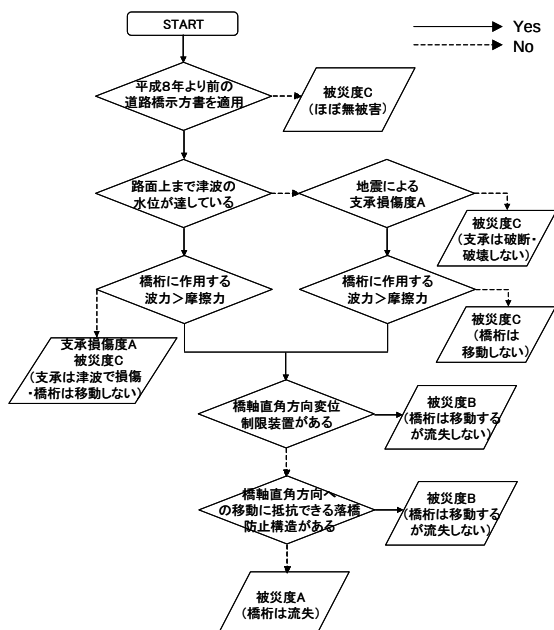


図 2.5-7 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー

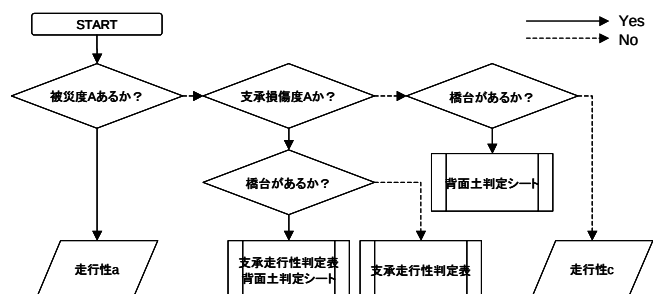


図 2.5-8 道路橋の走行性の判定フロー¹⁸⁾

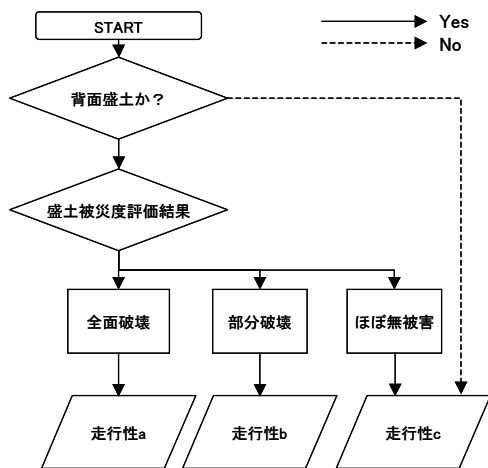


図 2.5-9 津波走行性判定に用いる
背面土判定シート

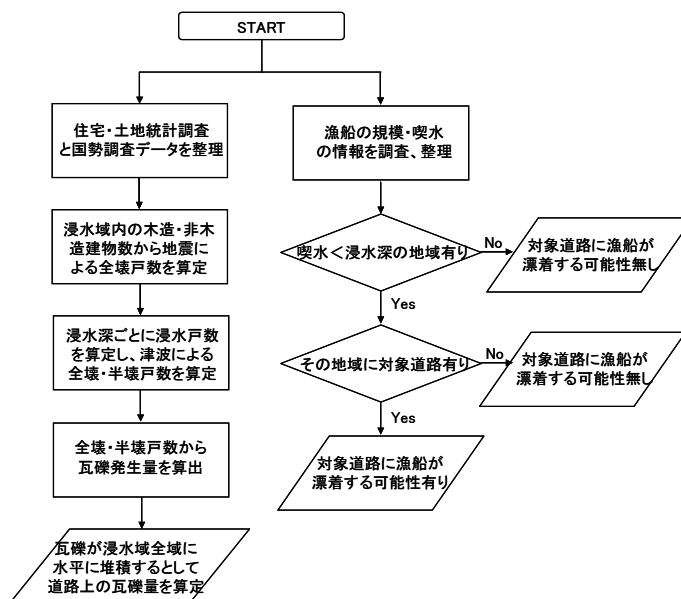


図 2.5-10 漂流物（家屋倒壊の瓦礫，漁船）の評価フロー

(3) 漂流物の評価

漂流物としては、1993 年北海道南西沖地震(M7.8)による津波の被害実態を参考に家屋倒壊による瓦礫と漁船を考慮し、図 2.5-10 のフローで道路上に堆積する瓦礫量と漁船が漂着する可能性を評価することとした。道路上に堆積する瓦礫量は、次の手順で算定する。

- ①浸水域内の木造・非木造建物数を計測震度ごと、浸水深ごとに算出
- ②計測震度と建物被害率の関係から木造・非木造それぞれの地震による全壊棟数を算出
- ③地震による全壊棟数を除いた木造建物を対象に、津波による全壊・半壊棟数を算出
- ④地震と津波による全壊・半壊棟数を合わせた建物被害棟数と 1 棟あたり床面積から被害面積を算出し、面積当たり瓦礫重量から瓦礫重量を算出、さらに瓦礫体積に換算
- ⑤発生した瓦礫は浸水域全域に水平に同じ厚さで堆積するとして、道路上の瓦礫量を算定（ただし道路上に堆積する瓦礫の高さはその地点の最大浸水深を上回らない）

漁船の漂着可能性については、漁船の規模と喫水を調査し、喫水よりも浸水深が大きく、対象とする道路が存在する地域では、その道路に漁船が漂着する可能性があるとして評価する。個々の漁船の喫水について情報が得られない場合には、漁船の規模から推定される喫水の最小値を用いる。

2.5.7 被害想定結果の活用方法

(1) 被害想定 の適用例

地震・津波による公共土木施設の被害や浸水域の想定結果を表示した被害想定マップを作成することにより、地域ごとの地理的条件等を考慮した上で、地震・津波対策計画を具体的に関係機関が連携して検討することができるようになる。また、災害時の重要拠点や公共機関の位置もマップに示すことにより、ハード対策(公共土木施設の整備・補強)だけではなく、ソフト対策（情報提供や初動体制の改善等）による被害の軽減策を検討することができる。

例として、想定南海地震とその津波を対象に、高知県香南市・南国市周辺、および須崎市周辺の被害想定マップを試作した結果を図 2.5-11 と図 2.5-12 に示す。ここで、南海地震発生時の地震動強さと

津波浸水深の分布は、高知県が 1854 年安政南海地震（M8.4）相当の地震を想定して実施した調査の結果^{23), 24)}を用いている。各施設の被災や浸水域等の評価結果に加えて、地震・津波対策計画を立案する上で参考となる津波到達時間、浸水域、庁舎や病院の位置、橋梁の補強状況や既存の手法^{25), 26)}で評価した建物及び人的被害数などを記載したものとなっている。このほか、海岸堤防などの津波防御施設については、補強や新規建設といった対策を実施する前と実施した後のマップを作成し、浸水域や背後地の被害を比較することにより、対策実施の判断の参考とすることができる。

（2）活用方法

このようなマップを作成することにより、防災訓練の実施、情報提供、避難路・避難場所、効率的な緊急・復旧活動のための事前の計画、被害の軽減に特に有効な津波防御施設や優先的に補強すべき施設などを具体的に検討することができるようになる。海岸堤防などの津波防御施設については、補強や新規建設といった対策を実施する前と実施した後のマップを作成し、浸水域や背後地の被害を比較することにより、対策実施の判断の参考とすることができる。

これらの項目からなる地震・津波対策検討フローを図 2.5-13 に示すが、このうち情報提供、水門・陸閘の操作計画及び整備（自動化や遠隔操作化）計画や避難路を検討するにあたっては、揺れを感じた直後から津波が到達するまでの時間的余裕を考慮する必要がある。またこれらの前提として、対応にあたる関係者の安全確保や参集の可否を検討しておかなければならない。

たとえば、本研究成果をもとに、岩佐²⁷⁾は高知県東部の国道 55 号を対象として、2.5.6 の手法による南海地震・津波発生時を想定した道路通行障害の予測結果に加えて、斜面災害発生リスクや沿道建物の倒壊リスク等を考慮した上で、被災後 3 日以内に交通機能を復旧するために必要な土工機械、運搬機械、機械オペレータの必要量を沿岸 9 市町村別に概算している。その結果と現状の機械保有量とオペレータ数を比較した上で、南国市以外の 8 市町村ではこれら復旧資源が不足している一方で、比較的余裕のある南国市は隣接する高知市の復旧活動の支援に当たることができる可能性が高いことを指摘している。

このような地域ごとの復旧資源の不足状況を改善していくためには、道路施設の補強を着実に進めていくとともに、自治体（復旧資源の調達のため）、住民や漁協（漂流物の撤去を円滑にするため）、建設会社（通信障害時の自律的な復旧活動のため）等と事前に対処方法に関する協定を結んでおくことも必要となる。

岩佐による研究²⁷⁾を参考に被害想定に基づく分析のイメージを示したものが表 2.5-6 であるが、現時点では復旧作業量や復旧能力の数値化に課題もあるものの、定量的分析により地域ごとの特徴を見だし、戦略的に弱点を克服していくことで復旧能力が向上するものと期待される。

被害想定はこのように被災時の状況をイメージし、具体的な対策計画の立案を支援することができるツールとして不可欠のものである。一方、被害想定はあくまでも具体的な検討を始めるための出発点であり、実際に想定したとおりの状況になることはまずあり得ない。対策計画の立案にあたっては、想定外の事態が発生することも考慮しつつ、柔軟に検討する必要があることを忘れてはならない。

（3）被害想定結果の共有

地震・津波対策計画の検討にあたっては、公共土木施設の被害想定結果等を関係機関で共有し、同一の被害想定に基づいて適切な対応を検討することも重要である。例えば公共土木施設では、海岸・河川施設の被害想定結果や対策状況は想定浸水域に影響するため、港湾・道路施設の機能障害につな

がる。また、港湾施設からの漂流物、道路施設の被災による点検・復旧活動への影響なども、対策計画の検討に際して考慮する必要がある（図 2.5-14）。したがって、関係機関がそれぞれの被害想定結果や地震・津波対策状況等について情報交換を密接に行うことで、総合的に効果の高い対策計画が立案できるようになる。具体的には、関係機関それぞれの役割分担等も含め、対策計画を防災会議等で議論しておくことが望ましい。

また、防災事業についても、事業の構想段階から住民との合意を図る取り組みが行われてきているところである。対策計画の考え方や効果を確認する意味でも、被害想定を適宜実施しておくことにより、事業の円滑な実施が期待されるとともに、住民等への行政の説明責任の向上に資するものと考えられる。

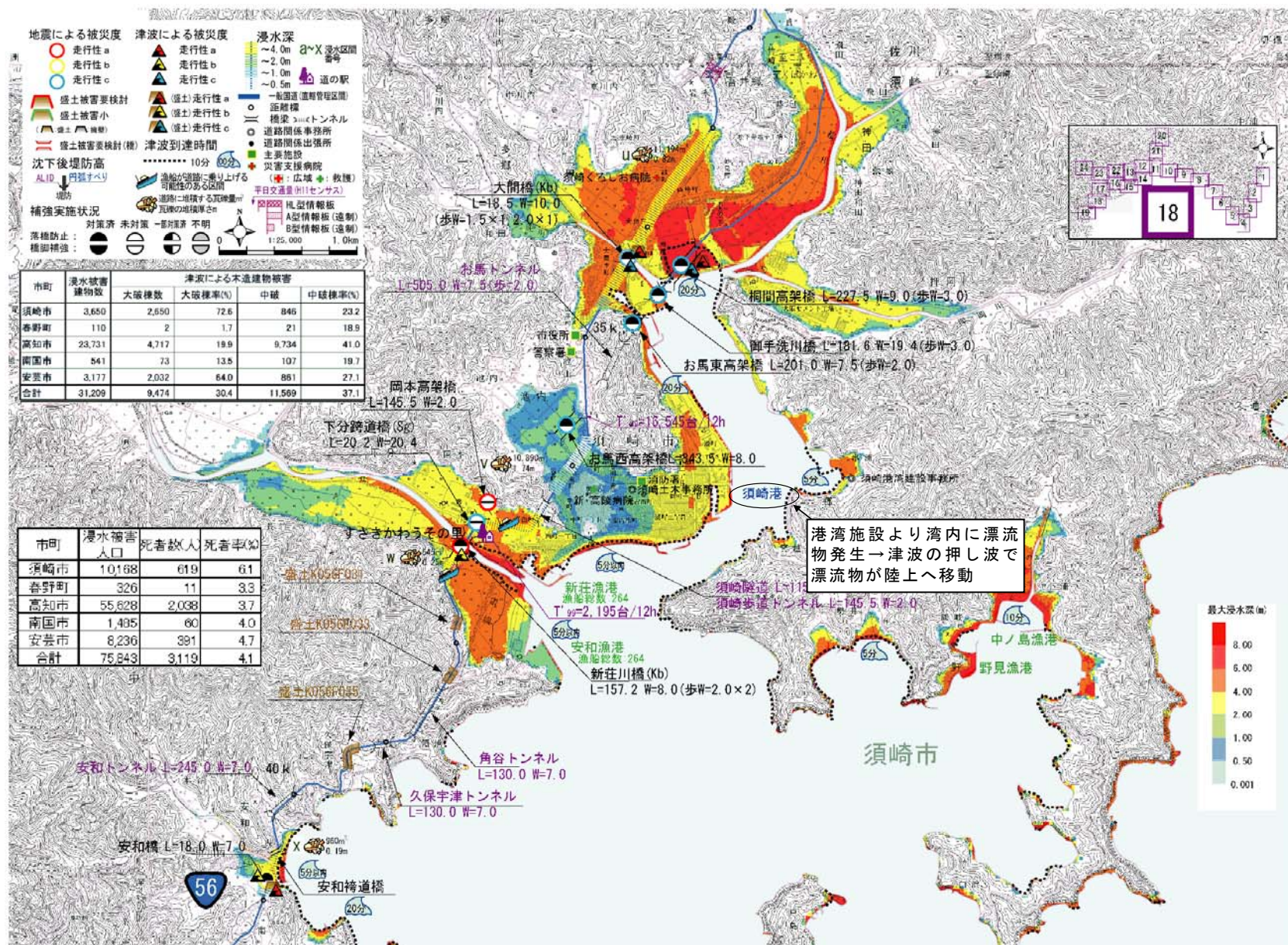


図 2.5-12 地震・津波被害想定マップの例（高知県須崎市周辺）

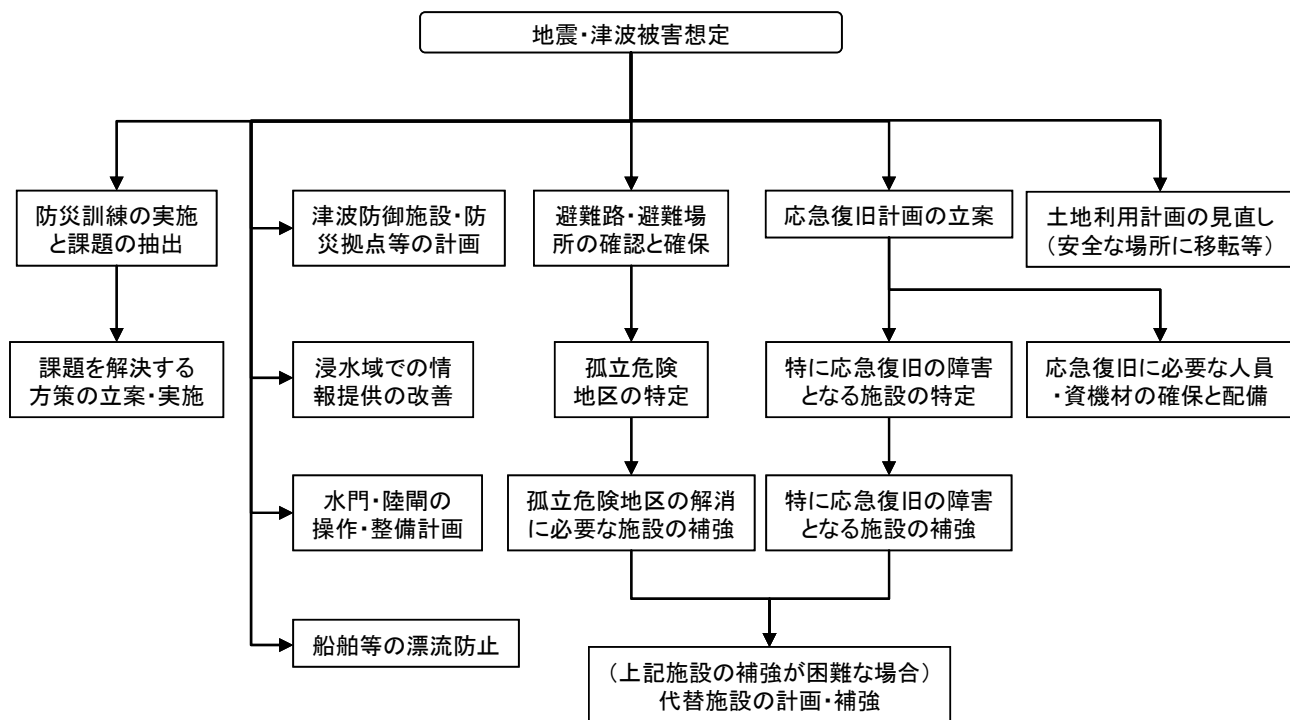


図 2.5-13 被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー

表 2.5-6 復旧日数、復旧資源の不足量および対応策の分析イメージ

	作業量 R	復旧能力 $C=\min(C_1, C_2)$		復旧日数 R/C	復旧資源の不足量		対応策等
		資機材 C_1	オペレータ C_2		資機材	オペレータ	
A市	10	65	20	<1	-	-	復旧資源に余裕がある. 近隣市の応援が可能.
B市	30	3	15	10	27	15	復旧資源が不足. 近隣市との応援協定の締結を検討.
C市	60	80	10	6	-	50	オペレータが不足. 応援協定の締結を検討. 特にオペレータの育成・確保が必要.
...							

R: 各自治体の被害想定結果から総合的な復旧作業量を定量化した値

C: R=1 の作業が 1 日のできる能力を $C=1$ として復旧能力を定量化した値

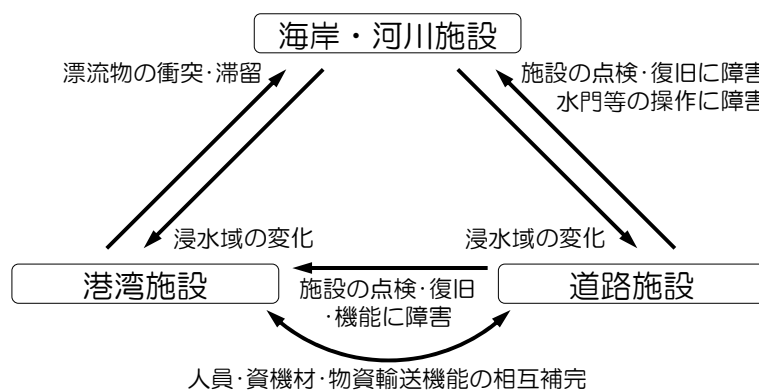


図 2.5-14 対策計画の検討で考慮すべき公共土木施設の相互影響

2.5.8 まとめと今後の課題

本研究では、海岸・港湾・河川・道路施設を対象に、地震・津波複合災害に対する統一的な被災リスク評価手法を提案した。また、リスク評価結果をもとに被害想定マップを試作するとともに、対策計画の立案にどう活用すべきかを提案した。研究成果は紀南河川国道事務所、土佐国道事務所および九州地方整備局における東南海・南海地震津波対策計画の立案に活用されている。

今後は、提案手法の検証を進めるとともに、精度向上のためのデータ蓄積や手法の高度化を図っていく必要がある。

謝辞

高知県総務部危機管理課には想定南海地震の地震動および津波推定結果の数値データを、四国地方整備局と高知河川国道事務所、土佐国道事務所には所管施設に関するデータをご提供いただいた。土佐国道事務所には道路施設の被害想定を実施する上で種々ご指導とご協力をいただいた。また、日本大学の首藤先生には、津波による消波ブロックの被害想定について貴重なご意見を賜った。あわせて深く謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 地震防災研究室，海岸研究室，沿岸防災研究室，水害研究室：公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案），国土技術政策総合研究所資料，第 485 号，2008.
- 2) 海岸保全施設技術研究会編：海岸保全施設の技術上の基準・同解説，2004
- 3) 加藤史訓，稲垣茂樹，福濱方哉：津波により海岸堤防に作用する波力に関する大型模型実験．海岸工学論文集，第 52 巻，pp.756-760，2005.
- 4) 野口賢二，佐藤慎司，田中茂信：津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験，海岸工学論文集，第 44 巻，pp.296-300，1997.
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 6) 富樫宏由・平山康志・杉山正弘：ソリトン分裂遡上津波による消波ブロック堤の破壊機構，海岸工学論文集，第 34 巻，pp.517-521，1987.
- 7) Okamoto, O., Oda, K. and Kumagai, K.: Study on scour by tsunamis —example of port and harbor structures—, ICSE-4, 2008.
- 8) 松富英夫・池田弘樹：大規模実験に基づく流木衝突力の評価法，海岸工学論文集，第 43 巻，pp.781-785，1996.
- 9) 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史：エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.741-745，2005.
- 10) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：津波によるコンテナの漂流・衝突シミュレーションと衝突力の評価，海岸工学論文集，第 54 巻，2007.
- 11) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説，2007.
- 12) 軽金属協会土木重構造物委員会：アルミニウム合金製水門設計製作指案，1979.
- 13) 国土技術研究センター：津波の河川遡上解析の手引き（案），2007.
- 14) 土木研究所：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）—シミュレーションの手引き及び新モデルの検証—，1996.
- 15) 本間仁：低溢流堰堤の越流係数，土木学会誌，第 26 巻，6 号，pp.635～645，9 号，pp.849～862，1940.

- 16) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，2002.
- 17) 片岡正次郎，鶴田舞，長屋和宏，日下部毅明，小路泰広：道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 918-925, 2007.
- 18) 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，Vol. 47, No. 12, pp. 48-53, 2005.
- 19) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案），2003.
- 20) 首藤伸夫：津波による海岸堤防・護岸の被災一昭和8年三陸大津波から昭和35年チリ津波まで一，津波工学研究報告，Vol. 16, pp. 1-37, 1999.
- 21) 片岡正次郎，日下部毅明，長屋和宏：津波衝突時に橋桁に作用する波力，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 154-157, 2006.
- 22) Unjoh, S.: Damage to transportation facilities, The damage induced by Sumatra earthquake and associated tsunami of December 26, 2004, pp.66-76, 2005.
- 23) 高知県：第2次高知県地震対策基礎調査，2004.
- 24) 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査報告書，2005.
- 25) 中央防災会議「東南海，南海地震等に関する専門調査会」：第10回参考資料，
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/10/sankou_siryou.pdf, 2003.
- 26) 中央防災会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」：第17回参考資料1，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/17/siryou1.pdf>, 2006.
- 27) 岩佐隆：南海地震に対する高知県東部地域の交通機能復旧のあり方について，高知工科大学大学院修士論文，2008.

