ISSN
 1880-0114

 国総研プロジェクト研究報告
 第14号

 平成
 19年2月



PROJECT RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.14

February 2007

都市地域の社会基盤・施設の防災性能評価・ 災害軽減技術の開発

Development of Technologies for Evaluation of Disaster Prevention Performance

and Disaster Damage Mitigation for Infrastructure and Public Facilities in Urban Regions

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 and Transport, Japan

国土技術政策総合研究所プロ	コジェクト研究報告	Project	Research	Report	of	NILIM
第 14 号	2007 年 2 月	No.14		Fe	ebrua	ary 2007

都市地域の社会基盤・施設の防災性能評価・災害軽減技術の開発

上之薗隆志(2001年4月~2004年3月) * 杉浦 信男(2004年4月~2005年3月) ** 綱木 亮介(2005年4月~2006年3月) ***

Development of Technologies for Evaluation of Disaster Prevention Performance and Disaster Damage Mitigation for Infrastructure and Public Facilities in Urban Regions

Takashi KAMINOSONO	$(2001.4 \sim 2004.3)$	*
Nobuo SUGIURA	(2004.4 ~ 2005.3)	**
Ryosuke TSUNAKI	(2005.4 ~ 2006.3)	**

概要

世界的にも有数の厳しい自然・気象条件を抱えるわが国では、毎年のように多発する 災害に対する安全性の確保は重要な課題となっており、特に、人口の密集している都市 の安全性の確保は極めて重要である。このような都市域において各種災害に対して適切 で効果的な対策を進めていくためには、各種災害の被災リスクを踏まえた防災性能評価 手法及び効果的な災害軽減技術の開発等が不可欠である。

そこで本プロジェクト研究では、都市地域における水害、高潮災害、地震・津波災 害、地震時火災、土砂災害についての、ハザード評価、対象物の脆弱性評価・損失評 価法および被害軽減技術を研究・開発するとともに、都市の防災性評価の観点から災 害間の横断的な検討を行い、各種災害に対してバランスの取れた都市防災計画策定を 支援するための技術を開発した。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:水害、高潮災害、地震・津波災害、地震時火災、土砂災害、ハザード評価 脆弱性評価、損失評価、被害軽減技術、防災性能評価

Synopsis

It is a significant issue for Japan, where the natural and the weather conditions are severe, to keep the safety against disasters which occur frequently every year, especially in urban regions crowded with population. In order to implement suitable and effective measures against various disasters in such area, development of method for evaluation of disaster prevention performance based on various disaster risks and effective disaster damage mitigation technologies is indispensable.

In this project research, methods for hazard evaluation, vulnerability evaluation and loss evaluation, and damage mitigation technologies are developed targetting flood, high tide, earthquake and tsunami, earthquake-induced fire and mudslide in urban regions. At the same time, technologies for supporting well-balanced decision of disaster prevention programme among various types of disaster are developed, comparing them laterally and taking evaluation of disaster prevention performance into account.

- Key Words : flood, high tide, earthquake and tsunami, earthquake-induced fire, mudslide, hazard evaluation, vulnerability evaluation, loss evaluation, disaster damage mitigation, disaster prevention, performance evaluation
 - * 前危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官
 Former Research Coordinator for Disaster Mitigation of Building, Reseach Center for Disaster Risk Management
 - ** 前危機管理技術研究センター長
 Former Director, Reseach Center for Disaster Risk Management
 *** 危機管理技術研究センター長
 - Director, Reseach Center for Disaster Risk Management

プロジェクト研究実施者名簿

担当分野		所属・役職	氏名	担当期間
		危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官	上之薗隆志	H13.4~H16.3
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	杉浦 信男	H16. 4~H17. 3
		危機管理技術研究センター センター長	綱木 亮介	H17.4~H18.3
井ブリーガー		危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官	上之薗隆志	H16.4~H16.9
999-9-		危機管理技術研究センター 建築災害対策研究官	飯場 正紀	H16. 9∼H18. 3
		た機管理技術研究センター 水害研究室 室長	金木 誠	H13.4~H15.3
			廣木 謙三	H15.4~H16.6
			中村 徹立	H16. 7~H18. 3
			三輪 準二	H13.4~H15.3
		危機管理技術研究センター 水害研究室 主任研究官	佐々木淑充	H15.4~H17.6
			野仲 典理	H17.4~H18.3
			水草 浩一	H13.4~H17.3
		危機管理技術研究センター 水害研究室 研究官	武富 一秀	H13.4~H17.3
	雨水に関する災害と対策		山岸陽介	H17.4~H18.3
		河川研究部 河川研究室長	末次 忠司	H13.4~H18.3
水害に対する研究		河川研究部河川研究室 主任研究官	坂野 章	H13.4~H17.6
			諏訪 義雄	H13. 4∼H14. 3
			日下部隆昭	H14. 4∼H17. 3
			菊森 佳幹	H17.4~H18.3
		河川研究部河川研究室 研究官	二村 貴幸	H13. 4∼H16. 3
			川口 広司	H13.11~H17.11
			萬矢 敦啓	H18. 1∼H18. 3
		河川研究部海岸研究室長	鳥居 謙一	H13. 10∼H15. 10
	高潮に関する災害と対策		福濱 方哉	H15. 11~H18. 3
		河川研究部海岸研究室 主任研究官	加藤 史訓	H13. 10∼H18. 3
		河川研究部海岸研究室 交流研究員	稻垣 茂樹	H16. 4∼H18. 3
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 室長	日下部毅明	H14. 4∼H18. 3
			村越 潤	H13. 4∼H14. 3
地震災害に対すス研究	地震動に関する災害と対策	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	H15.4~H18.3
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 研究官	吉澤勇一郎	H13. 4~H15. 3
			谷屋秀一	H15. 4~H16. 3
			鶴田舞	H16. 4~H18. 3

プロジェクト研究実施者名簿

担当分野		所属・役職	氏名	担当期間	
	地震時火災に関する災害と 対策		豊原 寛明	H16.4~H18.3	
		都市研究部 都市防災研究室 室長	林田 康孝	H15.4~H16.3	
			岡田 潤	H13.4~H15.3	
		都市研究部 都市防災研究室 主任研究官	竹谷修一	H13.4~H18.3	
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 室長	日下部毅明	H16.4~H18.3	
		河川研究部 海岸研究室 室長	福濱 方哉	H16.4~H18.3	
地震災実に対する研究		沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 室長	小田勝也	H16.4~H18.3	
地展火台に対する明儿		河川研究部 海岸研究室 主任研究官	加藤 史訓	H16.4~H18.3	
	津油に関する災害と対策	河川研究部 海岸研究室 交流研究員	稲垣 茂樹	H16.4~H18.3	
		沿岸海洋研究部 主任研究官	岡本 修	H16.4~H18.3	
		沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室 研究官	熊谷兼太郎	H16.4~H18.3	
		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	H16.4~H18.3	
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 研究官	長屋 和宏	H16.4~H18.3	
		危機管理技術研究センター 地震防災研究室 交流研究員	渋谷 研一	H16. 4∼H17. 3	
		危機管理技術研究センター 砂防研究室 室長	寺田 秀樹	H14. 4∼H16. 3	
			小山内信智	H16. 4∼H18. 3	
十砂災害に対する研究		危機管理技術研究センター	國友 優	H14. 4∼H16. 3	
		砂防研究室 主任研究官 	野呂 智之	H16. 4∼H18. 3	
		危機管理技術研究センター	岩男 忠明	H14. 4∼H15. 3	
		砂防研究室 研究官	内田 太郎	H15.4∼H17.3	
災害時における空港の防災支援機能に関する研究		空港研究部	滝野 義和	H15. 4∼H16. 3	
		空港計画研究室長 	石井 正樹	H16. 4∼H18. 3	
		空港研究部 空港新技術研究官	長谷川 浩	H14. 4∼H15. 3	
地域の総合防災性に関する研究		危機管理技術研究センター	松尾修	H13.4~H16.3	
		地震災害研究官	田村敬一	H16.4~H18.3	

目 次

1. 研究概要

1	.1研究の背景 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1	Ⅰ.2研究の目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1	Ⅰ.3研究の体制 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
2.	研究項目と研究内容	
	- **** << = ****************************	5
- -		6
2		0
	2.2.1 谷裡火告による被告軽減のにめの安条技術 9.9.2 邦古の防災性能の総合的評価	0
		0
2		0
_		
З.	水害に対する研究	
3	3.1 はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
3	3.2 雨水に関する災害と対策 ······	11
	3.2.1 ハザード評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
	3.2.2 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
	3.2.3 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
	3.2.4 行政施策への対応 ····································	22
3	3.3 高潮に関する災害と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	23
	3.3.1 ハザード評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	23
	3.3.2 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
	3.3.3 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	38
	3.3.4 行政施策への対応 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	39
3	3.4 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	45
4.	地震災害に対する研究	
2	4.1 はじめに ·····	46
2	4.2 地震動に関する災害と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	47
	4.2.1 ハザード評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	47
	4.2.2 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	52
	4.2.3 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	63
	4.2.4 行政施策への対応 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	63
2	4.3 地震時火災に関する災害と対策 ·····	64
	4.3.1 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	64
	4.3.2 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	72

4.4 津波に関する災害と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	73
4.4.1 ハザード評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	73
4.4.2 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	93
4.4.3 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	104
4.4.4 行政施策への対応 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	107
4.5 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	108

5. 土砂災害に対する研究

5.1 はじめに	109
5.2 雨水に関する災害と対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	113
5.2.1 ハザード評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	113
5.2.2 対象物の被災度評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	114
5.3 地震動に関する災害と対策	120
5.4 被災低減のための対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	123
5.5 行政施策への対応 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	123
5.6 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	123

6. 災害時における空港の防災機能に関する研究

6.1 はじめに ·····	125
6.2 近年の災害発生時に空港において行われた支援活動 ・・・・・・・・・・・・	125
6.2.1 阪神・淡路大震災 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	125
6.2.2 新潟県中越地震 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	125
6.3 災害時において空港に求められる防災機能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	126
6.3.1 ヘリコプターを活用した救急・支援活動 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	126
6.3.2 空港の支援活動可能範囲 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	127
6.3.3 オープンスペースとしての機能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	127
6.4 空港における防災機能の現状 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	127
6.4.1 空港自身の防災性能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	127
6.4.2 ヘリコプターの有効活用 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	127
6.4.3 オープンスペースとしての機能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	128
6.5 今後の課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	128

7. 地域の総合防災性に関する研究

7.1 はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
7.2 マルチハザード・リスク評価方法の提案 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
7.2.1 個別災害に対するリスク評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
7.2.2 マルチハザードに対するリスク評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
7.3 マルチハザード・リスクの評価例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	131
7.3.1 基礎データ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	131

7.3.2 個別災害に対するリスク評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	131
7.3.3 マルチハザードに対するリスク評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	134
7.4 行政施策への反映 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	135
8. まとめと課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	136

付録

所外論文等一覧

1. 研究概要

1.1 研究の背景

ここ数年,国内外において大規模な自然災害が多発している.平成 16 年は,史上最多の 10 個の台風が相 次いで日本列島に上陸し,多大な人的・物的被害をもたらした.さらにこの年の 10 月 23 日には,新潟県中越地 震が発生し,1995 年に起こった兵庫県南部地震以来という震度7が観測された.また,12 月にはスマトラ沖地震 も発生し,地震と津波によって広範囲に未曾有の大被害が惹き起こされた.その後も,ハリケーンカトリーナによ るニューオーリンズの壊滅的な被害,パキスタン北部地震等々枚挙にいとまのないほどの自然災害が頻発して いる.