3. 被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案

3.1 地震・津波に対する被害軽減対策の検討

3.1.1 はじめに

前述（2.5 参照）したように、公共土木施設の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法が確立された。しかし、被害想定結果に基づきどのような対策計画を立案し実行することが有効であるかについては具体的に示されていなかった。本節では、道路施設を対象とした地震・津波被害想定結果に基づく被害軽減対策手法を検討した結果を示す。

3.1.2 研究目的と研究方法

平成 16 年に発生したスマトラ島地震では、主に津波によって 30 万人を超える死者・行方不明者をだす大惨事となった。津波の被災を受けた方の多くが津波に対する知識がなく、また津波の危険を知らせる情報も提供されなかったことが被害を拡大したと言える。日本においては、幸いにも 1993 年の北海道南西沖地震を最後に大きな津波被害は発生していない。

しかし、発生が懸念されている東海地震、東南海地震、南海地震等の海底下で発生する大規模地震では大きな津波被害が発生することが想定されている。また、遠地地震による大規模津波災害の危険性も常にあると言っている。

このような状況の中、道路管理者としては想定される大規模地震・津波によって道路施設にどのような影響があるか、どの区間が津波によって冠水するかをある程度把握しておくことは、被害の軽減や早期の復旧あるいは道路利用者等の安全確保において非常に重要である。また、道路利用者の被害を軽減するための適切な情報提供についても確立しておく必要がある。

本研究では、道路管理における震後対応能力の向上を目的として、東南海・南海地震が発生した際に大きな津波災害が想定されている九州地方整備局をケーススタディとして、東南海・南海地震およびそれに伴う津波が発生した場合の影響評価等を基に地震発生後の道路管理の対応方策を検討するとともに、先進地の事例も調査しながら地震・津波に対する被害軽減対策手法について取りまとめた。

3.1.3 地震・津波による道路施設の被害想定

地震・津波に対する被害軽減対策を立案するには、まず被害想定を実施しなければならない。今回、ケーススタディとして選定した九州地方整備局の太平洋岸には、東南海・南海地震の他、日向灘を震源とする地震においても大きな被害及び津波が発生することが想定されており、本研究においてもこれら 2 つの地震について被害想定を実施しているが、本節ではこのうち、津波被害の大きい東南海・南海地震における地震・津波被害想定結果を示す。

地震・津波による被害想定は、九州地方整備局が管理する国道 10 号（対象は大分県日出町～宮崎市）及び国道 220 号（対象は宮崎市～宮崎県串間市）を検討範囲とし、地震及び津波による橋梁、盛土、橋梁取付盛土の被害想定を実施した。被害想定手法は、2.5 に記載した道路施設の地震・津波被害想定を使用した^{1) 2)}。なお、被害想定の評価は走行性で判定した。走行性の定義は以下のとおりである。

- ①走行性 a：構造的に問題があるため短期間での通行は不可能
- ②走行性 b：構造的に問題なく 1～2 日程度の段差修正等で通行可
- ③走行性 c：無修正あるいは軽微な段差補修で通行可

想定する地震は、東南海・南海地震で、地震・津波データについては、中央防災会議、大分県、宮崎県が検討したものを使用した。

また、津波による浸水区間の評価、津波による道路上への漂流物堆積評価を実施したほか、道路周辺の危険物保管施設の特定及び斜面の落石危険度についても整理した。

表 3.1-1 検討対象橋梁・盛土数

管理事務所名	路線番号	検討対象橋梁数	検討対象盛土数
大分河川国道事務所	国道 10 号	39 施設	72 施設
佐伯河川国道事務所	国道 10 号	111 施設	62 施設
延岡河川国道事務所	国道 10 号	62 施設	57 施設
宮崎河川国道事務所	国道 10 号	44 施設	87 施設
	国道 220 号	48 施設	88 施設
計		304 施設	366 施設

表 3.1-2 被害想定項目

外力 道路施設	地震	津波
橋梁	橋脚、支承、落橋防止、 橋台、基礎被災評価 ・被災度判定（A, B, C） ^{注1} ・走行性判定（a, b, c） ^{注2}	津波による橋桁被災評価 ・支承破壊の有無 ・津波の流体力と支承部摩擦力の比較 ・橋桁流出評価
盛土	地震動による沈下評価 ・盛土沈下量の判定 （1m以下、1m以上）	越流による盛土道路流失評価 ・被害の有無を判定
橋梁取付 盛土	地震動による沈下評価 ・盛土沈下量の判定 （1m以下、1m以上）	越流による盛土流失評価 ・被害の有無を判定
道路	-	津波による浸水区間評価 ・浸水発生箇所を推定 ・漂流物堆積評価 （瓦礫量を推定、漂流船舶規模推定）
斜面	落石危険度の整理	-
道路施設以外	道路周辺の危険物保管施設特定	

注 1) 被災度の定義

- A：大被害...耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、
落橋等致命的な損害の可能性がある場合
- B：中被害...耐荷力の低下に影響のある損傷であり、
余震や活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合
- C：小被害...短期間には耐荷力の低下に影響のない場合

注 2) 走行性の定義

- a：構造的に問題があるため短期間での通行は不可能
- b：構造的に問題なく 1～2 日程度の段差修正で通行可
- c：無補修あるいは軽微な段差補修で通行可

検討対象である国道 10 号、国道 220 号の橋梁及び盛土施設数を表 3.1-1 に示す。本検討では道路ネットワークの機能に関して被害を想定することから、側道や歩道部分については被害想定の対象から除外した。さらに、上下線で構造が分かれている橋梁については津波によって破壊される可能性の高い下流側の橋梁のみを検討対象とした。

本検討で対象とする被害想定項目を表 3.1-2 に示す。これらの被害想定は、前述したように 2.5 に記載した手法に基づき実施し^{3) 4) 5) 6)}、例えば橋梁の津波被災度評価及び道路橋の走行性の判定フローは、図 2.5-7 及び図 2.5-8 に示すフローに従い実施した。

被害想定を実施した結果、以下の被害が想定される結果となった。

- ・地震：橋梁、盛土、橋梁取付盛土は被害無し
- ・津波：橋梁及び盛土は被害無し

越流により国道 10 号尻無橋など 4 橋で橋梁取付盛土に被害が発生
道路の冠水は 15 区間で発生

東南海・南海地震の地震動に伴う被害はなかったことから、ここでは津波による被害想定結果について詳細に記載する。

東南海・南海地震による津波では、検討対象範囲の 14 橋梁に津波が到達し、そのうち宮崎県内の 5 橋梁で橋桁の路面上まで津波が到達し、橋桁が冠水することが確認された。ただし、いずれの橋梁も支承による摩擦抵抗力が波力を上回っており、津波によって桁が流失、移動することはない。路面上まで津波が到達する橋梁のうち下記に示す 4 橋梁においては盛土部の被害が発生することが想定された。

盛土部の被害が発生することが想定される橋梁

- ・無名橋 (国道 10 号 257.7kp：延岡市土々呂町 6 丁目)
- ・尻無橋 (国道 10 号 262.2kp：東臼杵郡門川町大字尾末字尻無川)
- ・野島小橋 (国道 220 号 23.7kp：宮崎市大字内海)
- ・鶯巣橋 (国道 220 号 27.3kp：日南市伊比井字鶯巣)

一方、東南海・南海地震による津波では検討対象範囲の 15 の区間において路面上まで津波が達し、冠水する結果となった。最も延長が長いのは延岡市内の約 2km であり、また最も浸水深の大きいのは日南市内の約 2m であった。また、津波発生時には船舶や倒壊家屋などの瓦礫が漂流物となり道路上にも堆積する。倒壊家屋による道路上の瓦礫堆積量は、図 2.5-10 に基づき算定した。また、道路上への船舶の打ち上がりについては、喫水深と浸水深の関係から評価し、喫水深よりも浸水深が大きければ漂流すると推定した。

その他には、落石・崩壊に関する安定性及び津波によって影響を受ける恐れのある危険物の分布についても整理した。落石・崩壊に関する安定性については、評価手法が確立されていないため、防災カルテを使用し対策の必要がありと判定されかつ地震による安定性が不安定と評価している箇所を要注意箇所として選定した。特に落石・崩壊により道路が寸断された場合、孤立する可能性がある、付近に迂回路等がない等影響の大きい箇所については、想定される震度と照らし合わせて震後対応上考慮すべき箇所と位置づけるほか、対策の優先度を上げるなどの方策が必要である。

これら被害想定の結果を基に被害想定結果の総合化マップを作成した。マップには被害想定結果の他に、役所、警察、消防署、病院などの災害時の拠点となる施設位置も記載した。さらに、前述した落石・崩壊に関する安定性の要注意箇所及び津波による影響を受ける恐れのある危険物保管施設についても記載した。総合化マップの一例を図 3.1-1 及び浸水区間の拡大版を図 3.1-2 にそれぞれ示す。

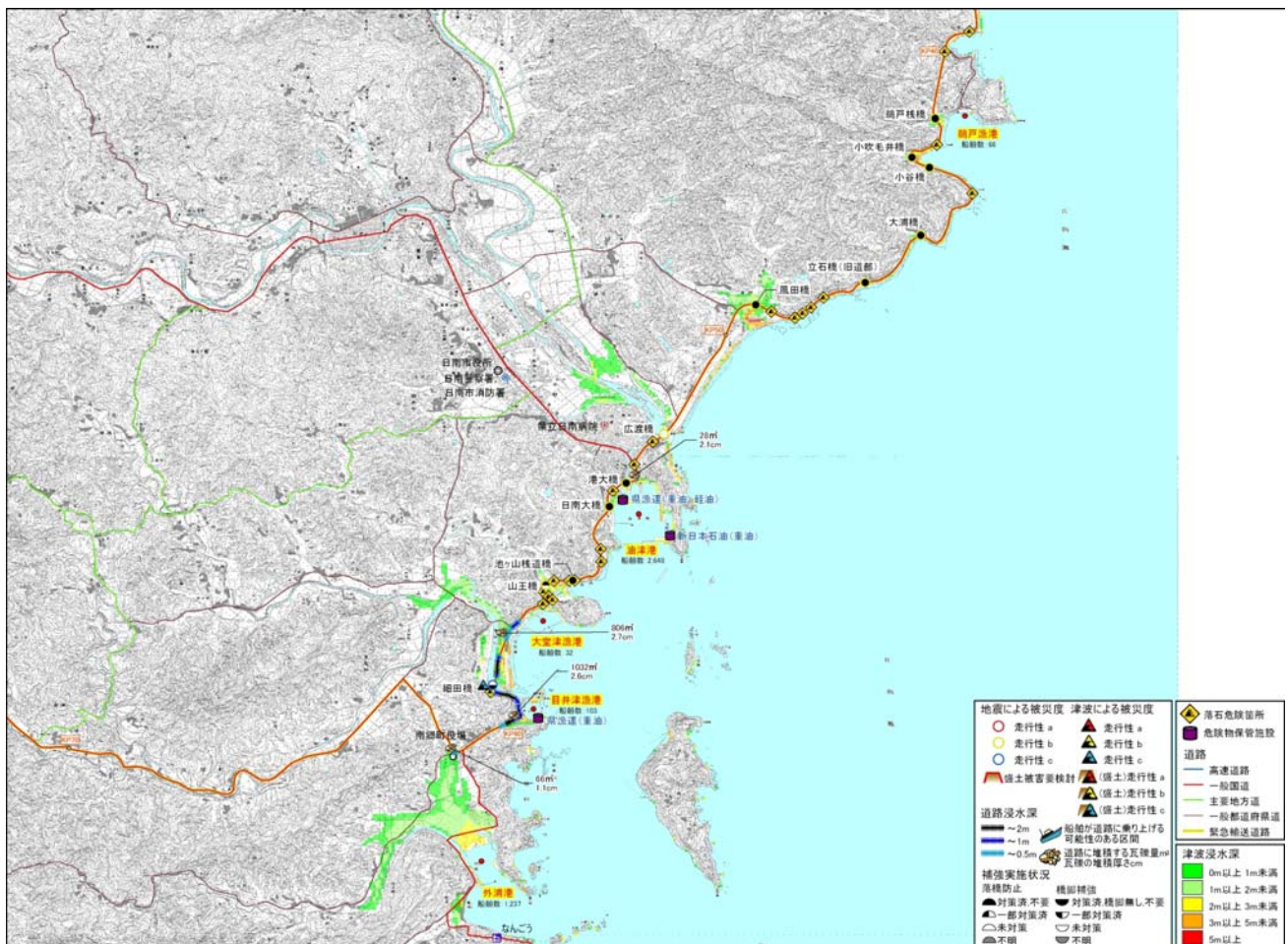


図 3.1-1 総合マップの一例（宮崎県内国道 220 号）

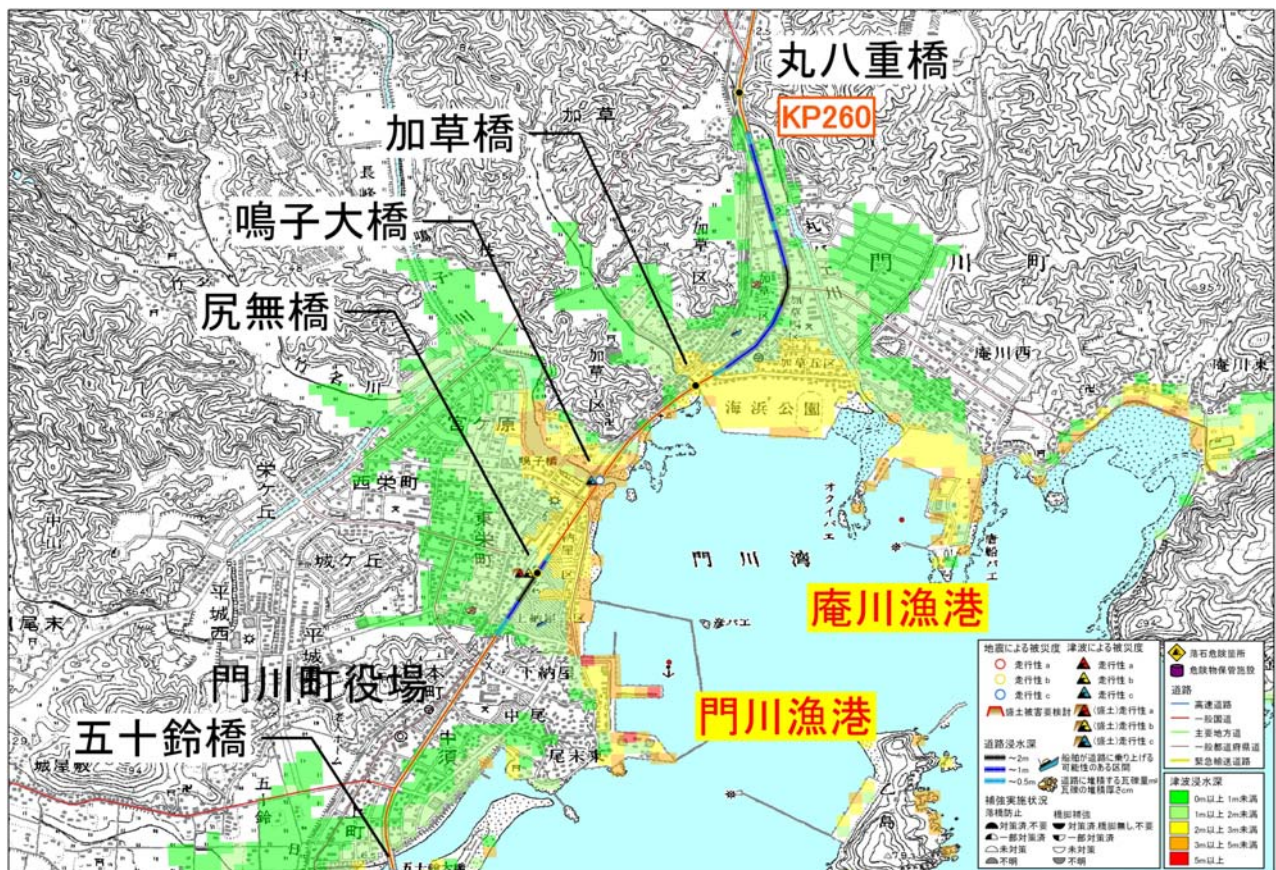


図 3.1-2 総合マップの一例（津波浸水区間拡大版）

3.1.4 被害想定結果に基づく軽減対策の検討

被害想定結果に基づき、被害を軽減するための対策あるいはあらかじめ把握、周知、決めておかなければいけない内容として、以下に示す7項目について検討した。なお、検討結果はケーススタディとして実施した九州地方整備局管内の内容を示しており、全体的な方針は次の3.1.5に示す。

○検討項目

1. 道路利用者への効率的かつ効果的な情報提供・広報手段の検討
2. 避難路と避難場所の確保に必要な技術的留意事項の検討
3. 補強計画立案のための応急復旧の障害となる施設の特定
4. 応急復旧に必要な機材の確保と配備計画の検討
5. 迂回路設定手法の検討及び迂回路案の設定
6. 孤立する可能性のある区域の特定及び対策案の検討
7. 道路利用者、住民等に対する認知度向上手段の検討

まず、道路利用者への効率的かつ効果的な情報提供・広報手段の検討について、はじめに検討する範囲について取り決めを行った。これは、道路の路面冠水においては道路高を考慮して冠水区間を想定しているが、自治体がシミュレーションを行っている浸水想定区域はメッシュ毎に浸水深・浸水エリアを決めているため、両者の浸水エリアに若干の違いがあること、自治体の結果はハザードマップ等においてすでに住民等へ公表していることが多く、違う結果を公表すると混乱する恐れがあること、近接する範囲で冠水する区間と冠水しない区間がある場合、それらを明確に区分すると対策が非常に煩雑になり、結果として道路利用者及び住民がわかりづらいという理由からである。

その結果、図3.1-3に示すように、道路が冠水する区間を路面冠水区間、路面が冠水していなくても周辺が浸水する区間を浸水想定区間(自治体がシミュレーション等を実施したもの)として定義し、情報提供手段を検討する際には浸水想定区間を基本とした。また、浸水想定区間が近接してある場合は隣り合う浸水想定区間を統合し、浸水想定区間群として定義した。

道路利用者への情報提供手段としては、浸水想定区間の出入り口を示す標識、浸水想定区間内を示す標識、道路情報板を、情報を提供するために道路管理者が状況を把握するための手段としてCCTVカメラの設置について検討した。その他、浸水想定区間内の路面最大浸水深を示す標識を設置する

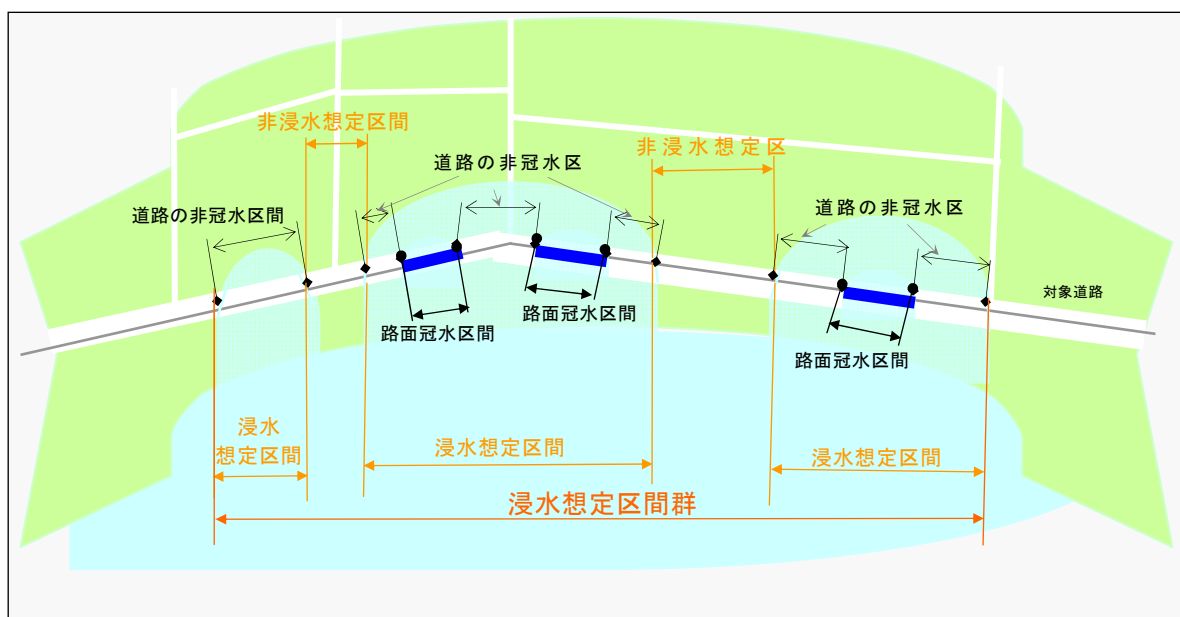


図3.1-3 浸水想定区間群等の模式図

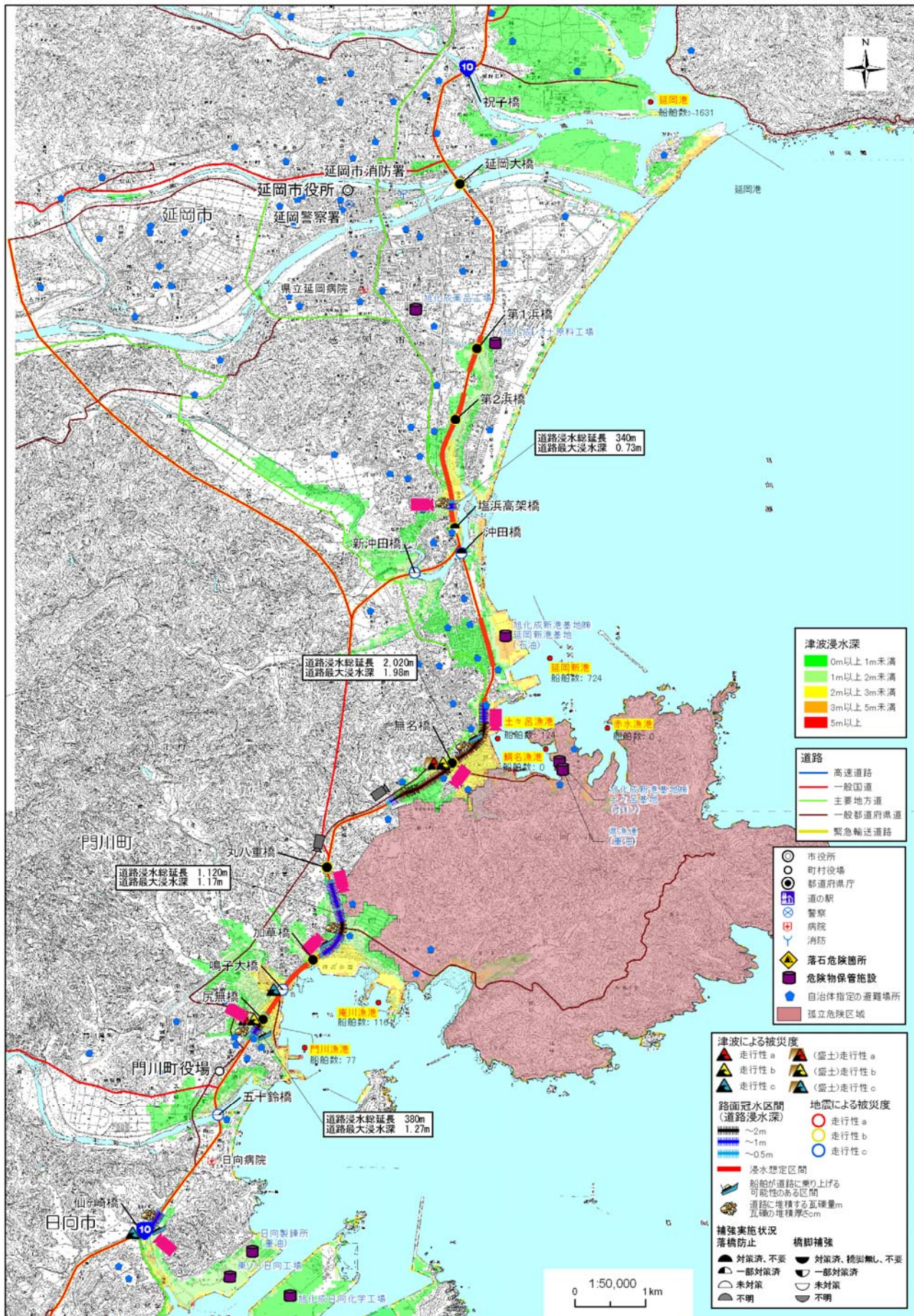


図 3.1-4 津波被害軽減対策配置図案の一例

ことで検討した。道路情報板及びＣＣＴＶカメラについてはなるべく既存のものを活用するよう配慮し、実際に設置する際には既存のものよりも簡易的かつ安価で目的を達成できる機材を使用するようにしコストを抑える努力が必要である。これらの設置位置図の一例を示したのが図 3.1-4 である。このうち、浸水想定区間内を示す標識は概ね 500m 間隔で、道路情報板は浸水想定区間を迂回可能なまたは避難が可能な交差点付近に、ＣＣＴＶカメラは概ね 1 基あたりの視認範囲である 500m を基本に浸水想定区間の状況がある程度把握できる範囲でそれぞれ設定した。