近年の主な豪雨による水害・土砂災害および地震災害の概要についてまとめると,表 1.1-1 および表 1.1-2 に 示す被害が挙げられる.

災害名·時期	死者·行方	被害概要
	不明者(人)	
平成11年6月梅	39	広島市及び呉市で多くの土砂災害が発生.都市での宅地開発の進展
雨前線豪雨		に伴い危険個所が増大していたことが指摘された. 福岡市の地下街が
		浸水し,1人が死亡した.
平成 12 年 9 月	10	東海地方で記録的な豪雨により,新川で破堤,庄内川・天白川で越水
台風 14 号		が起こり,伊勢湾台風以来の浸水被害が発生した.
平成 15 年 7 月	23	九州地方や四国地方で,記録的な豪雨を観測した.福岡県(飯塚市,
梅雨前線豪雨		福岡市,穂波町,志免町,太宰府市等)における浸水被害,福岡県太
		宰府市,熊本県水俣市,鹿児島県菱刈町における土砂災害などが発
		生し,最大約30,000人に避難指示・勧告が出された.
平成 15 年 8 月	19	北海道では,前線と台風の影響により,約 400mm の大雨を記録し,河
台風 10 号		川の増水等により死者10名,行方不明1名の人的被害が発生した.
平成 16 年 7 月	16	新潟県を中心に被害が発生し,住家全壊 70 棟,の被害が発生したほ
新潟·福島豪雨		か,合計で30,947世帯に避難指示・勧告が出された.土砂災害につい
		ては、土石流、地すべり、がけ崩れ等が多数発生した. 信濃川水系の
		五十嵐川, 刈谷田川等において破堤・溢水が発生し, 浸水被害が広範
		囲に発生した.
平成 16 年 10 月	98	西日本から東北地方の広い範囲で暴風,大雨,高波となった.京都府
台風 23 号		舞鶴市でこれまでの記録を上回る 51.9mの最大瞬間風速を記録し,ま
		た,九州から関東にかけての多くの地点でこれまでの日降水量の記録
		を上回る降水量を観測した. 住家全壊 893 棟, 床上浸水 14,289 棟, 床
		下浸水 41,120 棟の被害が発生したほか, 合計で少なくとも 892,370 人
		に避難指示・勧告が出された.
		土砂災害については、土石流等が多数発生した.兵庫県豊岡市及び
		その近傍においては,円山川水系の円山川及び出石川の破堤による
		浸水被害が発生した.また,高知県室戸市の菜生海岸で,越波で海岸
		堤防が部分損壊し,住家被害が発生した.

表 1.1-1 近年の水害・土砂災害の発生時期, 死者・行方不明者数および被害の概要

災害名·時期	死者·行方	被害概要
	不明者(人)	
平成 13 年芸予	2	体育館や公会堂等の天井材の落下が生じた. 天井材が直撃したことに
地震(3/24)		よる死者が2名発生した.呉市では斜面上の宅地擁壁崩壊の被害が生
		じた.
平成 15 年宮城	0	これらの地震では、東北各県で、全壊や半壊した住宅が見られた.ライ
県沖を震源とす		フライン関連被害のために電気,水道,ガス等の供給が一時ストップ
る 地 震 (5/26,		し,不便な生活を強いられた.
7/26)		
平成 15 年十勝	2	ライフライン関係においては,北海道・東北電力管内で延べ約 379,000
沖地震(9/26)		戸が停電となったほか、上水道については、北海道で延べ15,956 戸が
		断水した. 苫小牧市内の石油タンクにおいて火災が発生し, 長周期地
		震動の影響について関心が高まった.
平成 16 年新潟	46	1995 年兵庫県南部地震以来となる震度7(川口町)を観測した.この地
県中越地震		震により,住家全壊 2,827 棟の被害が発生したほか,合計で 64,894 人
(10/23)		に避難指示・勧告が出され,最大で 103,178 人が避難した.土砂災害
		については, 土石流等が発生し, 崩壊した土砂による河道閉塞の被害
		も見られた. ライフライン関係においては, 東北・東京・中部電力管内で
		延べ約 309,000 戸が停電となったほか,都市ガスについては新潟県内
		の約 56,000 戸で供給停止し,上水道については新潟県内の 129,750
		戸が断水した.また,電気通信関係では,新潟県内の約 4,500 回線の
		電話が不通となった. 道路については, 関越自動車道や国道17号, 県
		管理道路等において多数の段差や土砂崩落等による通行止めが相次
		いだほか,鉄道についても上越新幹線及び在来線各線において,12
		月 28 日に運転が再開されるまで,運転中止が長期間発生した.は,河
		川,砂防施設,道路(橋梁を含む),下水道および公園等の公共土木
		施設で多くの被害が発生した.
平成 17 年福岡	1	福岡市西区の玄界島においては住家の全壊が 107 棟にのぼる被害が
県西方沖地震		発生し、大多数の島民が避難した.
(3/20)		

表 1.1-2 近年の地震災害の発生時期, 死者・行方不明者数および被害の概要

その他の自然災害としては,噴火と豪雪による災害がある.

三宅島では、平成12年6月27日の噴火から、同年9月2日には島外避難指示が発令され、平成17年2 月1日に避難指示が解除されたが、通常の生活に戻るには時間がかかりそうである。

一方,平成16~18年においては,豪雪による災害が発生した.平成16年には,北海道,東北及び北陸を中 心に被害が発生し,死者22名,住家全壊1棟の被害となった.ライフライン関係においては,平成16年1月13日 から16日にかけての暴風雪により北海道電力管内で最大1,890戸,2月23日の暴風雪により北海道,東北電力 管内で最大24,890戸,3月6日の暴風雪により東北電力管内で最大82,020戸が停電となったほか,上水道につ いては、1月13日から25日にかけ、全国で最大約35,000戸が断水した.平成17年には、降雪量は、北日本日本 海側で平年の114%と多く、アメダスの観測では北日本の21地点で過去最大の積雪を観測した.また、北陸では 平年比76%と平年を下回ったが、今冬の降雪が山沿いを中心とした「山雪型」であったため、東日本の山間部の アメダス5地点で積雪の記録を更新した.これらの降雪等により、青森県等の東北北部や、新潟県中越地震の 被災地を含む北陸地方の山間部などを中心に被害が発生し、死者88名、負傷者771名、住家全壊56棟、住家 半壊7棟、住家一部破損139棟、床上浸水11棟、床下浸水21棟の被害が発生した.ライフライン関係においては、 平成17年2月1日の暴風雪により九州電力管内で最大約11,800戸が停電となった.平成18年には、死者151名、 負傷者2,137名、住家全壊18棟、住家半壊26棟、住家一部破損4,661棟、床上浸水12棟、床下浸水101棟の被 害が発生した.この中の人的被害については、屋根の雪下ろし等の除雪作業中の死者が全体の3/4割を、65歳 以上の死者が全体の2/3割を占めている.雪崩・土砂災害については、雪崩93件、うち、集落雪崩(住家周辺の 雪崩)は28件、がけ崩れ16件、地すべり26件、土石流等7件が発生した.河川については、多数の河川で警戒 水位を超え、一部は危険水位に達し、各地で浸水被害等が発生した.ライフライン関係においては、12月22日 に新潟県下越地方を中心に発生した大規模な停電など、東北・北陸・関西電力管内で延べ約1,488,800戸が停 電となったほか、上水道については61,091戸が断水した.

このように、ここ数年大規模な自然災害が頻発している.災害は自然現象と人間社会との接点において生じる ものであることから、たまたま現象の発生した場所が人口密度の高い地域であったか否かによって被害の激甚さ も全く異なってくる.例えば、ニューオーリンズにおけるハリケーンの被害のように、都市域を直撃した場合には、 被害も大きくなり、多くの犠牲者が生じ、また復旧や復興についても、多額の予算と期間が必要となる.

自然災害の発生,襲来はほとんどの場合,人間が制御できない.しかしながら,調査・観測や解析技術の進歩とともに,自然災害をもたらす現象の特性が徐々に解明され始め,さらに非構造物対策の重要性が認識されるにつれ,それらが発生する前に種々の対策を講じることができるようになってきた.中でも,人口,資産,様々な機能等が集中する都市域においては,過去の被害等を教訓として,被災リスクを回避・軽減させるための対策 を検討し,施策に反映させていくことが重要である.

1.2 研究の目的

人口の密集している都市域において,各種災害に対して適切で効果的な対策を進めていくためには,各種 災害の被災リスクを踏まえた防災性能評価手法及び効果的な災害軽減技術の開発等が不可欠である.さらに は近い将来発生が予測される東海地震及び東南海・南海地震による災害への対策についても,早急な対応が 求められている.

そこで,都市地域における地震・津波災害,水害,高潮災害,地震火災,土砂災害についての,ハザード評価,対象物の脆弱性評価・損失評価法及び被害軽減技術を検討・整理して被害軽減のための要素技術を研究・開発した.さらに,都市の防災性評価の観点から災害間の横断的な検討を行い,各種災害に対してバランスの取れた都市防災計画策定を支援するための技術を開発して「地域の防災性評価マニュアル(案)」を作成した.近年の地震,豪雨の増加.さらに,近い将来発生が予測される東海地震及び東南海・南海地震による災害への対策についても,早急な対応が求められている.

都市地域における地震・津波災害,水害,高潮災害,地震火災,土砂災害についての,ハザード評価,対象 物の脆弱性評価・損失評価法および被害軽減技術を研究・整理するとともに,都市の防災性評価の観点から災 害間の横断的な検討を行い,各種災害に対してバランスの取れた都市防災計画策定を支援するための技術を 開発する.また,早急な対策が求められている東海地震及び東南海・南海地震等により予想される災害(津波 や長周期地震動)に関するハザード評価や脆弱性評価についても検討する.

3

1.3 研究の体制

危機管理技術研究センター長をプロジェクトリーダーとして, 地震災害研究官, 建築災害対策研究官および8 つの研究室(河川研究室, 海岸研究室, 都市防災研究室, 沿岸防災研究室, 空港計画研究室, 砂防研究室, 水害研究室, 地震防災研究室)の連携の下, 実施された.