次に、避難路と避難場所の確保に必要な技術的留意事項の検討について、一般的に市町村が避難ビルを指定する際に用いる「津波避難ビル等に係るガイドライン、平成 17 年 6 月、津波避難ビル等に係るガイドライン検討会 内閣府政策統括官（防災担当）」では、避難路・避難経路の危険性に係る留意点として、以下の 9 項目を挙げており、これらを避難路・避難場所を設定する際に必要な技術的留意事項の基本として位置づけ、道路利用者の有効かつ効率的な避難のあり方について検討した。

○避難路と避難場所を確保する際の留意点

1. 道路施設は耐震性の確保や周辺の建物の倒壊、転倒・落下物等に夜危険性を確認
2. 土砂災害の危険性がないか確認
3. 避難者数等を考慮しながら十分な幅員が確保されているか確認
4. 防潮堤や胸壁等で、階段の設置等、円滑な避難が可能か確認
5. 海岸沿いや河川沿いの道路等を避難経路として原則指定しないこととするが、やむを得ず指定する場合は、その危険箇所について確認
6. 避難の方向が、津波から遠ざかる方向となっているか確認
7. 家屋の倒壊、火災の発生、橋梁等の落下等の事態にも対応できるか確認
8. 夜間照明等が設置されているか（災害時の活用が可能か）確認
9. 階段や急な坂道がある場合には、勾配の状況や手すり等が設置されているか確認

一方、ガイドラインでは、避難方法について、家屋の倒壊、落下物等により円滑な避難ができない恐れが高い、渋滞や交通事故等の恐れがある、徒歩による避難者の円滑な避難を妨げる恐れがある、自動車は浮力により津波に流されやすい危険性があること等の理由により、原則徒歩によるものとしているが、本検討では道路利用者の避難を重点的に考えているため、上記の原則を侵害しない範囲で道路利用者が車両等を使用しながら津波による被害を避けるため避難を実施する際の留意事項について検討した。その結果、車両の走行速度、津波の到達予想時間、道路歩行者等を考慮し、道の駅や「とるば」等の道路沿いにある駐車場で津波の危険性がない場所を第 1 に、以下市町村が指定する避難所で道路利用者が避難を受け入れる余裕のある津波の危険性がない場所、道路沿いにある津波の危険性がない民間の施設、広場も含めた一時避難場所の指定の順で避難場所を設定した。また、避難路・避難場所を示す標識等については自治体と連携を図りながら実施していく必要がある。さらに、「とるば」のような駐車場を一時的な津波避難場所として使用する際には表 3.1-3 に示すような設備があると有効である。

その他、応急復旧に必要な機材の確保と配備計画では、協定業者等の位置や保有資機材及び想定される道路被害に基づき、運搬可能なルートを検討し地図にプロットした。検討にあたっては、応急復旧すべき被害の概要について整理し、応急復旧に必要な資機材をリストアップした上で、供給可能な数量が確保されているか確認を行った。迂回路設定手法の検討においては、大型車も通行可能な広域的な迂回路、乗用車程度の車両が通行可能な迂回路、津波収束後の緊急点検時に使用可能な迂回路の 3 ルートを設定し検討した。孤立対策の検討にあたっては、道路施設が津波等により通行不能になる

表 3.1-3 「とるば」等の駐車場を一時避難場所とする場合に必要な施設

必要施設	理由
CCTV カメラ	■ 避難状況の確認 ■ 救出作業のための情報収集 ■ 避難者が外部から監視されていることを認識できるため精神的に安定する(孤立していないことを認識)
公衆電話 (非常用電話)	■ 携帯電話のサービス範囲外の地点やラジオの受信が困難な地点もあり、外部との連絡手段を確保するため
防災無線	■ 津波警報解除などの情報を避難者に伝達するため
照明	■ 夜間発災時に避難場所を照らすことで避難者の精神的安定につながる ■ 夜間に CCTV カメラを有効利用するため
トイレ	■ 短期的な避難を想定した施設であるものの、津波警報解除にかかる時間は数時間以上におよぶことが想定されるため



ことで孤立する危険性がある地域を抽出するとともに、孤立危険地域から脱出する手段や一時的に孤立内の避難場所にて滞在するための方策について取りまとめた。

3.1.5 地震・津波に対する被害軽減対策手法の整理

地震・津波により道路施設に被害が発生した場合には、その後の人命救助や災害復旧において道路の持つ役割は非常に大きく、できるだけ早急に失われた交通機能を回復しなければならない。また、地震・津波から道路利用者を守るのも道路管理者の責務である。本項では、主に津波による道路及び道路利用者の被害を最小化し、早期に被害を復旧するために必要な事項を、道路管理に携わる実務者に参考になるように整理した。整理にあたっては、本検討の他、先進事例としてすでに被害軽減対策を実施している事例の内容を調査、ヒアリング等を実施した結果も踏まえ実施した。

また、整理項目としては 2.5 で作成した道路管理者を対象とした被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー（案）に基づいている（図 3.1-5）。

津波被害対策において、道路管理者としての役割は道路利用者における人的被害軽減のための対策、道路の早期啓開・復旧のための対策、自治体における地域防災計画との連携及び役割分担の明確化の 3 点があげられる。

このうち、道路利用者における人的被害軽減のための対策においては、道路を管理する立場から「誰のため」「何を」「どの程度」の対策を行うかを明確にすることが重要である。本研究では、道路管理者の立場から道路利用者に対する津波情報の入手と提供、避難誘導、啓発活動、整備計画などの計画策定手法について整理した。

まず、情報においては現状の早期把握のための収集手段、関係機関が収集した情報を共有するための手段、いち早く道路利用者等へ情報を提供する手段についてそれぞれ整理した。情報収集には CCTV カメラの整備が考えられる。津波浸水の恐れがある区間においては津波警報等が解除されるまで直接パトロールができないため、道路利用者の避難状況、道路施設の被災状況などがリアルタイムで把握でき、それらの情報から啓開・復旧行動における判断材料になるなど CCTV カメラは極めて重要な情報収集手段である。また、情報提供手段としては、日頃から津波による浸水の危険性がある場

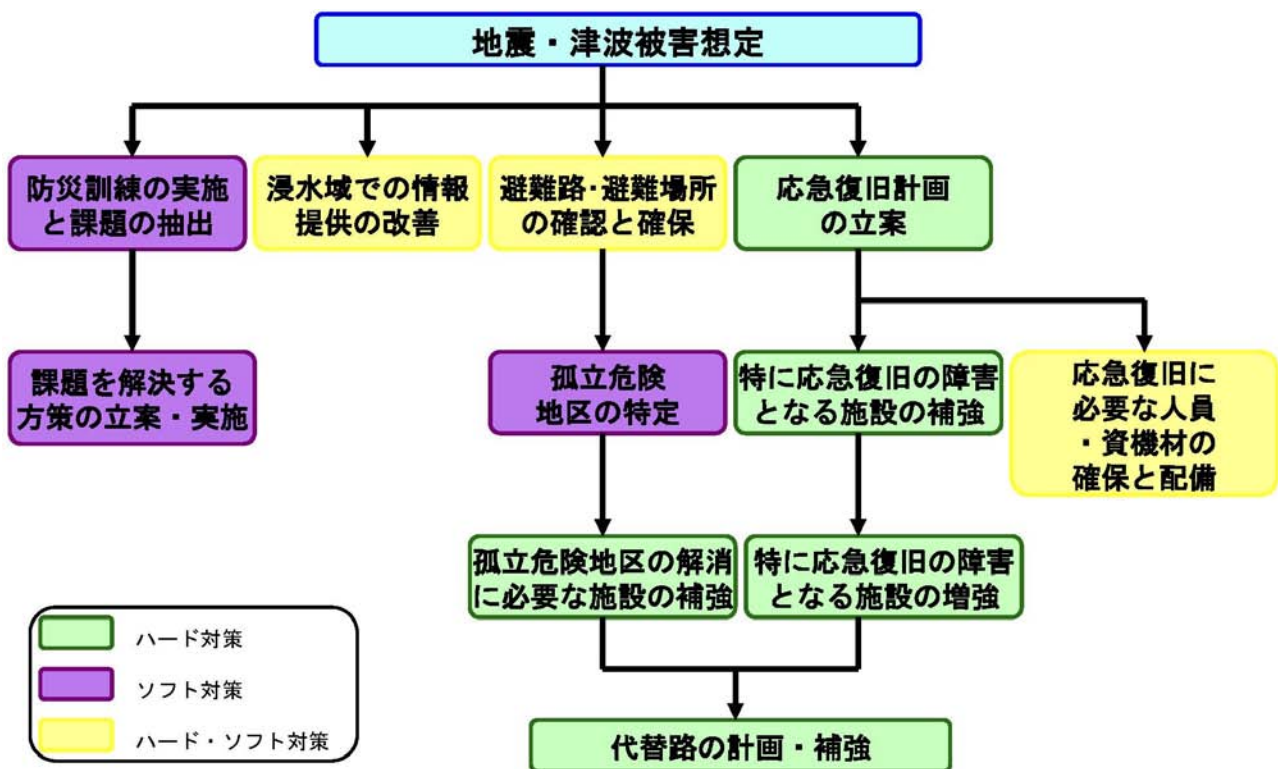


図 3.1-5 道路管理者を対象とした被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー（案）

所を周知するための標識等の設置や地震発生後に津波の危険性を訴えるための道路情報板の設置等が考えられる。標識等は、どの区間が浸水する危険性があるのかがわかる標記とし日常から周知を図る役割と、津波が発生した際には道路利用者がどこへ避難すればいいかの目安となるものでなければならない。標識等の例を写真 3.1-1 に示す。道路情報板は、津波によって浸水する危険性がある区間に道路利用者が入っていかないように、また津波浸水想定区間を迂回して走行できるように活用されることが期待され、そのような目的を達成できる場所に設置する必要がある。また、津波は地震の発生する場所によって到達時間が違い、沿岸に近い場所で発生した際には地震発生後数分で津波が到達する可能性もあり、道路情報板において即時に情報が発信できる取り組みも必要である。その一例が図 3.1-6 に示す道路情報板ガイダンスシステムである。これらの取り組みをまとめて模式化した図が図 3.1-7 である。これらはただ整備されるだけでなく、それぞれがどのような意味を持つのかを道路利用者・住民等に理解されるように周知を図っていかなければならない。



写真 3.1-1 津波による浸水想定箇所を周知するための標識

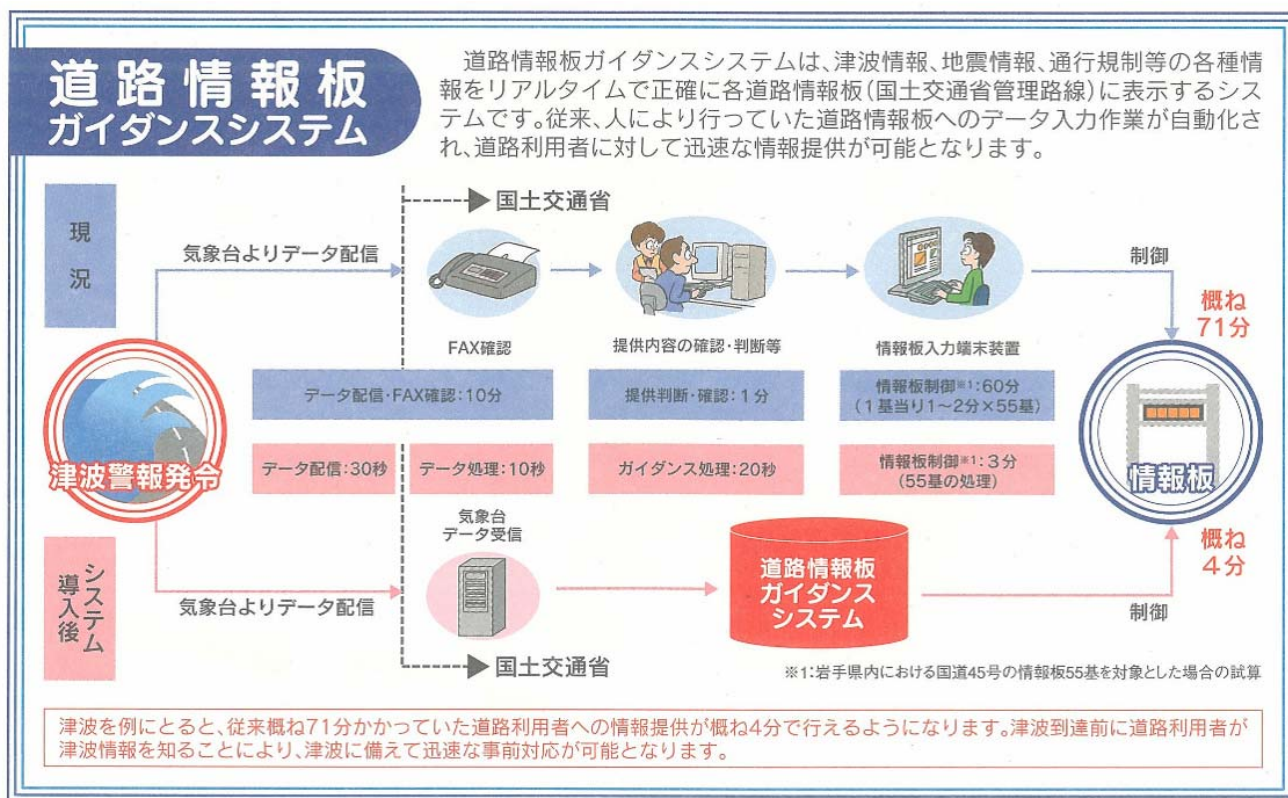


図 3.1-6 道路情報板ガイダンスシステム (東北地方整備局三陸国道事務所)



図 3.1-7 津波被害軽減対策イメージ図

次に、迂回路については対象道路の冠水区間、道路施設への被害が予測される箇所等において、道路利用者の迂回路、緊急輸送道路としての役割を果たすとともに、付近におけるパトロール車によるパトロールが可能となるよう、あらかじめ付近の道路状況を調査し、迂回路として設定しておく必要がある。迂回路としては、表 3.1-4 に迂回路の種類及び図 3.1-8 に迂回路の模式図を示すように 3 つに区分した。緊急輸送路としての迂回路は浸水想定区間群を迂回路として設定する。また、パトロール道路としての迂回路は国道の被災状況等を確認するためのものである。パトロール道路は津波警報発令中と警報解除後の 2 つのパターンを設定している。その他に、一般の道路利用者が津波警報発令中に利用できる広域的な迂回路も設定する必要がある。

この他、道路の早期啓開・復旧のための対策においては、津波被害を対象に早期道路啓開のために必要な復旧計画について、資機材の配置と量の把握、応急復旧想定位置、備蓄用地状況の把握、備蓄配置計画を関係機関と連携、協力を図りながら策定する必要性を示している。また、自治体における地域防災計画との連携及び役割分担の明確化においては、避難場所や避難経路の策定、孤立危険箇所対策、住民・道路利用者への啓発活動など道路管理者のみでなく自治体や警察等関係する機関と連携を図り、効率的で効果的な対応の必要性を示している。

整理した地震・津波に対する被害軽減対策手法は、津波により被害を受ける可能性のあるすべての道路管理者が、今後対応を考える際の参考となるよう取りまとめた。すでに津波被害軽減対策を策定

表 3.1-4 迂回路の種類

項目		道路幅員	浸水状況
1. 浸水想定区間群に対する迂回路 (緊急輸送・避難路兼パトロール道路)		概ね 4m 以上	浸水しない (浸水想定区間外)
2. 浸水想定区間に対する迂回路	津波警報中も パトロール可能	概ね 3m 以上	浸水しない (浸水想定区間外)
3. 緊急点検用迂回路	津波収束後に パトロール可能		浸水する (浸水想定区間内)

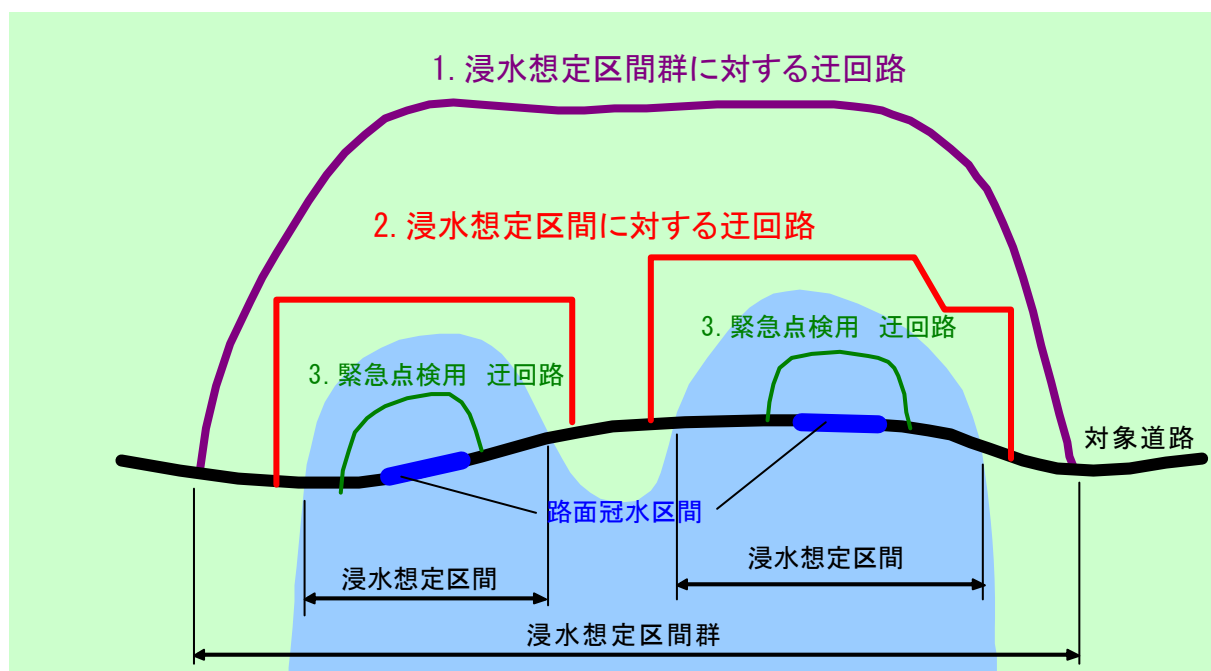


図 3.1-8 迂回路の模式図

している道路管理者においては、計画の見直しの際に、まだ検討を開始していない道路管理者においては、対策計画策定のきっかけになれば幸いである。

3.1.6 まとめと今後の課題

本研究では、道路施設及び道路利用者を対象に、地震・津波に対する被害想定結果に基づく被害軽減対策手法を提案した。研究成果は、九州地方整備局における東南海・南海地震津波対策計画の立案に活用されている。

今後は、提案手法の検証を進めるとともに、道路管理者単独では対策効果が向上されない対策について、関係機関との連携のあり方や対策計画の立案について研究し、地震・津波被害軽減対策手法のさらなる向上を図っていく必要がある。