2. 研究項目と研究内容

2.1 研究マップと研究範囲

1)研究項目

本研究は、都市地域における地震・津波災害、水害、高潮災害、地震火災、土砂災害についての、ハザード 評価、対象物の脆弱性評価・損失評価法および被害軽減技術を研究・整理するとともに、都市の防災性評価の 観点から災害間の横断的な検討を行い、各種災害に対してバランスの取れた都市防災計画策定を支援するた めの技術を開発することを目的とする.また、早急な対策が求められている東海地震及び東南海・南海地震等 により予想される災害に関する、ハザード評価や脆弱性評価についても検討する.

研究項目は大きく分けて、2つに絞られる.

I. 各種災害による被害軽減のための要素技術の研究・開発

Ⅱ.都市防災性能の総合的評価に関する研究

縦軸としては、水害、地震災害、土砂災害等の自然災害を考慮するとともに、横軸として、河川、堤 防、水門、道路、橋梁、空港、下水道などの社会施設や自然の地形(崖地・傾斜地)、人工的な大きな 空間(市街地)等を被害対象施設に挙げており、ほとんどの自然災害への対応が可能となる。

横軸に対応するテーマは、災害別にハザード評価から被害軽減までの一連の流れの中で、被害想定・ 被害軽減対策等の要素技術を検討していくものであり、総合的評価のための基礎技術として必要な研究 である。テーマIIでは、地震、水害、土砂災害等の各種自然災害に対する地域の脆弱性・防災性を共通 の尺度で評価するための「地域の防災性評価マニュアル(案)」を策定した。本マニュアルによる評価例 として、地震動と洪水による家屋の被害想定をしており、地域の防災性評価の観点からは、成果目標を 達成している。しかしながら都市地域・都市施設における防災性評価(都市特有の課題、都市地域での 複合災害の考え方)については十分な議論ができておらず、成果目標の達成度は低い結果となった。

				外力評価	脆弱性評価	被害 • 過失評価	リスク評価	防災力改善	政策化	
				(八) 二() 外力評価 外力設定	対象物の 被災特性	被害想定	リスクミニマム 対策計画	対策技術		
災害の 種類	災害要因	災害要因 被害対象	想定 現象	ハザード マップ	被災度特性	被害評価 被害マップ	リスク評価 費用対効果 対策優先度	ハード対策 ソフト対策	基準・制度 マニュアル	課題①:雨水・高潮による災害リスク軽減対象 技術に関する研究 課題②:津波被害想定手法に関する研究
		直轄河川 中小河川	越水 破堤							課題③:防災マップを用いた地震防災計画立 案支援技術の開発
水害	雨水	市街地 下水道	浸水 溢水		D			. (1		課題④:長周期地震動とその地域性の評価 関する研究
	高潮	地下空間 海岸堤防 高潮水門	浸水越水,					<		課題(5):地震時の人的被害と都市構造の関 連分析による都市防災向上技術の開発 課題(6):土砂災害に対する脆弱性評価指標。
	津波	市街地 海岸堤防 港湾施設	越水							被害想定手法に関する研究 課題⑦:災害時における支援機能(空港)に関
		高潮水門	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~							する研究 課題⑧:都市防災性能の総合的評価に関す
		施設 平野部	破壊損失		J					かなり研究が進んでいる研究領域
地震 災害	売お	<u></u> 社会施設 (道路・橋梁)	機能喪失			3				いくらか研究が進んでいる研究領
	展IJ	ライフライン	機能 喪失							
		建築物 住宅	倒壊							
	火災	市街地人	<u> </u>		<	5				
土砂 災害	雨水震動	崖·斜面 擁壁	崩壊倒壊			6				
支援 対応		空港						<mark>_</mark> ()	<u> </u>	
総合化	総	合防災性指標	Į	~		(8)		\rightarrow	

図 2.1-1 本研究の研究マップ

2.2 研究内容

表 2.2-1 に、本プロジェクト研究に関連した研究課題の年度計画を示す。

2.2.1 各種災害による被害軽減のための要素技術

各種災害による被害軽減のための要素技 術(ハザード・脆弱性・被害性状の評価,対 策)を研究・開発するとともに,緊急的課題で ある東海地震及び東南海・南海地震等で想 定される津波や長周期地震動によるハザー ド・脆弱性・被害性状の評価法の検討も行っ た.

各サブテーマ別の成果目標に対して、得 られた成果を以下に示す。

①水害:雨水・高潮による災害リスクの軽 減対策技術に関する研究

1. 都市域氾濫解析モデル(NILIM)の開発

下水道を考慮した都市域氾濫解析モ デル(NILIMモデル)の開発を行うととも に、モデルの精度向上に向けた実験を行 った。また、都市浸水想定区域の指定の 際に生じる、氾濫解析モデルの課題等に ついて整理し、「都市域氾濫解析モデル 活用ガイドライン案」を作成した。

NILIMモデルについては、インターフ ェースの充実、モデルの妥当性検証等、 いくつかの課題が残っており、さらなる 改良が必要である。

 災害時要援護者の避難支援策、地下空間の 水害リスク評価手法等の被害軽減対策技術 の提案

災害時要援護者避難支援策について 検討し、ケーススタディを通して、避難 支援策を具体化するための一連の流れ を示した手引きを作成した。また、地下 空間の水害リスクの評価指標を提案し た。さらに、住民の防災意識を高める目 的で、自己診断型ハザードマップを作成 した。

3.破堤氾濫流による危険度評価手法の開発

表 2.2-1 プロジェクト研究に関連した研究課題の年度計画

区分	実施年度						
(目標、サブテーマ、分野等) 	H 1 3	H 1 4	H 1 5	H16	H 1 7		
①水害(雨水)関連に関する研究							
都市域氾濫解析モデルに関する。		都市域氾濫	解析モデルの	開発・改良			
検討			都市 <i> </i>	氾濫解析モデ ドライン(案)の	ル活用 D作成		
					水理模型実験 による評価		
					10 × 9 11 m		
	地下空	間の浸水リス	ク分析	nó- ata			
地下空間の水実リスク評価手		自己語	空間の夜水旭 診断システム0)開発			
地下王间の小吉り入り計画于 法 災害時要揺灌者の避難支援		自己診断型	ハザードマッ	プの作成			
策等の被害軽減対策技術に関す			災害時要	要援護者の避難	に関する		
る検討			現	状把握と課題	整理		
				ケースス	タディの実施		
					手引きの作成		
破堤氾濫流被災危険度に関する			治水安全周	夏バランスに厚	する検討		
検討			破り	是氾濫シミュ!	~ータの開発		
高潮による災害リスク軽減対策	高潮・越波 堤防神	量の確率的評 废災評価手法(価手法及び D提案				
技術に関する研究		Ē	「潮による家園	・家庭用品の	被害率把握		
				高潮情報シス	マテムの開発		
②地震災害(津波)に関する研究							
大規模地震・津波等による被害			洋	波外力の評価	l Sala dada /// esterilent /ver		
軽減のための検討(H16-)				土木施設の津	波被災度評価		
高潮・津波に係る予測手法の高				津波漂流物0)挙動評価		
度化に関する研究(H16-)			•				
③地展災害(地展動)に関する研究	संग / मा - स्वयं		1				
公共土木施設の地震防災投資効	計1回視	日の 使 副 評 価手	■ 法の検討				
果に関する研究		5	テーススタディ	·			
道路施設の地震防災対策の優先							
度評価手法に関する研究		対策優先	度の評価				
発災前対策領域の研究			地震ハザ、減災	- Fの評価 効果評価手法 ※	の実用化検討		
④長周期地震動に関する研究				15			
長周期地震動とその地域性の評			別	巨離減衰式の作	成		
価に関する研究				増幅率の)地域性の評価		
⑤地震災害(火災)に関する研究							
地震時の人的被害と都市構造の	被災情報のう	ータベースイ	Ł				
関連分析による都市防災向上技		人的被害発生	主の集計・分析	Ť			
術の開発							
⑥土砂災害に関する研究		1	1		1		
丘陵地に発達した都市の防災計画	データ収集	しいかけ	_				
策定手法に関する調査		指標の間	開発	-			
リスク解析に基づいた土砂災害対			危	策度評価手法(の開発		
策に係わるアカウンタビリティ向					ale foi - vie m		
上に関する調査					●例への適用		
⑦災害時における支援機能(空港)	に関する	研究					
災害時における空港の防災機能に	事例分析	支援活動	「可能エリア				
関する研究	-	マップの	0作成	災害時支援	マニュアルの		
				ガイドライ	ン作成		
⑧都市防災性能の総合的評価に関す	る研究	1	1	1	1		
地域の総合防災性指標に関する		地域の脆弱性 根索:	E評価手法の検言 手法のケースマ	す タディ			
研究		perke-	マニュアル	(案)の策定			
	1	1			٦		

破堤点近傍の家屋の流失やそれに伴う氾濫流の挙動の変化を解析できる破堤氾濫シミュレータを開 発した。平成16年7月の刈谷田川氾濫の目撃証言によりシミュレーションの精度を検証した他、模 型実験を行い目撃証言では反映できない部分についても精度検証を行った。

4. 高潮・越波量の確率的評価手法および堤防被災評価手法の提案

既往台風・低気圧の属性解析により確率的台風・低気圧モデルを構築し、潮位・越波流量などの生 起確率を評価する手法を提案した。また、海岸堤防の滑動・転倒照査モデルを構築し、被災事例の検 証を通じて被災限界の越波流量を評価した。

5. 高潮による家屋・家庭用品の被害率把握

平成16年台風16号による高松市・倉敷市での高潮災害を対象にアンケート調査を行い、家屋・家庭 用品の被害と浸水深との関係を明らかにした。

6. 高潮情報システムの開発

台風接近時に沿岸波浪および波のうちあげ高を予測する高潮情報システムを開発するため、沿岸 地形等の効果を考慮した波浪モデルと波浪うちあげモデルを構築した。

高潮災害の軽減に確実に繋げていくためには、高潮時における住民の避難意思決定要因をふまえ た情報提供等のあり方について検討が必要である。

②地震災害A:津波被害想定手法に関する研究

1. 津波による外力の評価手法の提案

模型と水路を用いた大型実験を実施し、津波衝突時に海岸堤防・橋桁に作用する外力の評価手法を 提案した。平面2次元の漂流・衝突シミュレーションを実施し、漂流挙動や衝突力を表現できること を確認した。