謝辞

宮崎県総務部危機管理局危機管理室及び大分県生活環境部防災危機管理課には想定東南海・南海地震の地震動及び津波推定結果の数値データ等研究に必要な資料を、九州地方整備局、宮崎河川国道事務所、延岡河川国道事務所、大分河川国道事務所、佐伯河川国道事務所には所管施設に関するデータをご提供いただいた。あわせて深く謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 地震防災研究室，海岸研究室，沿岸防災研究室，水害研究室：公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案），国土技術政策総合研究所資料，第485号，2008
- 2) 片岡正次郎，鶴田舞，長屋和宏，日下部毅明，小路泰広：道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針，土木学会地震工学論文集，Vol.29，pp.918-925，2007
- 3) 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，Vol.47，No.12，pp.48-53，2005
- 4) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案），2003
- 5) 首藤伸夫：津波による海岸堤防・護岸の被災－昭和8年三陸大津波から昭和35年チリ津波まで－，津波工学研究報告，Vol.16，pp.1-37，1999
- 6) 片岡正次郎，日下部毅明，長屋和宏：津波衝突時に橋桁に作用する波力，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.154-157，2006

3.2 実践的な地震防災訓練の実施手法の検討

3.2.1 はじめに

一般に、道路管理者が業務に従事する期間に大規模地震に遭遇する可能性はそれ程多くはない。しかし、大規模地震が発生した際には迅速かつ的確な対応が求められる。道路管理者における震後対応能力を向上させるためには経験に基づくことが理想であるが、それがなかなか実現できない中で震後対応能力を向上していくための手段として、訓練によるものがあげられる。本節では、地震災害発生時の救援、復旧等の緊急輸送対応を行う道路管理者を対象とした地震防災訓練実施のあり方について検討した結果を示す。なお、この結果は道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）としてとりまとめ、関係する機関に配布している。

3.2.2 研究目的と研究方法

道路管理者の震後対応としては、いち早く緊急活動を開始するための道路啓開や、道路の通行可否についての情報提供が重要であるが、災害直後の混乱期に情報の空白や錯綜が生じる中で、的確かつ迅速に対応することは容易ではない。

近年の地震でも、今まで見られなかった被災や訓練等で想定していなかった事態により現場が混乱し、対応が遅れるといったケースが認められている。主要な地震後に実施したヒアリングでは、「災害対応の改善に役立つ訓練として、現実に体験したような大規模な被災を想定した訓練は実施しておらず、事前に被害イメージを持っておく、災害対応の実感がもてる、意識を高める訓練が必要」等といった声が聞かれた。

また、東海地震、首都直下地震等大規模地震が逼迫している中、震後対応能力を高める必要がある。このような状況を踏まえ、本検討は大規模地震時に発生する道路管理者の対応への支障について体系化し、平常時から継続的に震後対応能力を向上させるための最適な訓練手法の検討を目的とする。

検討の手順としては、各地方整備局で実施されている訓練の実施要領、訓練を実施した際の課題、反省点等を収集し、現状訓練の実態を分析するとともに、実際に地震対応を行った際の課題等から地震災害時における場面毎の障害となる事項、いわゆる支障についてとりまとめた。

さらに、いくつかの事務所に協力を依頼し、訓練の実態を調査し、あわせて訓練に対する要望等を伺い、事務所等の要望に近い手引きを作成するための参考とした。

災害対応における支障を抽出した後は、それらを盛り込んだ訓練手法について検討し、こちらもいくつかの事務所に協力を依頼し、検証訓練を実施しながら訓練実施の手引きを作成した。

3.2.3 既往地震に基づく支障の体系化

災害対応においては、各種災害事象・事態により様々な支障が発生する。そのため、所掌事務だけを基本的な対応として設定する従前の災害対応では対応が大きく遅れたり、不十分となることが考えられる。そのため、本研究においては事前に各種支障を想定した実現に近い防災訓練を実施することを目的として、災害対応における支障を明確にし、体系化を実施した。

災害対応における支障については過去の災害事例および防災訓練の実施内容から、災害対応における課題・教訓を整理し、支障を抽出した。このうち対象とした災害事例は、兵庫県南部地震^{1) 2)}、新潟県中越地震^{1) 3)}、三陸南地震¹⁾、宮城県沖地震^{1) 4)}、十勝沖地震¹⁾のものである。

抽出した災害対応の支障は、対応における「行動」部分に関連するため以下の6区分において整理した。

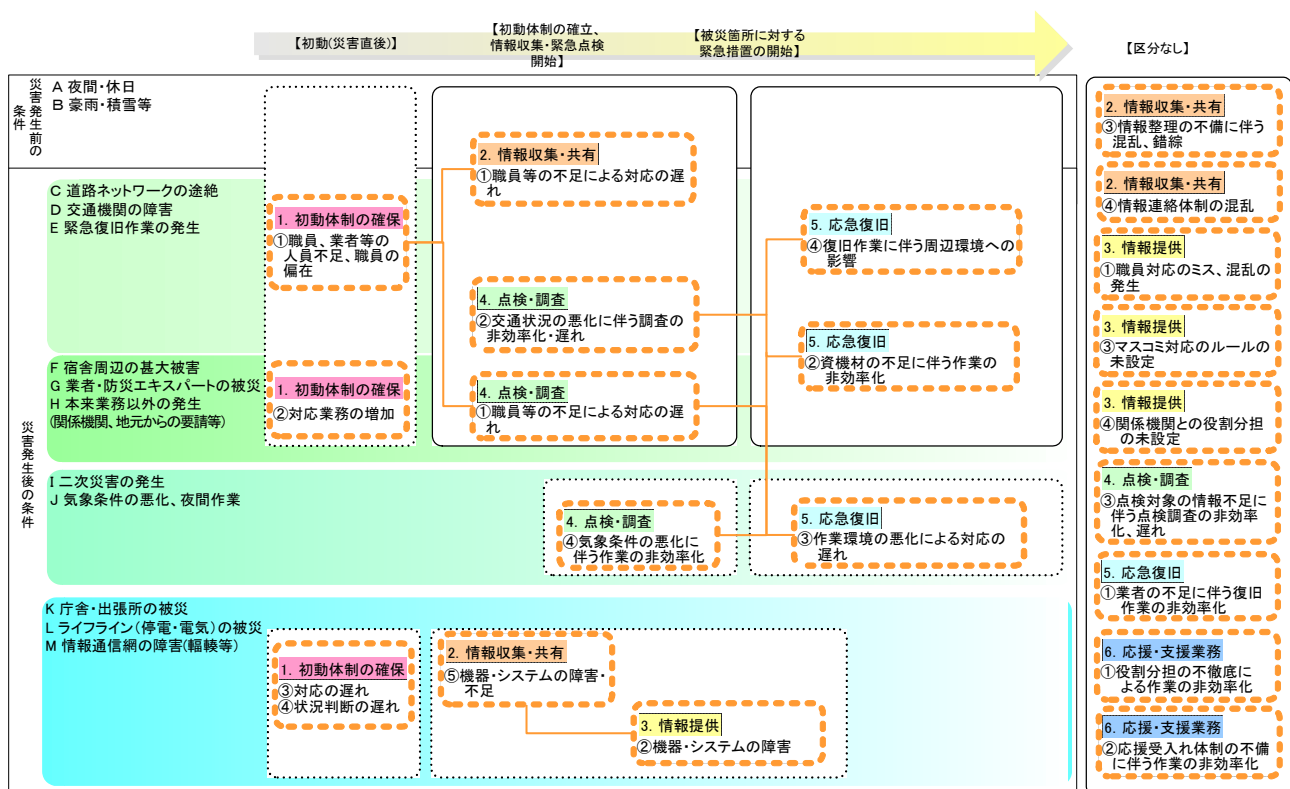


図 3.2-1 支障の体系化

- ①. 初動体制の確立
- ②. 情報収集・共有
- ③. 情報提供
- ④. 点検・調査
- ⑤. 応急復旧
- ⑥. 応援・支援業務

整理した支障を防災訓練の訓練シナリオに盛り込むために支障の特性を整理し、体系化を実施した。支障は地域特性や事務所の特性、災害の発生時期（フェーズ）といった発生要因によって発生に差が生じる。また、災害の発生後の時期（フェーズ）によっても発生する支障が異なる。そのため、体系化にあたっては、支障の発生に関連する発生要因について整理し、発生時期（フェーズ）との関係を明確にした。なお、災害対応の支障については、支障間についても関連性、影響が考えられる（例：「点検・調査」作業の遅れがその後の「応急復旧」作業への遅れとなる）。そのため、体系化にあたっては、支障間の関係も整理した。

これらの支障については、前述したように発生要因や時期等により様々に変化するが、大まかに体系化したものが図 3.2-1 である。本研究では、従来の訓練の中に支障を盛り込むことでより実践的な訓練が期待できると考え、さらに支障を細分化し整理した。

3.2.4 道路管理者における地震防災訓練実施の手引きの作成

(1) 訓練におけるPDCAサイクルの導入

道路管理者が震後の対応能力を向上させる仕組みづくりについて検討した。道路管理の担当者は概ね2～3年で異動することから、9月に実施する総合訓練が今後も引き続き実施されることを前提とし、9月の総合訓練および4月の異動時期を核とする1年以内のサイクルとした。これをもとに作成した

P D C Aサイクルのそれぞれについては以下のとおりである。

P：苦手とする部分を把握し，訓練計画を作成する．訓練計画に基づきシナリオ，参加者等を定める．

D：訓練を実施する．

C：チェックリストによる評価，反省会等により課題の抽出を行う．課題等は，苦手分野，防災計画・各種マニュアルに反映すべき事項，関係機関等と協議すべき事項等に分類して整理する．

A：次回の訓練計画，勉強会等の計画に取り入れる．速やかにマニュアル等の改訂を実施し，周知を図る．関係機関等と協議する場を設けて解決を図る．

(2)地震防災訓練実施の手引き（案）の作成

訓練におけるP D C Aサイクルの導入及び道路管理者に発生する支障の体系化をもとに，「道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）」を作成した．

地震防災訓練実施の手引きは，

- ①手引きの目的及び利用手順
- ②P D C Aサイクルの導入方法
- ③訓練シナリオ作成にあたっての各メニュー
- ④チェックシートによる評価手法

の大きく4つから構成されている．本手引きの目次構成を図3.2-4に示す．本手引きは，防災担当者が訓練シナリオ作成にあたり迷ったとき，被災イメージや支障について考えるとき等に参考になるよう作成した．また，先進的な事例を記載しており，これを共有することで訓練を実施する際の参考にもなる．訓練シナリオについては，発災後から想定される対応について，時系列的に個々の訓練毎にとりまとめており，組み合わせて総合訓練のシナリオを作成することも，苦手な分野に限った個々の訓練シナリオを作成することも可能にしている．

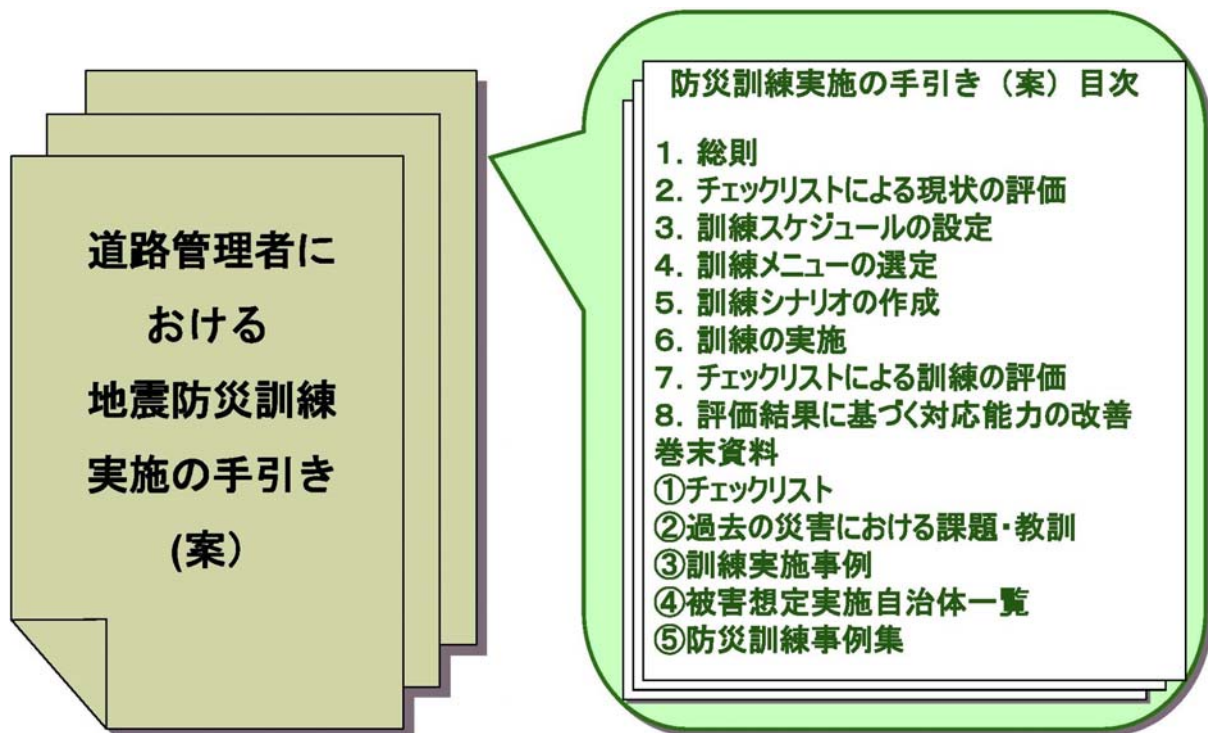


図 3.2-4 地震防災訓練実施の手引き（案）の目次構成

表 3.2-1 手引き素案に対する主要な意見

☆マニュアル素案に対する主要な意見

- ・本マニュアルの目的および利用方法についてさらに明確化してほしい
- ・災害対応の流れに沿ったフローを作成し、自分が現在どのフェーズにいるのかわかるように
- ・チェックリストが膨大すぎる、使用方法がわからない
- ・PDCAサイクルの仕組みをもっと詳しく
- ・訓練計画を作成する際には、9月の総合訓練よりも職員の異動時期を核とすべき

作成した手引きの素案は、道路管理者が本手引きに対して何を望んでいるか、あるいは現状の訓練がどのように行われていて、どんな課題や限界を感じているかを把握する目的でヒアリング調査を実施した。調査機関は、東北地方整備局防災課及び道路管理課、東北地方整備局酒田河川国道事務所、東北地方整備局郡山国道事務所、近畿地方整備局防災課及び道路管理課、近畿地方整備局大阪国道事務所、近畿地方整備局奈良国道事務所、四国地方整備局防災課及び道路管理課、四国地方整備局松山河川国道事務所、四国地方整備局土佐国道事務所である。

ヒアリングの結果、手引きの素案に対しては表 3.2-1 に示すような意見が得られた。また、ヒアリング結果からは、総合防災訓練がマンネリ化しつつあること、事務所独自で訓練を実施したいと考えてはいるものの時間とノウハウがなくてできないこと、反省会は実施しているが課題に対して何らかのアクションは講じていない等、否定的な意見が比較的多く得られた。

一方、手引きに記載した内容の有効性及び効果を確認するために、前述の機関のうち、酒田河川国道事務所、郡山国道事務所、大阪国道事務所、土佐国道事務所の4事務所において、訓練を実際に実施し検証を行った。酒田河川国道事務所及び郡山国道事務所については9月に実施した総合防災訓練シナリオを活用してシミュレーション形式で実施した。また、大阪国道事務所はロールプレイング形式で、土佐国道事務所は実動及び図上の複合型でそれぞれ実施した。大阪国道事務所及び土佐国道事務所の訓練の様子を写真 3.2-1 に示す。

いずれの訓練においてもこれまで見られなかった多数の課題、対応すべき事項等が見出され、訓練の有効性は確認できた。その中で、訓練の実施の仕方、ルール化、訓練シナリオの作成等について手引き素案に記載の内容では不十分であることがわかった。



写真 3.2-1 検証訓練の様子（左：大阪国道事務所、右：土佐国道事務所）

そこで、現場の意見、ヒアリング結果及び検証訓練の結果から手引き素案のバージョンアップを図り、「道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）」として取りまとめた。

主な修正点は、本手引きが防災担当者が訓練シナリオ作成にあたり迷ったとき、被災イメージや支障について考えるとき等に参考になるよう作成していることから、目的と利用方法について明確化したほか、シナリオ作成においても総合訓練を削除してある対応事象に特化した個別訓練に一本化して記載し直した。また、チェックシートは事前準備、訓練対応、訓練評価の3種類についてまとめた。さらに、訓練を実施する際の参考になるよう訓練事例を巻末資料に添付した。

本手引きの特徴の一つとして、チェックリストの作成があげられる。このチェックリストは前述したように、事前準備、訓練対応、訓練評価の3種類について作成している。いずれのチェックリストも利用者が必要な項目のみを抽出して、独自のチェックリストとして活用することができるよう網羅的に対応の可能性がある場面を記載している。また、このチェックリストは訓練のみならず実際の地震対応にも活用できるように作成しており、抽出・作成した独自のチェックリストを災害対応用に保存しておくことも可能である。

このうち、事前準備チェックリストによる評価の例を図 3.2-5 に示す。震後対応を効果的に行うために必要な事務所の事前準備について、対応状況をチェックする。チェック項目は施設・設備、備品、マニュアル、体制等について必要な準備項目を設定する。本手引きに記載しているチェックリストの項目は、考えられる項目を全般的に網羅しているため、各事務所において評価を行う際には各事務所の特性に基づいて該当するチェック項目を選択し、事務所用のチェックリストを作成する。さらに本手引きに記載していない項目で該当する事項あるいは訓練の実施、防災計画の見直しなどにより生じた新たな項目についても、随時追加することが望ましい。

関連する対応班	チェック項目	チェック欄			関連する訓練メニュー	災害対応の区分
		対応済	対応中	未対応		
	自組織の職員以外に事務所等に参集する人がいるか把握しているか。	レ				2) チェックリストの各チェック項目について、進捗状況を3段階（対応済・対応中・未対応）で評価 チェックリストに示す各チェック項目について、進捗状況を以下の3段階で評価する。 対応済：すでに対応もしくは対策を実施している 対応中：対応もしくは対策が現在実施中の段階である。 未対応：対応もしくは対策がまだ実施されていない。
	参集した人が決められていないか。		レ		・非常	
	職員は携帯電話か。		レ		・非常 ・職員、家族等の安否と宿舎確認 ・災害対策支部の設置訓練	①初動体制の確保
①指令・支部	次の項目について、リストアップしているか。 Ⅰ 通信手段の種類 Ⅱ 連絡すべき相手の名前、連絡先、内容		レ			
	事務所を移設する場合の移設基準を定めているか。		レ			3) 事前準備計画の立案などへ反映 評価結果に基づき、対応を進める必要がある事項を把握し、事前準備計画を立案する際の参考とする。
	各課課長以上の職員宅に衛星通信設備は配置されているか。			レ	・災害対策支部の設置訓練 ・非常食の配給、試食訓練	
	支部長の代行者及び代行順位を定めているか。		レ			
	班編制及び各班の所掌業務を明確に定めているか。		レ			
	公衆回線⇒マイク回線、マイク回線⇒公衆回線の接続方法を知っているか。		レ		・被害状況の確認と報告の訓練	

図 3.2-5 チェックリストによる評価の例（事前準備）

評価は以下の３段階で実施する。評価結果に基づき、対応を進める必要がある事項、優先順位を把握し、事前準備計画を立案する際の参考や必要な訓練・勉強会・講習会等の計画に活用する。

○チェックリストの評価

対応済：すでに対応もしくは対策を実施している

対応中：対応もしくは対策が現在実施中の段階である

未対応：対応もしくは対策がまだ実施されていない

なお、このチェックリストは対応、対策が完了すればチェックリストから削除し、新たに必要な準備事項が発生した場合にはチェック項目に追加するような使用方法が可能である。

一方、訓練評価のチェックリストを整理した例を図 3.2-6 に示す。訓練対応及び訓練評価はいずれも訓練において実施すべき行動を的確に実施していたか評価するもので、以下の３段階で評価する。

○チェックリストの評価

良 好：自主的に工夫をしてスムーズに対応した

普 通：多少のミスは生じたがマニュアル等に従って行動した

不十分：行動しなかったもしくは他からの要求・指導等を受けて行動した

訓練対応及び訓練評価においても事前準備と同様、様々な状況を網羅する内容になっており、訓練項目等に従って必要な項目を抽出して活用する。なお、このチェックリストは実際の地震災害対応時にも活用できるように作成されており、事務所においては地震時の対応マニュアル等とこのチェックリストを参考にしながら、地震時に忘れてはいけない対応について時系列的にチェックリストを作成し誰もが共有できる場所に保管しておき、有事の際にすぐ使用できるようにしておくことも可能である。

評価結果は、次の訓練計画を作成するための参考資料、課題解決のための基礎資料として活用する。

訓練メニュー	訓練形式	対応班	事務所の所掌事務	(2) 評価項目ごとに達成度を評価 訓練における達成度を以下の三段階で評価 良好：自主的に工夫をして対応 普通：マニュアル等に従って行動 不十分：行動しなかったもしくは他からの要求・指導等で行動を受けて行動したか。	評価		
					良好	普通	不十分
・非常参集訓練	・図上 ・実働	②総務班	○職員の参集に関すること	・職員はマニュアル等に基づき、適切に行動したか。	レ		
				・参集状況を指令・支部に適切に報告したか。		レ	
・災害対策支部設置訓練	・図上 ・RP ・実働	①指令・支部 ②総務班	○支部の各種指令の発令 ○職員の参集に関すること	・参集人員を正確に把握したか。			
				・対策支部の設置に必要書類の提出、各班への伝達、本所への報告等を行ったか。			
・現地対策支部設置訓練		①指令・支部	○支部の各種指令の発令	・現地対策支部設置が必要な箇所を適切に選定したか。		レ	
				・人員体制は適切だったか。			レ
				(1) 災害対応の必要なチェック項目の抽出 訓練計画段階において、訓練中に行うべき災害対応に関するチェック項目を抽出する。			
				(4) 次年度訓練に向けた取りまとめ 災害対応の区分ごとの対応力評価に基づき、強化すべき区分を把握する。また、強化すべき区分における各訓練の総合評価を確認する事により具体的な訓練メニュー選定の参考とする。		レ	

図 3.2-6 訓練評価結果の整理例（災害対応区分毎の取りまとめ）

3.2.5 まとめと今後の課題

作成した「道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）」は、各地方整備局の道路関係事務所及び出張所に配布を行った。事務所・出張所においてこれまで以上に実戦的でかつ効果的な訓練を実施するために活用されることが期待される。今後は、ただ配布しただけでなく、活用手法等について積極的に周知を図り、地震を経験することで震後対応能力を向上していくことがなかなか難しい中、訓練を通して震後対応能力を高め、大規模地震発生時に迅速かつ適切な対応がとれるようになるために活用していただきたい。