2. 津波による所管施設の被災度評価手法の開発

既往の津波被災事例と静的・動的解析結果等をもとに、海岸施設、港湾施設、道路施設の津波被災 度評価手法を提案した。

③地震災害B:防災マップを用いた地震防災計画立案支援技術に関する研究

最新の防災に関する情報を確実に蓄積・管理し、道路ネットワークの被災イメージを具体化する手法の提案

道路施設の地震による被災履歴や対策履歴を逐次蓄積し、道路施設の被災リスクの評価に必要な 諸量および評価結果をまとめ、管理可能な防災マップの作成手法を提案した。

道路施設の被災度評価手順と合わせた「防災マップ作成マニュアル」を作成した。

被害想定の実施、防災投資効果の評価を行い、その結果に基づいた合理的な道路防災事業計画の立案
 手法を提案

現場への適用を想定した、実用的な防災事業効果評価手法を提案し、マニュアル案として取りまとめた。

④地震災害C:長周期地震動とその地域性の評価に関する研究

1. 周期2~20秒程度を対象とした地震動強度の推定式の提案

長周期成分が含まれる比較的大規模な地震の強震記録を収集・整理し、統計解析を行うことにより周期2~20秒程度を対象とした地震動強度の推定式を提案した。

2. 長周期地震動の増幅が大きい地域の特定

推定式からの差分をとることにより、長周期地震動の増幅度の地域性を検討し、特に長周期地震 動が問題となる地域を特定した。

⑤地震災害D:地震時の人的被害と都市構造の関連分析による都市防災向上技術の開発

1. 被災情報のデータベース化

阪神・淡路大震災時の建物被災状況と人的被害、市街地特性の状況をGIS上にデータベース化し、 被災情報の一元管理が可能となった。

2. 人的被害発生の集計・分析

1.の被災情報を元に、市街地特性別の人的被害発生状況を集計・分析することが出来た。

⑥土砂災害:土砂災害に対する脆弱性評価指標と被害想定手法に関する研究

1. 丘陵地に発達した都市の防災計画策定手法の提案

丘陵地域に発達する都市における立地条件・地域社会の構造特性の双方の観点から、災害に対す る脆弱性を評価する指標について検討した結果、地域社会の構造の変化が避難行動の難易度に影響 することが判明した。

 リスク解析に基づいた土砂災害対策に係わるアカウンタビリティ向上手法に関する提案 過去の災害事例を用いて土砂移動規模を表す指標及び地震時の斜面の相対的な崩壊危険度評価 手法を提案した。

⑦災害時における支援機能(空港)に関する研究

災害時において被災地の支援機能を果たしうる空港の条件と配置が明らかになるとともに、空港管理 者による円滑な支援活動の実施のために必要なマニュアルの作成に資するガイドラインを作成し、概ね 妥当な成果が得られた。

2.2.2 都市の防災性能の総合的評価

地震、水害、土砂災害等の各種自然災害に対する地域の脆弱性・防災性を共通の尺度で評価するための「地域の防災性評価マニュアル(案)」を作成した。しかし、都市に着目した指標の提示や総合評価は ほとんど達成されていない。

2.3 成果目標と成果の活用

本プロジェクト研究で多くの成果が得られ、災害毎のハザード・脆弱性・被害性状の評価、被害軽減 対策等の要素技術の向上には大いに貢献した。これらの要素技術を、ある統一の評価軸で検討する必要 があり、今後これらの点を明らかにし、横断的な評価を行っていきたい。共通の尺度による評価を行う ことにより、それぞれの分野でも研究方法・成果のレベルアップとなるとともに、研究部を超えたさら なる連携が重要となる。

いくつかのサブテーマにおける今後の研究への取り組みをまとめると以下のようになる。 ①雨水災害に関する研究

都市域氾濫解析モデル(NILIM)に関しては、実験結果を反映させ、結果の精度向上とともに、イン ターフェース部分の改良等を図る必要がある。

また破堤氾濫流シミュレータについては、精度の検証を重ね、ガイドラインを作成する予定である。 ②高潮災害に関する研究

高潮情報システムの実用化により高潮に関する事前予測が充実するが、それを高潮被害の軽減に確実 に繋げていかなければならない。高潮時における住民の避難意思決定要因をふまえた情報提供等のあり 方について検討する必要がある。

③地震災害に関する研究

防災マップを用いた地震防災計画立案支援技術の導入にあたっては、現場の声を反映する等検討の余 地がある。また、津波砕波時のきわめて大きい衝撃力に対する土木施設の被災度評価に課題が残されて おり、検討の必要がある。

④土砂災害に対する脆弱性評価指標と被害想定手法に関する研究

8

土砂災害のリスク評価のための指標の精度屋や被害想定手法を向上させ、砂防事業の説明責任のため に十分利用できるものとする必要がある。

⑤災害時における支援機能(空港)に関する研究

マニュアル案の作成のためのガイドラインの内容の更新が必要と考えられる。

⑥地域の総合防災性指標に関する研究

「地域の防災性評価マニュアル(案)」を地方自治体の防災対策計画の立案支援等に活用していく。

3.1 はじめに

近年,河川整備の進捗により,洪水による氾濫 面積は着実に減少しているものの,一方で,時間 雨量が 100mm を超える局地的な豪雨や,総雨量 が 1000mm を超える大雨は増加傾向にあり,内水 や中小河川からの氾濫は増加している.また,人 口や資産および各種の中枢的機能が集中する大 都市の多くは,元来浸水を受けやすい河川下流 部の沖積平野に位置しており,地下空間を含めた 都市構造は複雑で多層な土地利用が行われてい る.そのため,一度水害に見舞われると予想される 被害には計り知れないものがある.