【参考文献】

- 1) 東北地方整備局道路部道路管理課，国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室：災害対応教訓集～災害対応経験者からのメッセージ～
- 2) 国土交通省近畿地方整備局：阪神・淡路大震災から 10 年～復興への足どりをたどる～
- 3) 国土交通省北陸地方整備局：新潟県中越地震－北陸地方整備局のこの 1 年－
- 4) 国土交通省東北地方整備局：1978 年宮城県沖地震災害報告書

3.3 高潮・津波に対する避難促進支援の検討

3.3.1 はじめに

近年、国内外において高潮災害が頻発するとともに、大規模津波災害の発生が予想されている。これらは海岸保全の計画規模を上回るものであり、被害が想定される地域では住民の避難が必要となる。しかしながら、台風接近時や津波警報発令時に、避難の必要性を感じながらも家で待ち続ける住民が多いのが現状である。たとえば、平成 11 年の八代海の高潮では、災害経験がなく、避難勧告が出されず避難しないうちに浸水して 12 名の犠牲者を出した町と、災害経験を活かして、事前に避難勧告を発令し、それを防災無線等により各戸に伝達し、住民のほとんどが事前に避難した町との間で明暗を分けた。このことから、高潮・津波により浸水する可能性を住民が認識するように防災意識の向上・持続を図り、避難勧告を早期に発令して確実に住民に伝達し、住民の避難を実現することが必要である。

台風接近時や津波警報発令時の住民避難行動に関しては、限られた事例研究があるのみで、住民の避難意思決定の機構は明らかにされていない。洪水災害の分野では平成 16 年の新潟豪雨災害時における住民の避難行動に関して調査が行われており、自主防災組織や防災訓練などを通じて醸成された危険認識の高さや町内会の情報伝達体制が住民避難に効果的だったことが明らかになっている。高潮はある程度事前に避難勧告発令が可能である一方、地震発生から海岸に到達するまでの時間が短い津波は、避難勧告ではなく住民個々の防災意識に依存した避難にならざるを得ない。このような海岸災害における住民の避難行動に係る要因を明らかにし、防災意識の向上・持続に繋がるように避難促進施策を進めなければならない。

住民の避難判断力の向上のためワークショップや防災教育などが個別に行われているが、避難意思決定の構図をふまえて各施策が実施されているわけではなく、各施策あるいは複数の施策の組み合わせが住民の避難行動にどの程度結びついているのか検証されていない。住民の避難意思決定に関わる要因（心理、経験、情報、知識、環境など）を明らかにした上で、災害時の心理や地域特性に応じて住民の避難行動に繋がるような施策の具体的な進め方を明らかにする必要がある。また、防災意識は災害時からの時間の経過とともに薄れていくものであることから、防災意識の現状をチェックしながら必要な施策を計画・実施していく必要がある。

以上のことをふまえ、本研究では、高潮・津波に関して、住民の避難意思決定における各要因の影響を定量的に評価し、その要因に対応するワークショップ等の避難促進施策の効果を、社会実験を通じて明らかにする。

3.3.2 研究目的と方法

本研究の目的は、高潮・津波からの避難の意思決定要因の解明と、その要因をふまえた避難促進施策の進め方の提案である。

避難意思決定要因については、避難勧告が発令された地域の住民を対象とした質問紙調査により明らかにする。また、避難促進施策の進め方については、避難促進を目的としたワークショップの試行と、その効果分析を通じて検討する。

3.3.3 避難意思決定要因の解明

近年、津波に対する避難勧告が発令された北海道釧路市と、高潮に対する避難勧告が発令された山口県宇部市および山陽小野田市を対象に、避難意思決定要因に関する質問紙調査を行った。

(1)津波からの避難¹⁾

1)調査方法

平成 18 年 11 月 15 日、千島列島沖で発生した地震に関して、津波警報が北海道オホーツク沿岸と太平洋沿岸東部を対象に発表され、対象沿岸の全市町村が避難指示・勧告が発令した(対象者数 130,804 人)。釧路市では、震度 1 と揺れは小さかったものの、津波警報の発令と同時刻(20 時 29 分)に、釧路市津波ハザードマップにおける高さ 3m 未満の津波の避難対象地区と音別地区(根室本線より海側)の 2,561 世帯(4,675 人)に避難勧告が発令された。津波の第一波は 21 時 43 分に 0.2m の高さで来襲したが、最大波の高さは 0.3m に過ぎず、津波による被害はなかった。津波警報が津波注意報に切り替えられた 23 時 30 分に、避難勧告は解除された。

この地震で避難した人と避難しなかった人を分ける要因が何か明らかにするため、北海道釧路市の避難勧告対象地域の住民を対象に、質問紙調査を実施した。

釧路市は太平洋に面しており、釧路川、新釧路川、阿寒川が海に注いでいる。大正 9 年に発生した釧路川の洪水により市街地が浸水したことを契機に、新釧路川の掘削が始められた(昭和 6 年通水)。浜中町などで大きな津波被害が発生した昭和 27 年 3 月 4 日の十勝沖地震では、津波高は約 0.9m で、地震による被害が大きかった。また、昭和 35 年 5 月 24 日のチリ地震でも被害がなかった。平成 5 年 1 月 15 日の釧路沖地震は震度 6 程度で、地震動による被害が大きかった。平成 15 年 9 月 26 日の十勝沖地震は揺れが大きく、193 人が自主避難している。

このように津波被害の経験がほとんどないものの、中央防災会議は千島海溝周辺における 500 年間隔の大地震の発生を予想している。このため、この地震を対象とした北海道の津波浸水想定に基づいた新しいハザードマップを、釧路市は平成 19 年度に配布している。このほか、釧路市連合防災推進協議会(自主防災組織の連合体)が津波避難に関する住民意識調査や災害図上訓練を独自に行うなど自主防災活動が活発な一方、町内会加入率の低下や中心市街地の空洞化による自主防災の担い手の減少という問題を抱えている。

質問紙調査では、同居人数、避難困難者および自動車運転者の有無、家屋形式と階数、地震動の恐さ、浸水および危険性の予想、警報・避難勧告の認知、避難の意思・準備・行動、避難呼びかけ合いの有無、災害および避難の経験、防災訓練への参加状況、当時配布されていたハザードマップ(くしろ安心マップ)、避難所、浸水想定区域の認知、既往災害および災害伝承の認知、永住希望、ソーシャルキャピタル(他人への信頼感、近所つき合い、地域の地縁活動、個人の活動)などについて回答を得た。ソーシャルキャピタルについては、内閣府による調査²⁾と比較できるように、同様の質問を含めた。なお、平成 19 年 1 月 13 日にも千島列島沖で地震が発生し、津波警報および避難勧告が発表・発令されたが、回答者がこの地震と混同しないように、平成 18 年 11 月の地震に関する調査であることを質問紙に明記した。

住宅の位置や形態の点で標本が偏らないようにするため、避難勧告対象地区の各町丁目について、標高帯(2m 未満, 2m 以上)、想定浸水深(1m 未満, 1m 以上)、住宅形態(戸建て, 集合住宅)の属性を組み合わせた単位で配布対象候補世帯数を配分し、その中で調査対象世帯を無作為に抽出した。

質問紙は、平成 19 年 12 月 15～17 日に、手渡しにより 557 戸、投函により 93 戸に配布した。また、回答された質問紙は、送料着払いの郵送で回収した。回収率は、46%(302 戸)であったが、白紙が 1 枚あった。

2)調査結果

世帯人員は、1 人が 31.2%, 2 人が 34.9%, 3 人が 18.6%などとなっており、比較的少ない。また、歩いて避難することが難しい同居者がいる世帯の割合は 18.2%であった。住宅形態は、一戸建てが 58.7%, 集合住宅が 42.2%であり、建物の階数は平屋 5.0%, 2階建て 65.4%, 3階建て 4.3%, 4階建て以上 24.9%などとなっていた。また、一日の中で最も長く過ごす階については、1 階が 56.5%, 2 階が 20.9%, 3 階が 4.7%, 4 階が 5.3%, 5 階が 9.3%, 6 階以上が 2.3%であった。

回答者の位置情報、広報車巡回ルート、防災情報無線施設の位置を地理情報システムに入力し、回答者住居の標高、想定浸水深(500 年間隔地震)、海岸線からの距離、水際線(最も近い海岸線または河川)からの距離、避難所までの距離、広報車巡回ルートからの距離、防災情報無線施設(屋外拡声器)からの距離を測定した。その結果の概要は以下の通りである。

- ・回答者住居の標高は、1m 未満が 1.7%, 1～2m が 60.5%, 2～3m が 29.2%などであった。
- ・想定浸水深は、0.5m 未満が 37.2%, 0.5～1.0m が 42.9%, 1.0～1.5m が 11.0%となっているが、0m の世帯が 5.6%存在する。
- ・海岸線からの距離は、1,000m 以上が 48.2%と多く、海岸線から離れている世帯が比較的多い。これは、釧路川等から津波が流入することが想定されているためである。
- ・水際線からの距離は、100m 未満が 19.9%, 100～200m が 33.6%, 200～300m が 28.2%などとなっており、1,000m 以上離れた世帯はない。
- ・指定された避難場所までの距離については、400m 未満が 88.0%を占めている。
- ・広報車巡回ルートからの距離については、100m 未満が 91.0%を占めている。
- ・防災情報無線施設からの距離については、100m 未満が 27.6%, 100～200m が 37.5%, 200～300m が 17.3%などである。

図 3.3-1 のように、2/3 以上の人にとって、地震の揺れは普通の地震より怖いものではなかった。

図 3.3-2 のように、この地震で自宅が「必ず水に浸かるといった」または「たぶん水に浸かるといった」人は、合わせても 5%足らずである。また、自宅がどの深さまで水に浸かるかもしれないと思ったか質問したところ、「2階まで」が 1.0%, 「床上まで」が 2.3%, 「床下まで」が 5.3%, 「自宅の周り」が 24.9%, 「水に浸かるかもしれないと思うときはなかった」が 61.1%であった。さらに、命の危険性については、図 3.3-3 のように、「避難しないと絶対助からないと思った」または「避難しないと助からないかもしれないと思った」人の割合は 5%程度である。このように、地震発生後において、浸水の可能性や命の危険性を感じた人はごく少数であった。

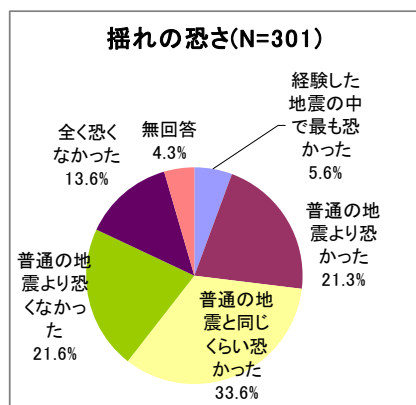


図 3.3-1 揺れの恐さ

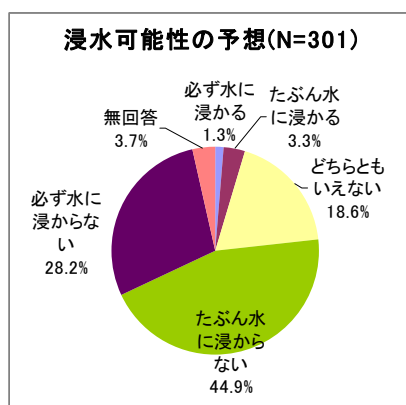


図 3.3-2 浸水可能性の予想

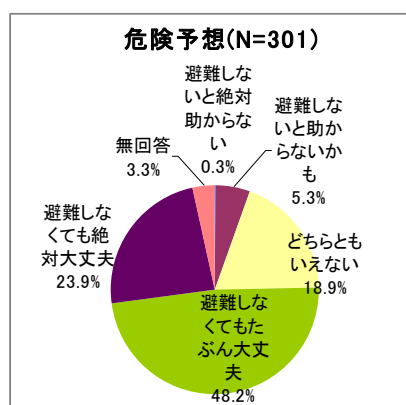


図 3.3-3 危険性の予想

津波警報が発表されたことを、知っていた人が 72.4%, 知らなかった人が 23.9%であった。知っていた人に警報の認知手段を複数回答可として回答を得たところ、テレビが 85.3%, 広報車・消防車が 46.8%, 屋外拡声器が 14.2%, ラジオが 14.2%, 近所の人が 4.6%などであった。広報車巡回ルートや防災情報無線施設に近い回答者が多かったことが、広報車・消防車や屋外拡声器という回答を多くした要因と考えられる。

避難勧告が発令されたことを、知っていた人が 65.8%, 知らなかった人が 26.6%であった。その認知手段(複数回答可)は、テレビが 82.8%, 広報車・消防車が 56.1%, 屋外拡声器が 18.7%, ラジオが 9.6%, 近所の人が 5.6%などであった。警報とほぼ同様の傾向であるが、警報と比べて、テレビの割合が少なく、広報車・消防車、屋外拡声器、近所の人などの割合が若干多くなっている。

避難勧告認知の有無を問わず、対象地震時に避難しようと思ったかどうか質問したところ、図 3.3-4 のように、「避難しなければいけないと思った」と「避難した方がいいと思った」を合わせて約 30%となった。また、避難の準備をしたかどうか質問したところ、「避難場所がどこか確認し、持ち出す荷物を整理した」が 16.6%, 「避難場所がどこか確認したが持ち出す荷物の整理はしなかった」が 26.9%, 「避難の準備をしなかった」が 50.8%であった。

避難した人は 28.6%, しなかった人は 67.8%, 無回答 3.7%であった。避難した人の割合は、前述の避難に気持ちが傾いた人の割合とほぼ一致している。

避難した 86 人にその開始時間を問うたところ、図 3.3-5 のように、避難した人の 3/4 以上が、避難勧告の発令直後までに避難している。

避難の交通手段については、自動車 67.4%, 徒歩 24.4%, 自転車 4.7%となっており、多くの人が自動車で避難している。

避難した 86 人に避難のきっかけを問うたところ、図 3.3-6 のように、津波警報や避難勧告の発表・発令を挙げる人が多かった。また、テレビ・ラジオや市役所・消防の呼びかけのほか、近所の人からの避難の呼びかけを挙げる人も比較的多かった。

一方、避難しなかった 204 人にその理由を問うたところ、図 3.3-7 のように、「大きな津波にならないと思った」、「テレビで様子を見ていた」、「近所の人誰も避難していなかった」の順に多かった。また、「体が不自由な家族がいる」や「自力での避難が無理だった」という回答もあり、要援護者の避難支援の必要性が窺える。

近所の人から避難を呼びかけられた人は 9.6%, 呼びかけられなかった人は 62.8%であった。逆に、近所の人に避難を呼びかけた人は 10.0%, 呼びかけなかった人は 79.1%であった。

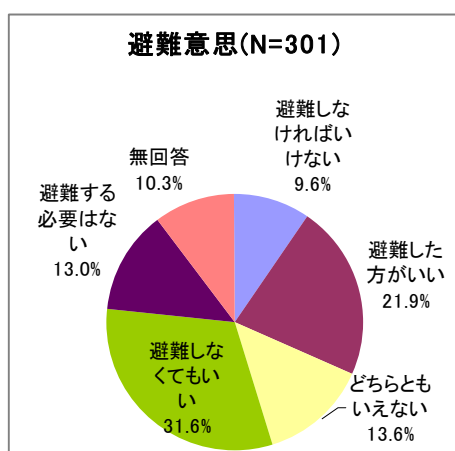


図 3.3-4 避難意思

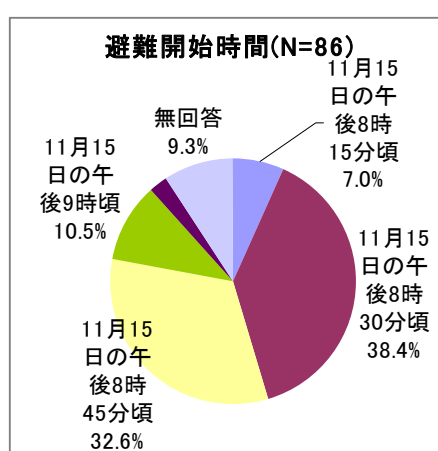


図 3.3-5 避難開始時間

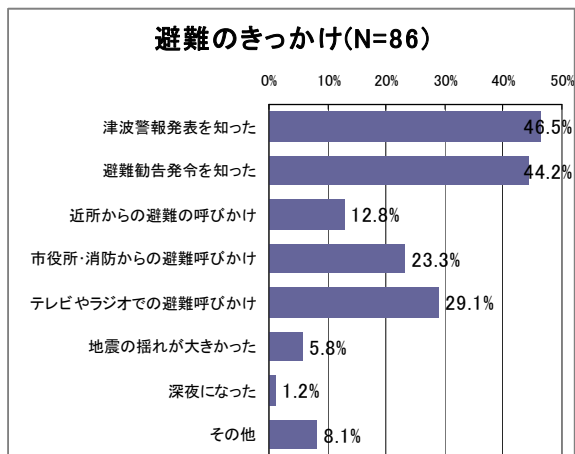


図 3.3-6 避難のきっかけ(複数回答)

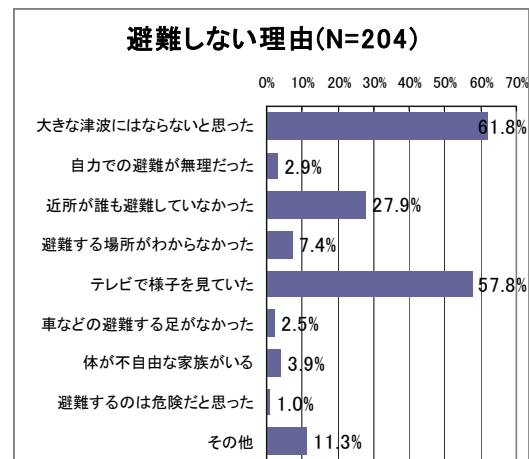


図 3.3-7 避難しなかった理由(複数回答)

津波の被災経験を質問したところ、「津波の被害を受けたことはない」が 74.1%、「昭和 27 年の十勝沖地震の津波で被害を受けた」が 5.3%、「昭和 35 年のチリ地震の津波で被害を受けた」が 5.0%などであった。また、津波以外の被災経験を尋ねたところ、「津波以外の被害を受けたことはない」が 40.9%、「地震の揺れで被害を受けた」が 27.6%などであった。津波被害の経験者は少ないものの、津波以外の地震被害の経験者は比較的多い。

津波からの避難の経験を質問したところ、「津波では避難したことがない」が 46.5%と最も多いが、11.0～17.9%の人が平成 6 年の北海道東方沖地震、平成 15 年の十勝沖地震、平成 5 年の釧路沖地震、昭和 27 年の十勝沖地震で避難している。

防災訓練については、参加したことがない人が 70.8%を占めるが、毎年参加している人が 8.6%いる。

「くしろ安心マップ」を見たことがある人の割合は 75.4%で、見たことがない人の割合(20.6%)を大きく上回った。

避難場所について尋ねたところ、「歩いて行ける距離にある」が 76.7%、「歩いて行けない距離にある」が 5.3%、「避難場所を知らない」が 12.6%であった。

また、浸水想定区域内に自宅があるか尋ねたところ、浸水想定区域内にあることを認識している人が 77.1%と多いが、わからない人が 13.6%いる。

過去に発生した甚大な災害として、大正9年の釧路川洪水で大きな被害が出たことを知っているかどうか質問したところ、「聞いたことがない」が 59.8%と多く、「よく知っている」、「聞いたことがある」はそれぞれ 3.3%、34.6%にとどまった。

他人への信頼感については、「ほとんどの人は信頼できる」が 9.6%、「信頼できる人の方が多い」が 40.9%、「どちらともいえない」が 38.2%、「信頼できない人の方が多い」が 6.3%、「ほとんどの人は信頼できない」が 1.7%であった。内閣府調査の全国平均と比べると、信頼感が高かった。

近所とのつきあいの程度については、「互いに相談、日用品の貸借をする等生活面で協力」が 13.6%、「日常的に立話程度のつきあい」が 36.2%、「あいさつ程度の最小限のつきあい」が 42.2%、「つきあいは全くしていない」が 5.6%であった。永住意向については、「永住したい」が 33.6%、「どちらかといえば永住したい」が 15.3%、「どちらともいえない」が 25.2%、「どちらかといえば永住したくない」が 8.0%、「永住したくない」が 15.9%であった。近所とのつきあいの程度、永住意向とも、内閣府調査の全国平均をやや下回っていた。

地縁活動への参加状況については、「活動していない」が 52.5%と多く、「年に数回程度」が 24.6%、「月に 1 日程度」が 7.0%などとなっていた。また、ボランティア・NPO・市民活動に参加している人の割合は、約 20%程度であった。

3)避難意思決定要因の分析

質問紙調査では、避難のきっかけや避難しない理由を尋ねているが、その回答には自分の行動を正当化するバイアスが含まれている可能性がある。避難勧告の認知などの各要因と避難行動との関係を明らかにするため、質問紙調査の回答と地理情報システムで整理された回答者の位置情報を観測変数として、共分散構造分析により避難行動の仮説を検証した。

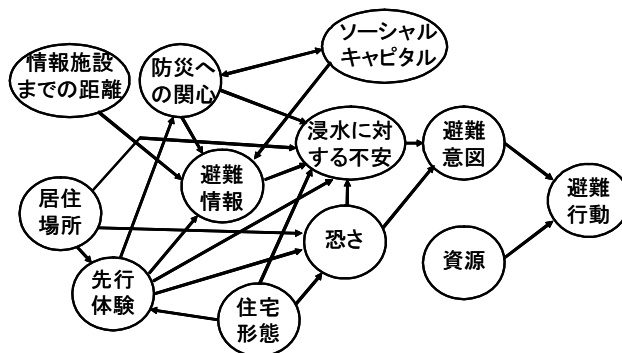


図 3.3-8 避難行動の仮説

図 3.3-8 のように、検証に用いる仮説は、先行研究^{3), 4)}を参考にして避難行動と避難意図を分け、避難意図に関わる要因を潜在変数(楕円囲み)として設定した。モデルの適合度を向上させるため、因子分析の結果を参考に各潜在変数の観測変数(図 3.3-9 の四角囲み)を絞り込むとともに、不適解となるパスを削除することで、最終的なパス図として図 3.3-9 を得た。

図 3.3-9 において、パス係数(矢印の添字)は要因間の相関を、決定係数(従属している潜在変数または観測変数の添字)は潜在変数の説明力を示している。図 3.3-9 は標準化解であるため、パス係数が 1 に近いほど要因間の相関が大きい。また、○囲みの d や e は、矢印で結ばれた潜在変数または観測変数の誤差変数である。GFI と AGFI が 0.9 を下回っていることから、モデルの適合度は高いとはいえないが、要素間の関係は推察できると考える。

パス係数に着目すると、浸水に対する不安から避難意図へ、避難意図から避難行動へ至るパスが明瞭に現れているが、避難情報の認知は浸水に対する不安や避難意図にほとんど関係していない。浸水に対する不安が避難意図に関係している点は吉井らの調査⁵⁾と一致するものであるが、その不安には先行体験と揺れの恐さが影響していた。また、避難のきっかけに関する回答とは異なり、津波警報や避難勧告の認知が避難行動にあまり影響していない傾向を窺うことができる。このほか、ハザードマップや避難場所の認知、防災訓練への参加経験は防災上重要ではあるが、防災への関心がそれだけで避難に繋がるものではない可能性がある。

避難意図には、浸水に対する不安のほか、先行体験や避難に関わる資源が比較的強く関係している。この結果から、被災経験や避難経験の共有、要援護者対策、近隣への避難場所整備が、避難を促進する上で重要と考えられる。

ソーシャルキャピタルは、防災への関心に大きく関係している。全ての観測変数について因子分析を別途行ったところ、他人への信頼を除くソーシャルキャピタルに関わる観測変数(地縁活動への参加、近所とのつきあい、永住意向)が、防災訓練への参加など防災への関心に関わる観測変数と同じ因子の影響を大きく受けていた。このことから、ソーシャルキャピタルの中でも地域への関わりを表す部分が、防災への関心を高めることを通じて避難情報の認知や避難を促している可能性がある。なお、ソーシャルキャピタルから防災への関心への矢

印を逆にしても大きなパス係数が算出されたことから、この両者には双方向に密接な関係があるものと考えられる。

以上のように、避難勧告発令時において避難情報が浸水に対する不安や避難行動にあまり繋がっていなかった可能性が示唆され、津波警報や避難勧告の認知と浸水危険性の認識との間に乖離が生じていることが窺われた。

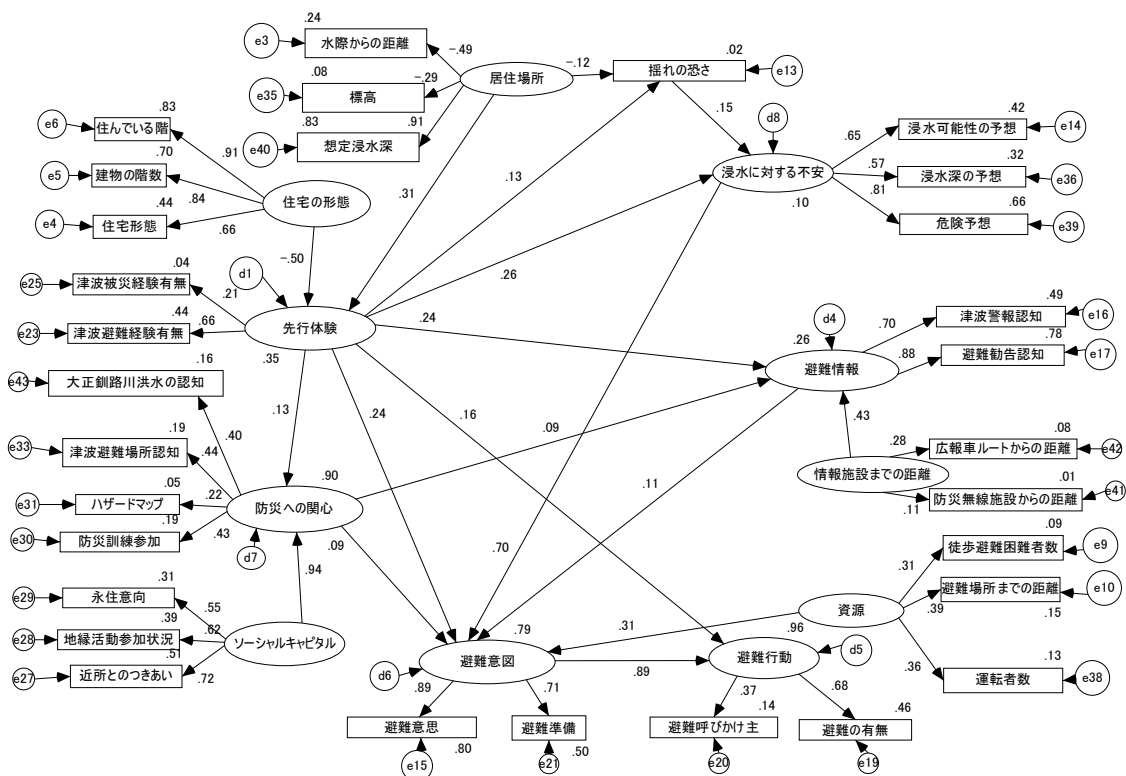


図 3.3-9 釧路市の最終モデル(標準解, GFI=0.797, AGFI=0.756, RMSEA=0.059)

(2)高潮からの避難⁶⁾

1) 調査方法

平成 19 年 8 月 2 日 18 時頃に、台風 5 号は宮崎市日向市付近に上陸した後に周防灘を北上し、3 日 1 時頃に山口県宇部市付近に再上陸した。このため、山口県の周防灘沿岸を対象に、2 日 15 時 28 分に高潮警報が発表された。この後、宇部市は同日 16 時 30 分に、平成 11 年の台風 18 号による高潮被害を受けた地域(2,100 世帯、5,200 人)について避難勧告を発令し、広報車、防災メール(約 1,300 人が登録)、電話連絡などにより避難を呼びかけた。西隣の山陽小野田市も、同日 17 時 30 分に避難勧告を発令し(対象:1,053 世帯、2,520 人)、広報車、有線放送(旧山陽町)、コミュニティ FM を通じて避難を呼びかけた。宇部では、19～24 時に風速が 10m/s 程度となり、21 時まで 10mm 未満だった降水量は 22～24 時に 15mm 以上となり、23 時 27 分に最高潮位 T.P.+2.44m を記録した(既往最高潮位:T.P.+3.51m)。この台風により、宇部市で床下浸水 8 棟の被害があった。3 日 2 時 23 分に高潮警報は高潮注意報に切り替えられ、同日 5 時 39 分に高潮注意報は解除された。これに伴い、両市の避難勧告は解除された。

この台風で避難した人と避難しなかった人を分ける要因が何か明らかにするため、宇部市と山陽小野田市の避難勧告対象地域(図 3.3-10)の住民を対象に、質問紙調査を実施した。質問紙は釧路市と同様であるが、揺

れの恐さを風・雨の恐さに替えた。

住宅の位置や形態の点で標本が偏らないようにするため、避難勧告対象地区の各町丁目について、標高帯（5段階）、住宅形態（戸建て、集合住宅）の属性を組み合わせた単位で配布対象候補世帯数を配分し、その中で調査対象世帯を無作為に抽出した。

質問紙は、平成 19 年 12 月 15～19 日に、両市とも 650 戸に、手渡し（宇部市 551 戸、山陽小野田市 527 戸）と投函により配布した。また、回答された質問紙は、送料着払いの郵送で回収した。回収率は、宇部市で 61%（398 戸）、山陽小野田市で 46%（298 戸）である。

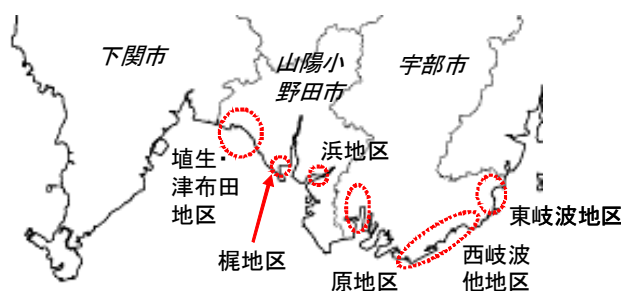


図 3.3-10 調査対象地域

なお、両市とも周防灘に面しており、昭和 17 年の周防灘台風の高潮により宇部市で 297 人、旧小野田市で 141 人が亡くなり、平成 11 年の台風 18 号の高潮では死者がなかったものの、宇部市で 840 棟、旧山陽町埴生地区で 555 棟の家屋被害があった。平成 11 年以降、設計潮位が見直され、海岸堤防・護岸の嵩上げが一部で行われている。

高潮に関する避難勧告は、両市とも、平成 17 年の台風 14 号や平成 18 年の台風 13 号でも発令されている。宇部市では、平成 11 年以降、自主防災組織の設立が進むとともに、過去の浸水区域や避難場所を示した「宇部市防災マップ」が作成されている。山陽小野田市では、想定浸水区域を示した「高潮避難地図」が順次整備され、対象地区の全戸に配布されている。

2) 調査結果

宇部市と山陽小野田市の世帯人員の傾向は似通っており、それぞれ、1 人が 12.3%と 13.8%、2 人が 40.5%と 43.3%、3 人が 23.1%と 17.4%などとなっている。また、歩いて避難することが難しい同居者がいる世帯の割合は、宇部市で 19.4%、山陽小野田市で 23.8%であった。住宅形態も同様であり、一戸建てが宇部市で 95.2%、山陽小野田市で 94.6%であり、建物の階数は平屋が宇部市で 29.4%、山陽小野田市で 21.1%、2 階建てが宇部市で 69.6%、山陽小野田市で 75.5%などとなっていた。また、一日の中で最も長く過ごすのが 1 階との回答は、宇部市で 89.4%、山陽小野田市で 89.3%であった。

回答者の位置情報を地理情報システムに入力し、回答者住居の標高、水際線（最も近い海岸線または河川）からの距離、避難所までの距離を測定した。その結果の概要は以下の通りである。

- ・回答者住居の標高は、2m 未満が宇部市で 22.1%、山陽小野田市で 3.7%、2～3m が宇部市で 14.6%、山陽小野田市で 22.5%、3～4m が宇部市で 23.9%、山陽小野田市で 41.6%などであった。

- ・海岸線からの距離は宇部市の方が長く、100m 未満が宇部市で 14.8%、山陽小野田市で 29.9%、100～200m が宇部市で 7.5%、山陽小野田市で 37.2%、200～300m が宇部市で 11.3%、山陽小野田市で 13.1%などとなっており、宇部市では 1,000m 以上が 34.4%を占めている。また、水際からの距離については、宇部市において

1,000m 以上の割合は 10.8%であった。

・指定された避難場所までの距離は宇部市の方が長く、400m 未満が宇部市で 32.9%、山陽小野田市で 68.8% などとなっている。

普通の台風より怖いと回答した人の割合は、風については宇部市で 12.8%、山陽小野田市で 19.1%、雨については宇部市で 7.3%、山陽小野田市で 15.5%に過ぎなかったが、山陽小野田市の方が風雨を恐く感じた人の割合が高かった。

自宅が「必ず水に浸かると思った」または「たぶん水に浸かると思った」人は、宇部市で 9.3%、山陽小野田市で 14.1%であった。また、自宅がどの深さまで水に浸かるかもしれないと思ったか質問したところ、「水に浸かるかもしれないと思うときはなかった」が宇部市で 49.5%、山陽小野田市で 49.0%と最も多く、次いで「自宅の周り」が宇部市で 31.2%、山陽小野田市で 26.8%と多く、床下以上の浸水については宇部市で 17.3%、山陽小野田市で 21.5%に留まった。さらに、命の危険性については、「避難しないと絶対助からないと思った」または「避難しないと助からないかもしれないと思った」人の割合は宇部市で 1.6%、山陽小野田市で 5.3%である。このように、台風接近時において、浸水の可能性や命の危険性を感じた人はごく少数であったが、山陽小野田市の方が危険側の予想をしていた。

高潮警報が発表されたことを、知っていた人が宇部市で 65.8%、山陽小野田市で 71.1%であった。知っていた人に警報の認知手段を複数回答可として回答を得たところ、広報車・消防車が宇部市で 57.6%、山陽小野田市で 59.0%、テレビが宇部市で 52.7%、山陽小野田市で 60.8%、近所の人が宇部市で 12.6%、山陽小野田市で 16.5%、ラジオが宇部市で 13.4%、山陽小野田市で 9.4%などであり、山陽小野田市では有線放送が 9.9%であった。

避難勧告が発令されたことを、知っていた人が宇部市で 65.3%、山陽小野田市で 66.1%であった。その認知手段(複数回答可)は、広報車・消防車が宇部市で 64.2%、山陽小野田市で 67.5%、テレビが宇部市で 42.3%、山陽小野田市で 47.2%、近所の人が宇部市で 17.7%、山陽小野田市で 21.8%、ラジオが宇部市で 10.4%、山陽小野田市で 9.6%などであり、山陽小野田市では有線放送が 10.7%であった。警報と同様の傾向であるが、警報と比べて、テレビの割合が少なく、広報車・消防車、近所の人という地域の伝達手段の割合が若干多くなっている。

避難勧告認知の有無を問わず、台風接近時に避難しようと思ったかどうか質問したところ、「避難しなければいけないと思った」と「避難した方がいいと思った」を合わせた割合は、宇部市で 12.6%、山陽小野田市で 21.8%であった。

また、避難を準備したかどうか質問したところ、「避難場所がどこか確認し、持ち出す荷物を整理した」が宇部市で 14.8%、山陽小野田市で 29.9%、「避難場所がどこか確認したが持ち出す荷物の整理はしなかった」が宇部市で 21.4%、山陽小野田市で 21.8%、「避難の準備をしなかった」が宇部市で 60.8%、山陽小野田市で 46.0%であった。

避難した人は宇部市で 9.0%、山陽小野田市で 18.8%であり、その割合は自宅が水に浸かるかもしれないと思った人の割合とほぼ一致している。

避難した人(宇部市 36 人、山陽小野田市 56 人)にその開始時間を問うたところ、午後 5 時頃が宇部市で 30.6%、山陽小野田市で 35.7%、午後 6 時頃が宇部市で 25.0%、山陽小野田市で 25.0%、午後 7 時頃が宇部市で 22.2%、山陽小野田市で 17.9%などとなっている。両市とも、避難勧告の発令から 2 時間以内に、避難した人の半数以上が避難している。

同様に避難の交通手段については、自動車が宇部市で 83.3%、山陽小野田市で 66.1%、徒歩が宇部市で 8.3%、山陽小野田市で 21.4%などとなっており、山陽小野田市の方が徒歩の割合が高い。

避難した人に避難のきっかけを問うたところ、表 3.3-1 のように、避難勧告や高潮警報の発令、風が強くなってきたこと、市役所・消防の呼びかけを挙げる人が多かった。一方、避難しなかった人にその理由を問うたところ、表 3.3-2 のように、「高潮にはならないと思った」、「テレビで様子を見ていた」、「近所の人が誰も避難していなかった」、「風雨の中の避難は危険だと思った」の順に多かった。

表 3.3-1 避難のきっかけ(複数回答)

回答	宇部市(%)	山陽小野田市(%)
高潮警報の発表を知った	22.2	25.0
避難勧告の発令を知った	27.8	53.6
近所の人の避難の呼びかけ	5.6	10.7
市役所・消防の避難の呼びかけ	30.6	28.6
テレビ・ラジオの避難の呼びかけ	2.8	16.1
風が強くなってきた	27.8	35.7
雨が強くなってきた	11.1	21.4
外が暗くなってきた	0.0	3.6
その他	11.1	10.7
無回答	8.3	1.8

表 3.3-2 避難しなかった理由(複数回答)

回答	宇部市(%)	山陽小野田市(%)
高潮にはならないと思った	53.9	52.1
自力での避難が無理だった	3.1	2.1
近所の人が避難していなかった	29.4	28.2
避難する場所がわからなかった	3.1	1.3
テレビで様子を見ていた	42.5	37.0
車など避難する足がなかった	3.6	4.2
体が不自由な家族がいる	3.6	6.3
風雨の中の避難は危険だと思った	15.8	22.7
その他	13.9	17.6
無回答	2.8	2.1

近所の人から避難を呼びかけられた人は宇部市で 16.6%、山陽小野田市で 24.2%であった。逆に、近所の人に避難を呼びかけた人は宇部市で 12.8%、山陽小野田市で 20.5%であった。山陽小野田市の方が避難の呼びかけ合いが行われていた。

高潮の被災経験を質問したところ、「高潮の被害を受けたことはない」が宇部市で 39.2%、山陽小野田市で 30.9%、「平成 11 年の台風 18 号の高潮で被害を受けた」が宇部市で 41.2%、山陽小野田市で 58.1%、「昭和 17 年の周防灘台風の高潮で被害を受けた」が宇部市で 15.3%、山陽小野田市で 16.8%などであった。平成 11 年の台風 18 号による高潮被害の経験者が半数程度を占めている。また、高潮以外の被災経験を尋ねたところ、「高潮以外の被害を受けたことはない」が宇部市で 53.3%、山陽小野田市で 59.7%、「大雨で浸水被害を受け

た」が宇部市で 15.8%, 山陽小野田市で 6.4%などであった。

高潮からの避難の経験については、「高潮では避難したことがない」が宇部市で 68.1%, 山陽小野田市で 47.3%と多いが、5.5%~24.2%の人が昭和 17 年の周防灘台風, 平成 11 年の台風 18 号, 平成 17 年の台風 14 号, 平成 18 年の台風 13 号で避難している。

防災訓練に参加したことがない人は宇部市で 76.9%, 山陽小野田市で 71.8%を占めている。

宇部市において「宇部市防災マップ」を見たことがある人は 56.5%, 山陽小野田市において「高潮避難地図」を見たことがある人は 61.4%であった。

避難場所については、「歩いて行ける距離にある」が宇部市で 71.1%, 山陽小野田市で 73.8%, 「歩いて行けない距離にある」が宇部市で 13.1%, 山陽小野田市で 15.8%, 「避難場所を知らない」が宇部市で 11.8%, 山陽小野田市で 3.4%であった。

また、浸水想定区域内に自宅があることを認識している人が宇部市で 53.5%, 山陽小野田市で 60.7%であるが、自宅が浸水想定区域内かどうかわからない人が宇部市で 33.9%, 山陽小野田市で 23.5%いた。

過去の甚大な災害として、昭和 17 年の周防灘台風で大きな被害が出たことを知っているかどうか質問したところ、「よく知っている」と「聞いたことがある」を合わせた割合は、宇部市で 80.9%, 山陽小野田市で 87.2%を占めた。

他人への信頼感については、「ほとんどの人は信頼できる」が宇部市 19.8%, 山陽小野田市 21.1%, 「信頼できる人の方が多い」が宇部市 37.7%, 山陽小野田市 36.6%, 「どちらともいえない」が宇部市 31.2%, 山陽小野田市 27.2%, 「信頼できない人の方が多い」が宇部市 4.5%, 山陽小野田市 8.1%, 「ほとんどの人は信頼できない」が宇部市 3.0%, 山陽小野田市 1.7%であった。内閣府調査の全国平均と比べると、信頼感が高かった。

近所とのつきあいの程度については、「互いに相談、日用品の貸借をする等生活面で協力」が宇部市 16.1%, 山陽小野田市 26.5%, 「日常的に立話程度のつきあい」が宇部市 60.6%, 山陽小野田市 51.7%, 「あいさつ程度の最小限のつきあい」が宇部市 20.4%, 山陽小野田市 17.4%, 「つきあいは全くしていない」が宇部市 0.5%, 山陽小野田市 0.7%であった。永住意向については、「永住したい」が宇部市 44.5%, 山陽小野田市 52.7%, 「どちらかといえば永住したい」が宇部市 20.4%, 山陽小野田市 12.8%, 「どちらともいえない」が宇部市 20.1%, 山陽小野田市 15.4%, 「どちらかといえば永住したくない」が宇部市 7.0%, 山陽小野田市 7.0%, 「永住したくない」が宇部市 5.5%, 山陽小野田市 7.4%であった。近所とのつきあいの程度、永住意向とも、内閣府調査の全国平均を上回っていた。

地縁活動への参加状況については、「年に数回程度」が宇部市 41.5%, 山陽小野田市 36.9%と最も多く、「活動していない」が宇部市 29.6%, 山陽小野田市 29.2%, 「月に 1 日程度」が宇部市 9.8%, 山陽小野田市 9.1%などとなっていた。地縁活動への参加状況についても、全国平均より高かった。

3)避難意思決定要因の分析

釧路市での調査と同様に、避難行動に関わる要因間の関係について仮説を立て、質問紙調査の回答と地理情報システムで整理された回答者の位置情報を観測変数として、共分散構造分析で仮説を検証した。

検証に用いる仮説は、釧路市と同様に、避難行動と避難意図を分け、避難意図に関わる各要因を潜在変数(楕円囲み)として設定し、各潜在変数について観測変数を設定した。たとえば、避難意図には浸水に対する不安と風雨の恐さが関係するものとし、浸水に対する不安には風雨の恐さ、避難情報、防災への関心、住宅形態、先行体験、居住場所が関係しているものとした。また、各潜在変数について観測変数(図 3.3-11~12 の四角囲み)を設定した上で、因子分析の結果を参考に観測変数を絞り込むとともに、不適解となるパスを削除することで、最終的なパス図(図 3.3-11~12)を得た。GFI と AGFI が 0.9 を下回り、RMSEA が 0.05 を上回っていること

から、モデルの適合度は高いとはいえないが、要素間の関係は推察できると考える。

パス係数に着目すると、両市とも、「台風に対する恐さ→浸水に対する不安→避難意図→避難の有無(避難行動)」というパスが明瞭に現れているが、避難情報の認知は浸水に対する不安や避難意図にほとんど関係していない。表 3.3-1 とは異なり、高潮警報や避難勧告の認知が避難行動にあまり影響していない傾向を窺うことができる。また、ハザードマップや避難場所の認知、防災訓練への参加経験などの防災への関心は、両市とも、避難情報の認知に繋がっているが、避難意図には直接関係していない。

宇部市では、浸水に対する不安のほか、高潮の避難経験や避難に関わる資源が避難意図に比較的強く関係している。この結果から、避難訓練、要援護者対策、近隣への避難場所整備が、避難を促進する上で重要と考えられる。一方、山陽小野田市では、避難に関わる資源が避難意図と関係していないが、避難場所までの距離が比較的短いことによりその効果が現れにくかったためと推察される。

ソーシャルキャピタルは、防災への関心を高めることを通じて避難情報の認知を促しており、避難に繋がる防災活動の礎として機能している可能性が示唆された。また、ソーシャルキャピタルから防災への関心への矢印を逆にしても大きなパス係数が算出されたことから、この両者には双方向に密接な関係があるものと考えられる。

以上のように、釧路市と宇部市・山陽小野田市との間で、津波と高潮で事象は異なるものの、「浸水に対する不安→避難意図→避難行動」というパス、避難勧告等の避難情報が避難行動にあまり影響していないこと、ソーシャルキャピタルと防災への関心との間に双方向の関係があることが共通していた。

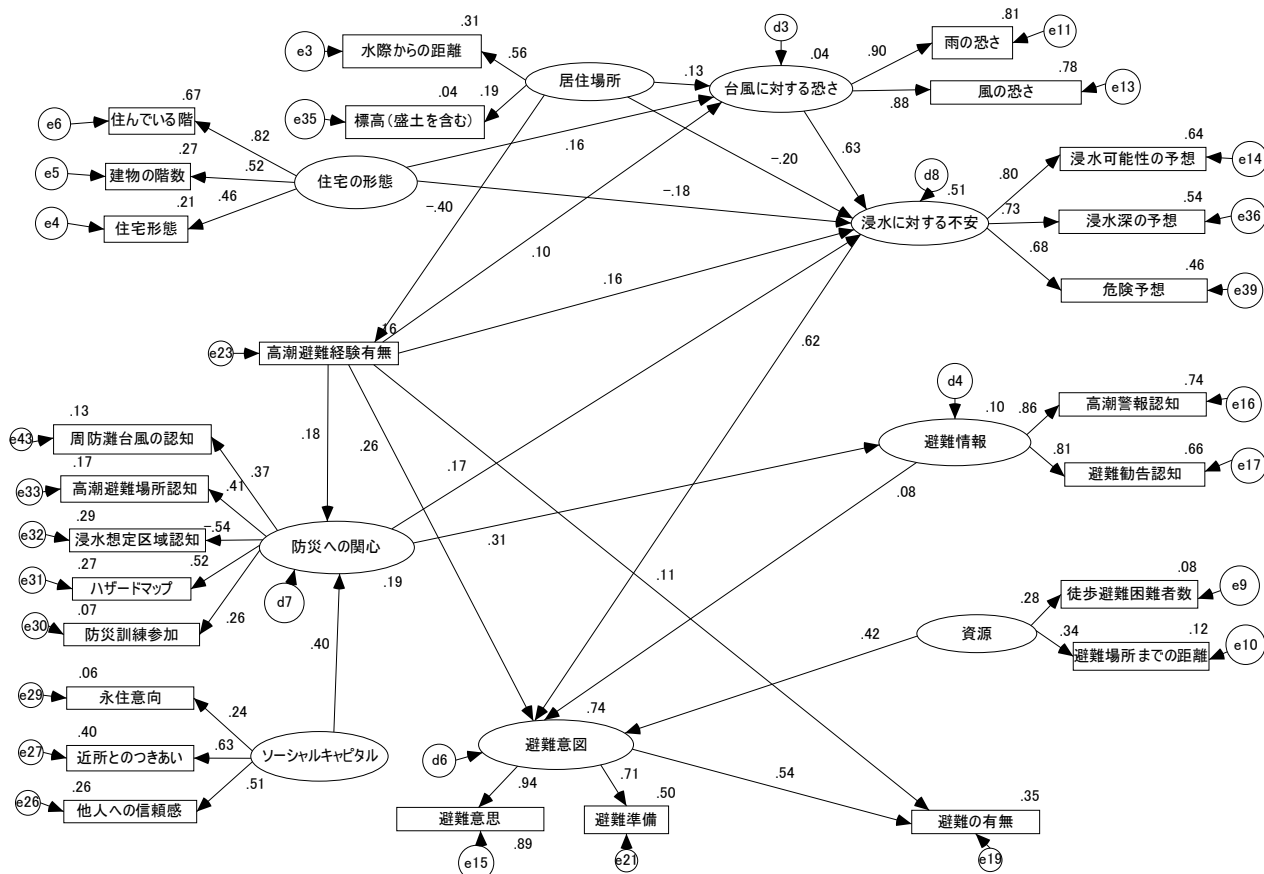


図 3.3-11 宇部市の最終モデル(標準解, GFI=0.797, AGFI=0.756, RMSEA=0.059)

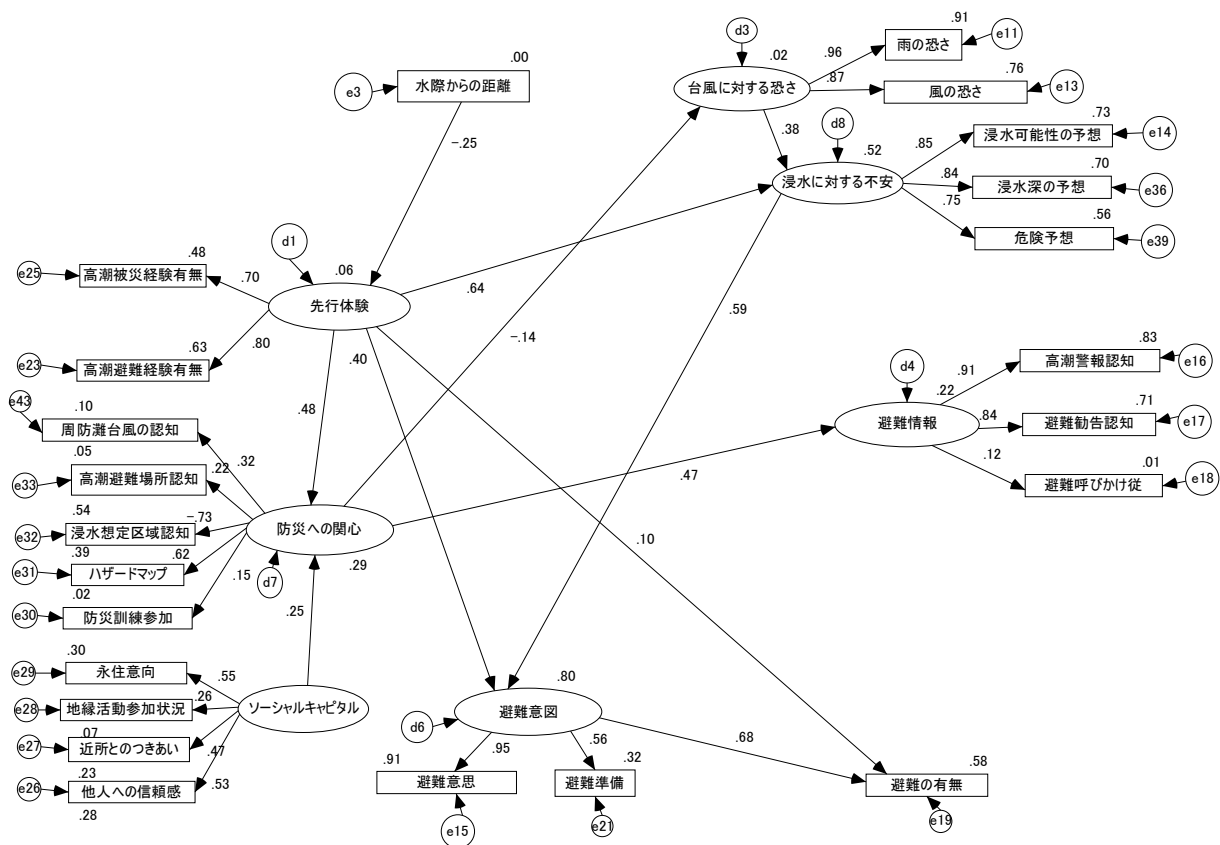


図 3.3-12 山陽小野田市の最終モデル(標準解, GFI:0.797, AGFI:0.747, RMSEA:0.077)

3.3.4 避難促進施策の試行と効果分析⁷⁾

1) ワークショップの概要

質問紙調査で解明された避難意思決定要因をふまえて、北海道釧路市において津波避難ワークショップを試行し、その効果を検証した。ワークショップとは、主体的に参加し、個人ではなくグループで、聴講だけでなく体験を通じて学習する形態であり、ハザードマップの単なる配布等と比べて避難促進の効果が高いと考えられる。

図 3.3-9 を踏まえて、図 3.3.13 のようにワークショップの重点事項を整理した。

- ・避難意図・行動に関係している被災経験を擬似的に得るため、市内で撮影した写真に想定津波による浸水の様子を合成した動画を作成し、ワークショップで説明する。津波の遡上状況がわかる映像は、スマトラ沖地震後に何度も目にする機会があったが、釧路市でも津波による浸水が想定されていることが一目でわかるように、釧路市民に馴染み深い釧路川の幣舞橋周辺を対象とした(図 3.3-14)。また、釧路市に津波が来襲したことがあることを周知するため、多数の市民が避難した昭和 27 年の十勝沖地震などの体験談を参加者や地域で共有できるように絵としてまとめる。被災体験を絵にすることは木村・林⁸⁾によって行われているが、その作業をワークショップの中で行うことで、想定されている災害を自身や地域の問題として認識することに繋がると考えた。
- ・避難行動に関係していなかった津波警報や避難勧告について、その発令時の危険性について説明することで、浸水に対する不安や避難意図を高める。
- ・近所づきあいや地域活動が防災にも寄与することを理解し、その活動を促す。

なお、ワークショップの意味がわかりにくいとの指摘が自主防災会役員からあったことから、「津波からの避難に関する座談会」と称してワークショップを開催した。

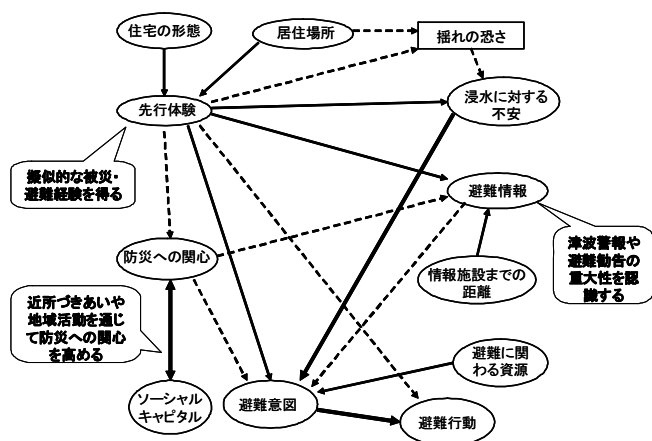


図 3.3-13 避難意思決定要因とワークショップの重点事項



図 3.3-14 津波遡上動画の一場面

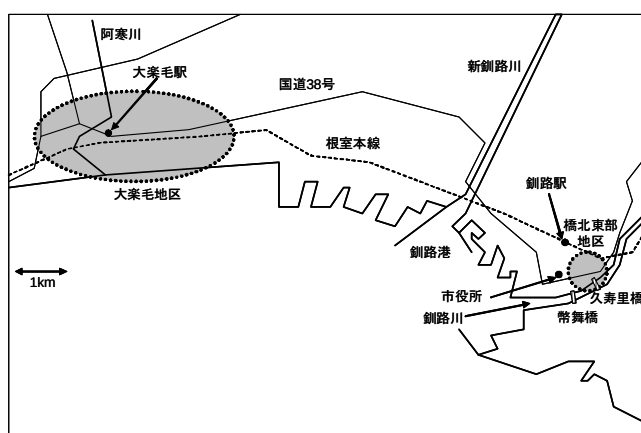


図 3.3-15 対象地区の位置

ワークショップは、釧路川右岸の橋北東部地区と阿寒川河口近くの大楽毛地区において(図 3.3-15)、自主防災組織の協力のもと、表 3.3-3 のように各3回実施した。参加人数を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-3 ワークショップの内容

回	内容
第1回 (2008年11月)	ワークショップの目的・構成(説明) 浸水危険性の説明(過去の津波、浸水想定、津波遡上動画など) 避難情報の意味説明(津波警報、避難勧告) 2006年11月千島列島沖地震における釧路市民の避難実態(説明) 浸水想定区域および津波避難体験の地図表示(白地図(図-3)を囲んで討議)
第2回 (2009年1月)	前回ワークショップの概要説明 津波避難体験の復元画案についての討議 正常化の偏見(説明)
第3回 (2009年2月)	前回ワークショップの概要説明 津波避難体験の復元画案についての討議 避難しない理由に対応した避難必要性説明

表 3.3-4 ワークショップの参加者

地区	第1回	第2回	第3回
大楽毛	18 人	15 人(うち 12 人が連続参加)	15 人(うち 12 人が連続参加)
橋北東部	27 人	33 人(うち 18 人が連続参加)	21 人(うち 9 人が連続参加)

第1回ワークショップでは、ワークショップの目的や構成を紹介した後、昭和27年の十勝沖地震などの過去の津波、想定されている津波(動画)、津波警報や避難勧告の意味、平成18年11月の千島列島沖地震における釧路市民の避難実態について説明した。その後、対象地区の白地図を参加者で囲み、ハザードマップに書かれている想定浸水区域を確認し、自由に発言された津波の体験談などを白地図に記入した。ワークショップの後、その体験談の場面を事務局で白黒のスケッチを作成した。

第2回ワークショップでは、第1回ワークショップでの議論を紹介した後、事務局で作成した体験談のスケッチを叩き台として、過去の津波の場面について話し合った。その後、正常化の偏見について説明し、それが避難を妨げる要因の一つになっていることを伝えた。その結果をふまえ、ワークショップの後、カラーの復元画を事務局で作成した。

第3回ワークショップでは、前回までの議論を紹介した後、カラーの復元画を紹介して、最終的な確認を行った。また、避難しない理由として「津波警報が出てもいつも大したことがない」、「高さ1mの波ならいつも来ている」、「揺れが小さいから津波も小さい」、「テレビで様子を見ているから大丈夫」を取り上げ、それでも避難する必要性があることを説明した。

郊外に位置する大楽毛地区では、昭和27年の十勝沖地震や昭和35年のチリ地震の体験談はなかったものの、平成6年の北海道東方沖地震などにおいて、停電によって根室本線の遮断機が降りたままになる一方、釧路空港方面に避難する車で国道38号が渋滞し、それらが避難の支障になったことが聞かれたので(図3.3-16)、その場面を絵にすることとした(図3.3-17)。第2回以降では、遮断機や渋滞により車での避難が難しいことをふまえ、近所の避難場所への避難について議論がなされた。

古くからの市街地で集合住宅が多い橋北東部地区では、昭和27年の十勝沖地震や昭和35年のチリ地震における避難体験や釧路川での津波の挙動について、多数の体験談が得られた(図3.3-18)。それをふまえて、市役所があった高台への避難の様子や、釧路川に架かる久寿里橋の被災状況(図3.3-19)を絵にした。議論の中では、津波がやって来る方向に避難場所がある、廃校となった小学校を避難場所として活用できないかななどの意見が出された。

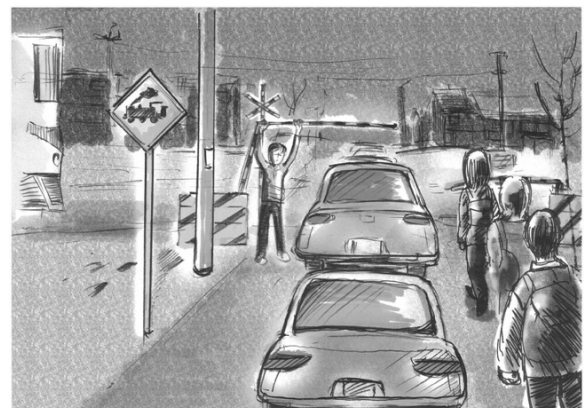
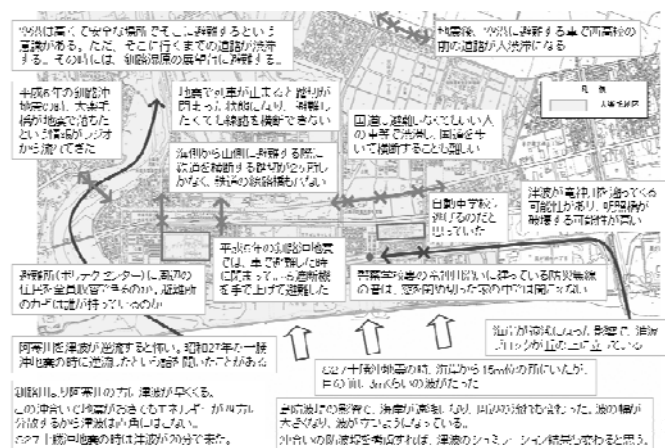


図 3.3-16 白地図に書き込まれた体験談(大楽毛地区) 図 3.3-17 作成された復元画(遮断機が降りた踏切)

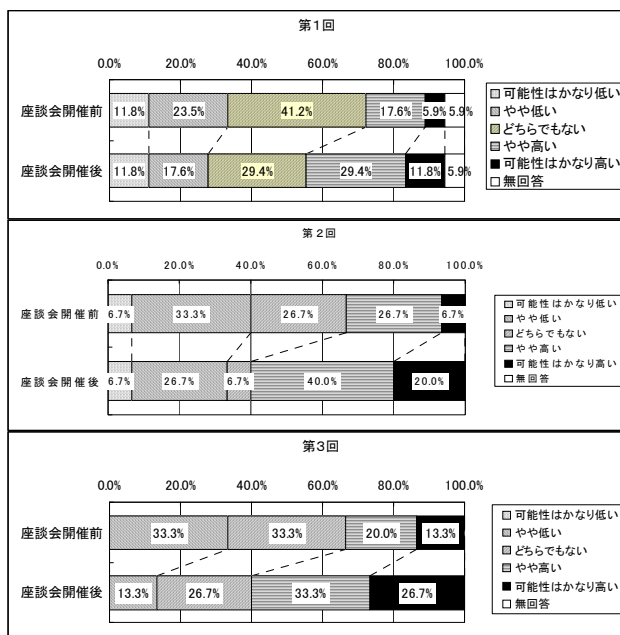


図 3.3-20 大楽毛地区における浸水可能性の認識

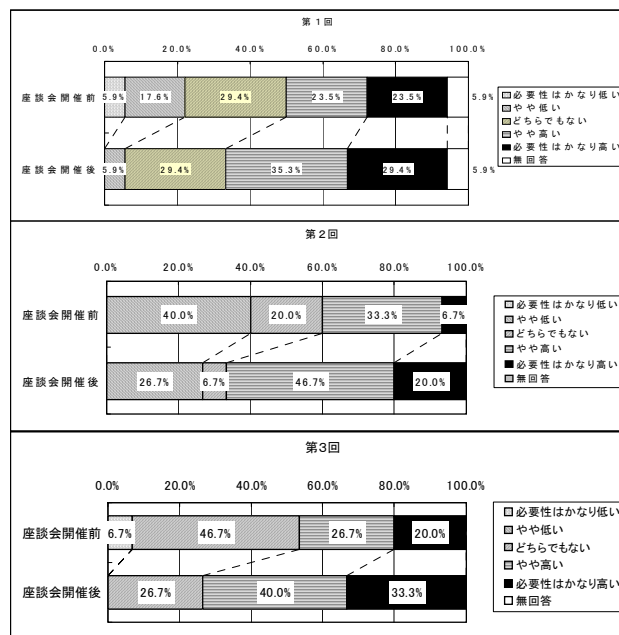


図 3.3-21 大楽毛地区における避難必要性の認識

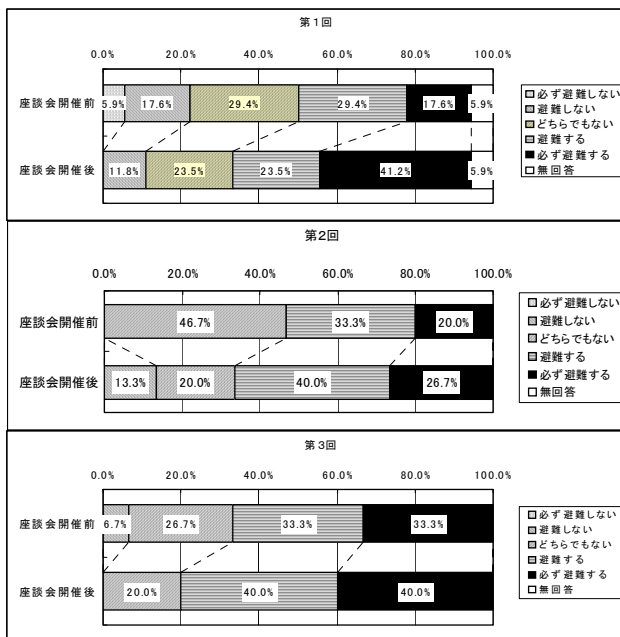


図 3.3-22 大楽毛地区における避難意向

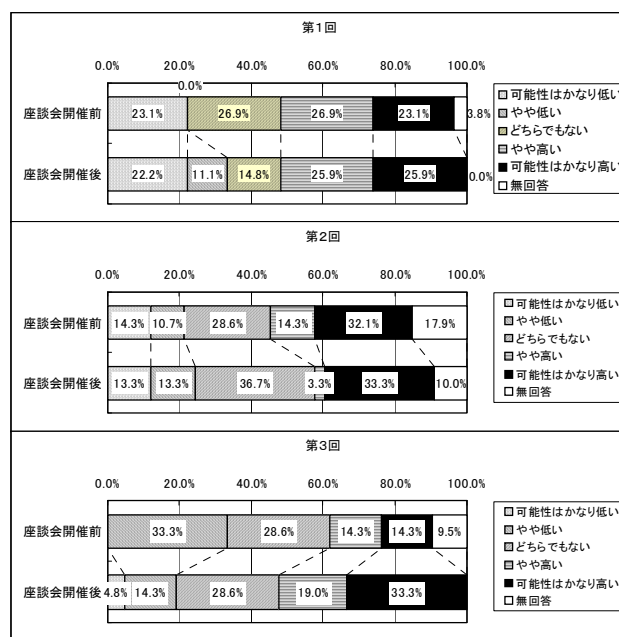


図 3.3-23 橋北東部地区における浸水可能性の認識

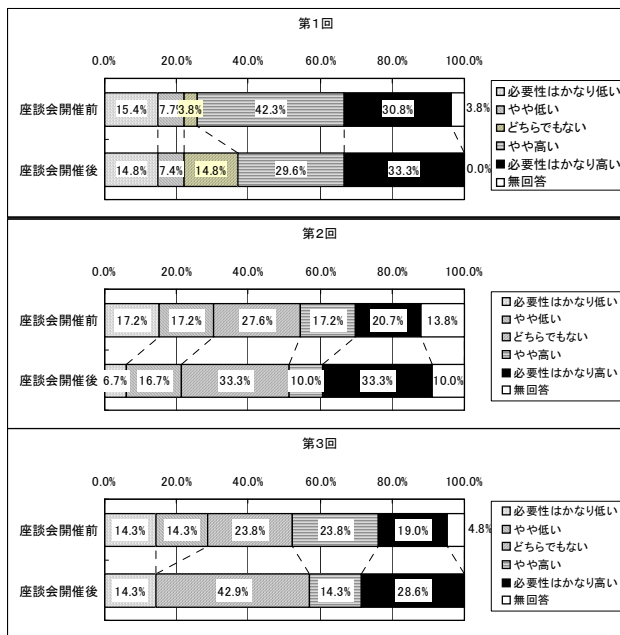


図 3.3-24 橋北東部地区における避難必要性の認識

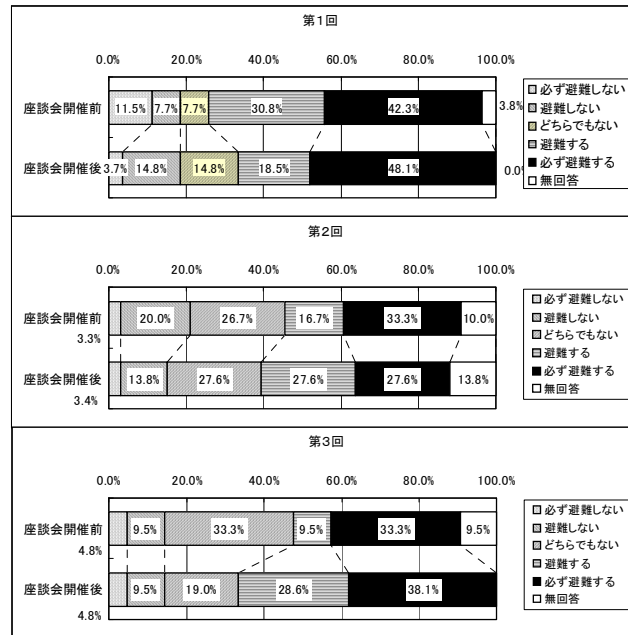


図 3.3-25 橋北東部地区における避難意向

3)まとめ

本調査で得られた主な結論は以下の通りである。

- ・対象地域での避難意思決定要因に基づいて津波からの避難に関するワークショップを企画することで、避難勧告発令時の避難意向を高めることができた。
- ・擬似的な被災・避難経験を得る方法の一つとして、想定されている津波の遡上状況を表す動画を作成するとともに、過去の津波来襲時における状況を復元画として表し、ワークショップに活用できることを確認した。
- ・ワークショップによっては参加者の避難意向を弱めてしまうが、効果分析を通じて次回の内容を改善することで所要の成果が得られることを確認した。

3.3.5 避難意思決定要因に基づく避難促進施策の進め方

本研究で対象とする避難促進施策は、高潮や津波からの住民の適切な避難を促すことを目的にして、市町村や自主防災会等が住民を対象に実施する施策と定義する。

避難促進施策の試行結果をふまえて、避難促進施策の進め方の要点を図 3.3-26 のように整理した。避難促進施策の形態は、ワークショップ、防災教育、避難訓練など様々であるが、各施策は目的達成の一手段として位置づけられる。

最初に、対象地域の特性を把握する必要がある。干拓や築堤等の地形的な変化や都市化等の社会的な変化など、現在の地域が成り立つまでの歴史的な経緯は、対象地域の災害と大きく関係している。また、高潮、津波、洪水等の災害履歴を近世にまで遡って把握するとともに、近年における高潮等からの避難実態を確認する。さらに、自主防災組織や自治会など地域防災に関わる住民組織等の活動状況を把握する。

次に、対象地域の自治会長へのヒアリング等により、避難行動に関する課題を抽出する。課題の例としては、下記のようなものが考えられる。

- ・避難勧告が発令されても避難しない住民が多い
- ・避難場所を知らない住民が多い
- ・避難に際し援護が必要な住民がいる

- ・防災に限らず地域への住民の関心が低い

抽出された課題について、対象地域の住民を対象とした質問紙調査やヒアリング等により、避難行動に関わる実態把握を行う。把握する項目については、3.3.3 で示した質問紙調査の項目のように、避難勧告発令時の避難意思とその決定要因、想定されている高潮・津波の危険性認識、避難勧告や津波警報等の重大性の認識、防災への関心に繋がる地域活動への関心等が考えられる。

把握された避難意思決定要因に基づいて避難促進施策を企画し、その効果検証を通じて避難促進施策を改善しながら課題の解決を図る。想定されている災害を自分の問題として住民が捉えられるように、ハザードマップのような地図表示だけでなく、想定されている災害のイメージを身近な景色に表示する方法が有効である。また、施策を継続する上でソーシャルキャピタルは大きな役割を果たすと考えられることから、防災以外の面においてもソーシャルキャピタルの蓄積が求められる。さらに、過去の災害経験を非経験者が想像できるように、経験談を掘り起こし、それらを図化することも効果的である。避難促進施策の後には、参加者に伝えたかったことが伝わったかどうかを確認し、伝わっていなければ伝え方を改善して繰り返し伝える必要がある。

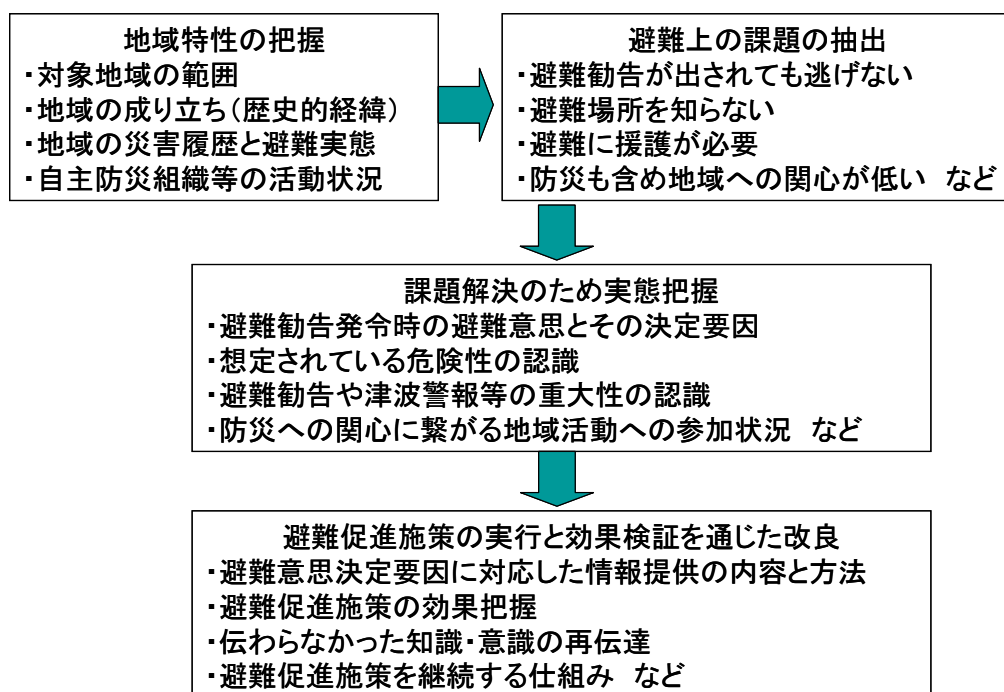


図 3.3-26 避難促進施策の進め方の要点

3.3.6 まとめと今後の課題

高潮・津波に関して、住民の避難意思決定における各要因の影響について質問紙調査を行い、浸水に対する不安や先行体験が避難行動に繋がっているものの、避難勧告等の避難情報が浸水に対する不安や避難行動にあまり繋がっていないことなどを明らかにした。その上で、このような要因をふまえた住民ワークショップを試行し、その避難促進効果を確認した。これらの検討成果をふまえて、避難意思決定要因に基づく避難促進施策の進め方を提案した。

ワークショップ等の避難促進施策は、実施直後の効果が確かめられたが、その効果がどの程度持続するのかが明らかになっていない。ワークショップを試行した地域での追跡調査により効果の持続性を測定し、効果持続性が高い避難促進施策の進め方について検討する予定である。

謝辞

質問紙調査については釧路市総務部総務課, 釧路市消防本部, 宇部市総務部防災課, 山陽小野田市総務部総務課に, ワークショップについては釧路市消防本部, 山陽小野田市総務部総務課に, ご協力をいただいた. 釧路市連合防災推進協議会からは, その独自の意識調査結果をご提供いただくとともに, ワークショップの開催にご協力いただいた. 宇部市西岐波校区自主防災会には, 地域での取り組みを教えていただいた. 山陽小野田市下村東自主防災会には, ワークショップの開催にご協力いただいた. 北海道総務部危機対策局防災消防課, 山口県土木建築部港湾課から地形データおよび津波想定データを提供していただいた. 釧路市の歴史については, 釧路短期大学生涯教育センターの佐藤宥紹教授からご指導をいただいた. 質問紙の設計では, 京都大学防災研究所巨大災害研究センターの林春男教授にご指導いただくとともに, 新潟大学災害復興科学センターの田村圭子教授にご助言をいただいた. さらに, 質問紙調査の回答者やワークショップの参加者には貴重な時間を割いていただいた. ここに記して謝意を表します.

【参考文献】

- 1) 加藤史訓, 諏訪義雄, 林春男:2006 年千島列島沖地震における津波からの避難の意思決定, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.865-870, 2009 年
- 2) 内閣府国民生活局:平成 14 年度内閣府委託調査「ソーシャルキャピタル:豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて」, http://www.npo-homepage.go.jp/data/report9_1.html, 2003 年
- 3) Tatsuki, S., Hayashi, H., Zoleta-Nantes, D. B., Banba, M., Hasegawa, K., and Tamura K.: The Impact of risk perception, disaster schema, resources, intention, attitude, and norms upon risk aversive behavior among Marikina City residents: Structural equation modeling with latent variables, [http://tatsuki-lab.doshisha.ac.jp/~statsuki/papers/ACEE2004/Tatsuki%20ACEE %20Paper_2003-12-15_.pdf](http://tatsuki-lab.doshisha.ac.jp/~statsuki/papers/ACEE2004/Tatsuki%20ACEE%20Paper_2003-12-15_.pdf), 2004 年
- 4) Fishbein, M. and Ajzen, I.: Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research, <http://people.umass.edu/aizen/f&a1975.html>, 1975 年
- 5) 吉井博明, 田中 淳, 中村 功, 中森広道, 三上俊治:住民に対する津波避難アンケート調査, 2003 年(平成 15 年)十勝沖地震に関する緊急調査研究報告書(平田直編), 21p., 2004 年
- 6) 加藤史訓, 諏訪義雄, 林春男:2007 年台風 5 号接近時における高潮からの避難の意思決定, 海洋開発論文集, Vol.25, pp.825-830, 2009 年
- 7) 加藤史訓, 諏訪義雄, 桜井 厚, 安藤 章, 川除隆広:避難意思決定要因に基づく津波避難ワークショップの効果分析, 海岸工学論文集, 第 56 巻, pp.1356-1360, 2009 年
- 8) 木村玲欧, 林 能成:地域の被災体験を収集し共有するための手法開発 ―東南海地震と三河地震を例とした愛知県三河地域での取り組み―, 東京大学地震研究所技術研究報告, No. 10, pp.12-20, 2004 年

4. 研究全体のまとめと今後の課題

国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究（平成 18～20 年度）」の研究成果について、災害分野ごとに以下にまとめる。

（1）土砂災害

- ・土石流の氾濫モデル及び住民の避難行動モデルを組み込んだ土石流による土砂災害リスクの評価手法を開発した。本研究で開発したリスク評価手法は従来考慮できていなかったソフト対策の効果も取り込むことが可能となり、土石流対策を効率的に進めるために有益なツールとなると考えられる。
- ・約 19,000 件のがけ崩れ災害の実態データをもとに、地質特性を考慮した斜面崩壊の発生頻度モデルと、斜面崩壊による物的・人的損失を予測評価する損失予測モデルを作成した。これら 2 つのモデルで構成する降雨で発生する斜面崩壊のリスク評価モデルを開発した。がけ崩れ危険箇所は 113,000 箇所以上存在しており、開発した個々のがけ崩れ危険箇所の災害リスクを分析する手法は整備の優先順位を検討する上で有益な手法となると考えられる。

（2）水害

- ・中小河川に対する治水安全度評価手法として、雨量・水位や測量データの整備が不十分な中小河川において航空レーザ測量データをもとに治水安全度を評価するシステムを開発した。本研究成果については、平成 19 年に全地方整備局への説明会を開催し、普及を図るとともに、一級河川指定区間における安全度評価結果を、平成 21 年 4 月現在、71/109 水系を対象に、国土技術政策総合研究所の Web サイトに公表している。
- ・被害額算定に必要なデータサンプルの充実と、具体的な被害額の算定方法が整備されていなかった経済的波及被害に対する被害額算定手法を提案し、治水経済調査マニュアルの改訂に活用できる。
- ・平成 16～20 年に発生した水害実態調査を行い、従来の治水経済調査マニュアル(案)で考慮されてきた 15 地域に対してさらに 6 地域の災害実態データを追加し、直接被害額の算定に必要な被害率や原単位の調査サンプルの充実を図った。また、空間的应用一般均衡モデルと産業連関表を用いた被災事業所の営業停止による被災地以外への波及被害の算定手法を作成した。

（3）地震・津波複合災害

- ・地震及びこれに続く津波により施設に生じる被害想定手法としては、地震と津波の影響を複合的に受けた場合の施設ごとの構造被災度と浸水・がれき等による地域への影響度の評価手法を構築した。個別の海岸・港湾・河川・道路施設を対象とする公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル(案)を作成しており、本マニュアル案については、現場の実務において活用されている。

（4）災害時対応

- ・復旧機材や復旧期間の想定等、地震と津波による被害想定に基づき被害軽減策として実施すべき事項をまとめた道路管理者における地震・津波対策検討マニュアル(案)を作成した。
- ・既往の災害により課題や教訓に基づいた震後対応能力を高めるための地震防災訓練方法を手引きとして提案するとともに、平成 21 年 3 月に本省道路防災対策室と国総研の連名で地方整備局・事務所に配布した。
- ・津波・高潮に関する避難勧告が発令されても避難しない住民が多いことから、これまで十分に把握されてこなかった避難意思決定要因を解明し、この要因に基づく避難促進施策の進め方を提案

した.

今後、引き続き以下の研究に取り組んでいく必要があると考えている.

- 1) 提案手法の検証, 精度向上のためのデータ蓄積と手法の高度化, それに基づく防災対策事業の合理化の支援策の提案
- 2) 災害に対する地域全体の防災力向上の観点での研究開発
 - ・ソーシャルキャピタルの特性に応じた地域防災力向上方策
 - ・複合災害（マルチハザード）のリスク評価と防災事業の効率化

「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究」

研究成果一覧

1. 研究成果の概要

研究目的	対象災害	研究成果
1. 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化	(1) 土砂災害	①氾濫モデル・住民の避難行動モデルを組み込んだ土石流災害リスク評価手法を開発
		②19,000 件のデータに基づく発生頻度と損失予測に基づく斜面崩壊リスク評価手法を開発
	(2) 水害	①データ整備が不十分な中小河川において航空レーザ測量データに基づく治水安全度評価システムを開発
		②市町村等職員の活用を意図した GIS データの取り込み・解析から表示までの洪水ハザードマップ作成システムを開発
		③本支川や上下流の治水安全度のバランスを調査するための治水安全度バランス調査方法を作成
		④これまで算定方法が提示されていなかった事業所の営業停止波及被害による水害被害額算定手法を作成
	(3) 地震・津波複合災害	評価手法が十分ではなかった地震・津波複合作用による海岸・港湾・河川・道路施設の被災度評価手法を構築
2. 被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案	(1) 地震・津波複合災害	被害想定結果に基づき道路管理者が被害軽減のために実施する地震・津波対策検討手法を作成
	(2) 災害時対応	①既往地震による課題と教訓に基づき、震後対応能力の向上を図るための実践的な地震防災訓練実施手法を作成
		②高潮・津波に対する住民の避難意志決定要因の解明とこれに基づく避難促進施策の進め方を提案

2. 成果の活用状況

研究目的	対象災害	研究成果	成果の活用先
1. 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化	(1) 土砂災害	①土石流災害リスク評価手法	開発モデルの実被害での検証後，防災事業への活用を提案予定
		②斜面崩壊リスク評価手法	
	(2) 水害	①航空レーザ測量データに基づく治水安全度評価システム	71/109 水系に対する安全度評価を実施，結果を国総研 Web で公表．H19 年に開発システムの説明会を全地整で開催
		②簡易な洪水ハザードマップ作成システム	開発システムを公表
		③治水安全度バランス調査手法	H19 年に地方整備局に配布
		④水害被害額算定手法	次期の治水経済調査マニュアル(案)の改訂に活用予定
	(3) 地震・津波複合災害	公共土木施設の地震・津波被害想定手法	九州地整（H19-），土佐国道事務所（H18-），紀南河川国道事務所（H18）における東南海，南海地震対策で活用
2. 被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案	(4) 地震・津波複合災害	地震・津波対策検討手法	津波被害軽減対策検討マニュアル(案)を H22.3 に発刊
	(5) 災害時対応	①実践的な地震防災訓練実施手法	H21.3 に本省と国総研の連名で地方整備局の事務所等に配布
		②避難促進施策の進め方の提案	H21 年度にマニュアル化，地方自治体に配布予定

「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究」
所外発表論文等一覧

1. 関連発表・論文

(1) 講演会

- ・ 国土技術研究会:「的確な震後対応のための被災イメージ活用と被災状況の迅速な把握技術の開発」,
講演者: 小路泰広ほか, 会場: 都市センターホテル, 2006 年 10 月 25 日開催

(2) 発表論文

- ・「急傾斜地崩壊危険箇所における土砂災害のリスク分析についての研究」, 松下智祥, 秋山一弥, 富田陽子, 小山内信智, 井出修, 平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.448-449, 2009 年
- ・「土石流による土砂災害リスク評価手法に関する考察」, 水野秀明, 小山内信智, 平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.28-29, 2008 年
- ・「水害による経済的波及被害に関する研究」, 山岸陽介, 飯野光則, 大森嘉郎, 土屋哲, 高木朗義, 清水敬生, 土木計画学研究発表会・講演集, 35 巻, 2007 年
- ・「水害による事業所被害の実態に関する調査」, 山岸陽介, 飯野光則, 大森嘉郎, 土木技術資料, Vol.50, No.3, pp.24-27, 2008 年
- ・「土木施設の被災を考慮した地震・津波の被害想定」, 日下部毅明, 福濱方哉, 加藤史訓, 片岡正次郎, 長屋和宏, 土木技術資料, Vol.48, No.8, pp.42-47, 2006 年
- ・“Scenarios of earthquake and tsunami disaster including damage to road bridges”, Kataoka, S., Proceedings of the 22nd Bridge Engineering Workshop, pp. 23-30, 2006
- ・「南海地震・津波を対象とした道路施設の被害想定を試み」, 片岡正次郎, 石川安二, 21 世紀の南海地震と防災, Vol. 1, pp. 45-50, 2006 年
- ・“A scenario of earthquake-tsunami disaster and a policy of measures for road networks”, Kataoka, S., 4th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp. 467-474, 2007
- ・「津波来襲時の道路通行障害の予測」, 片岡正次郎, 自動車技術, Vol. 61, No. 5, pp. 78-84, 2007 年
- ・「津波による道路通行障害シナリオとその活用」, 片岡正次郎, 鶴田舞, 小路泰広, 日本地震工学会誌, No. 6, pp. 35-38, 2007 年
- ・「道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針」, 片岡正次郎, 鶴田舞, 長屋和宏, 日下部毅明, 小路泰広, 土木学会地震工学論文集, Vol. 29, pp. 918-925, 2007 年
- ・「的確な震後対応のための被災イメージ活用と被災状況の迅速な把握技術の開発」, 小路泰広, 宇佐美淳, 土木技術資料, Vol.49, No. 3, pp.52-57, 2007 年
- ・「迅速な震後対応はイメージの構築から」, 宇佐美淳, 片岡正次郎, 小路泰広, 土木技術資料, Vol. 49, No. 12, pp. 40-45, 2007 年
- ・“Challenges for tsunami disaster reduction by national highway administrators”, Kataoka, S., 5th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp. 411-414, 2008
- ・“Dynamic response analysis of road bridges struck by tsunami”, Kataoka, S., 6th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp. 807-810, 2009

- ・「地震防災訓練実施の手引きの作成と活用方策」, 宇佐美淳, 土木技術資料, Vol.51, No. 6, p. 45, 2009 年
- ・「地形変化および海岸堤防の変状を考慮した津波被害想定手法」, 加藤史訓, 福濱方哉, 藤井裕之, 高木利光, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.1351-1355, 2006 年
- ・「堤防高を考慮した実効的な津波被害想定手法」, 加藤史訓, 福濱方哉, 藤井裕之, 高木利光, 児玉敏雄, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.261-265, 2007 年
- ・「堤内地におけるハード対策の津波被害軽減効果」, 加藤史訓, 福濱方哉, 藤井裕之, 高木利光, 児玉敏雄, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.1346-1350, 2007 年
- ・「2006 年千島列島沖地震における津波からの避難の意思決定」, 加藤史訓, 諏訪義雄, 林春男, 水工学論文集, 第 53 巻, pp.865-870, 2009 年
- ・「2007 年台風 5 号接近時における高潮からの避難の意思決定」, 加藤史訓, 諏訪義雄, 林春男, 海洋開発論文集, Vol.25, pp.825-830, 2009 年
- ・「避難意思決定要因に基づく津波避難ワークショップの効果分析」, 加藤史訓, 諏訪義雄, 桜井 厚, 安藤 章, 川除隆広, 海岸工学論文集, 第 56 巻, pp.1356-1360, 2009 年
- ・「港湾と背後地域とを結ぶ物流・人流ルートの津波に対する脆弱性の評価手法」, 熊谷兼太郎, 岡本修, 小田勝也, 土木計画学論文集, 2006 年
- ・"Manual for Forecasting Earthquake and Tsunami Damage to Public Civil Engineering Facilities", Okamoto, O., Kumagai, K and Oda, K., UJNR, 2009

2. 基準指針類・レポート等

(1) 基準・便覧等

- ・「道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）」, 道路局国道・防災課道路防災対策室・国総研地震防災研究室, 2009 年
- ・「治水安全度バランス調査マニュアル（案）」国総研水害研究室, 2007 年

(2) 国総研資料

- ・「がけ崩れ災害の実態」, 小山内信智, 富田陽子, 秋山一弥, 松下智祥, 国総研資料第 530 号, 2009 年
- ・「公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案）」, 地震防災研究室, 海岸研究室, 沿岸防災研究室, 水害研究室, 国総研資料第 485 号, 2008 年
- ・「高潮・津波からの避難に関する調査」, 加藤史訓, 諏訪義雄, 国総研資料第 568 号, 2010 年
- ・「道路管理者における地震防災訓練実施の手引き（案）」, 高宮進, 宇佐美淳, 国総研資料第 581 号, 2010 年
- ・「道路管理者における津波被害軽減対策検討マニュアル（案）」, 高宮進, 宇佐美淳, 片岡正次郎, 国総研資料第 582 号, 2010 年

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of N I L I M

N o . 3 0

February 2010

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

企画部研究評価・推進課 TEL029-864-2675