近年の水害を見てみると、平成 11 年の福岡水 害では、福岡市内を流れる御笠川の氾濫と内水氾 濫によってJR博多駅周辺が浸水し、地下鉄、地下 街に氾濫水が流入し、死亡者が発生するという災



害が起こった. また, 平成 12 年 9 月の東海豪雨では, 8河川 10 箇所に置いて県管理河川が決壊するとともに, 内水氾濫による被害が発生し, 床上浸水約 27,000 棟, 床下浸水約 44,000 棟におよぶ甚大な被害となった. こ の豪雨災害の背景には, 都市化の進展による流出増や, 水害に対する危険性を十分に考慮, 認識しないまま 開発が進められてきたことなどによるダメージポテンシャルの増大が原因として考えられる. さらに, 平成 16 年 7 月には, 新潟・福島地方, 福井地方で梅雨前線が活発化し, 時間雨量では超過確率が 1/200 を超えるような豪 雨となり, その結果, 新潟県内では信濃川支川刈谷田川などで 11 箇所が破堤するなど, 65 市町村(当時)が被 災した他, 福井市内では九頭竜川支川足羽川が破堤し, 市街地 4km²が浸水した.

今年度も、台風14号の接近に伴って、東京都心部で時間雨量100mmを超えるような集中豪雨が発生し、神田川水系の神田川、善福寺川、妙正寺川、江古田川で溢水が発生した.住居の浸水被害は3000戸を超えるなど、大きな被害となった.

一方,近年の高潮災害を見てみると,昭和28年の台風13号や昭和34年の伊勢湾台風による高潮災 害を受けて,海岸施設の整備等の高潮対策事業が進められ,40年近く高潮によって直接死者が出ること はなかった.しかし,平成11年の台風18号は,九州・山口地方を大きな高潮と高波を伴い横断してい き,沿岸の港湾・海岸施設に大きな災害をもたらす一方,熊本県不知火町では高潮による浸水で12名 の犠牲者が出るなど,甚大な被害となった.平成16年には,台風16号および18号により瀬戸内海沿 岸で高潮が発生し,高松市では15,000戸以上が浸水した.

3.2 雨水に関する災害と対策

3.2.1 ハザード評価

近年の災害では,流域開発による流出増と都市部における内水氾濫による被害や,氾濫水が地下空間へ流 入することによる地下空間の浸水被害が課題となっている.都市部には、人口および資産が集中しており、氾濫 による物理的・社会的・経済的影響は非常に大きくなる.また、都市部では地下空間の高度利用が行われてお り、人命・資産が大きな危険に晒される可能性がある.

従来の洪水氾濫危険区域図やハザードマップでは,主に大中河川の破堤による外水氾濫のみが扱われてき た.しかし、下水道・排水路からの溢水や排水不全に起因する内水氾濫などの局地的な現象は考慮されていな い. 都市型水害の特徴である局所的現象を考慮し、効果的な対策を実施するためには、氾濫水の挙動を把握 し、市街地及び地下空間の浸水危険度を的確に評価する必要がある.

このような課題に対応するため、国土技術政策総合研究所では、下水道を考慮した氾濫解析技術の開発お よび地下空間における浸水危険度の評価の評価技術の検討を行った.

1) 市街地のハザード評価

下水道を考慮した氾濫解析モデルの開発

上記課題に対応するために,国土技術政策総合研 究所では、都市域の内水氾濫解析モデルであるNILIM (New Integrated Lowland Model) モデルの開発を行っ た. NILIMモデルは、図3.2-1に示す都市域における管 路網モデル及び地表面の氾濫解析モデルが基礎とな っており、以下のモデル群によって構成されている.

- ・ 地表面雨水流下モデル
- •排水路内追跡モデル
- ・地表面湛水モデル
- ・地表面氾濫モデル

また,その特徴を以下に示す.



- 下水道管路内の解析と地表面氾濫の解析を一体的に行うことができる。
- ・下水道管路内の水理解析は管路内水 位に応じて開水路流れ・圧力流れの 基礎式を選択する.
- ・計算モデルのプログラムソースが公開 されているため、独自のモデル改良・ 付加が容易に行える.

図3.2-2に下水管路内の水位を解析した結 果の一例を示すが、観測値と比較して精 度の良い結果を得ることができてい る.



(平成12年7月8日降雨 東京都桃園川幹線 JR 阿佐ヶ谷駅付近)



⊠ 3.2-1 NILIM モデルの概念図

2) 地下空間のハザード評価

・地下空間の浸水解析について

公共性が高く,浸水により被害が甚大となる大規模 地下空間の中で,特に侵入経路が複雑な多層構造の 地下空間に対し,簡易な浸水解析モデルを構築し,浸 水危険度を評価するために必要な各個所での浸水深 の変化を解析した.

ます,大河川の浸水想定区域内に存在する地下街 をモデル化した(図3.2-3).次に,外力条件として,想 定浸水速度を与え,地下への流入量を算出するととも に,時刻毎の流入量を算出した.地下空間の浸水状 況は,地上の想定浸水速度に大きく影響される.地上 の浸水速度は,地形特性(くぼ地など)や氾濫特性(内 水氾濫,外水氾濫など)によって異なるため,それらを 十分に考慮した設定が必要である.本検討では,大河 川の氾濫シミュレーション結果より,想定浸水速度



図 3.2-3 地下街の浸水解析モデル概念図

0.3mm/分,最大湛水深0.7mと設定した.最後に,地下への流入量の時間変化状況から地下の部屋,通路などの浸水深の時間変化を算出し,地下空間への浸水状況を想定した.なお,今回の解析では,浸水防止対策を行わなかったケースを想定して検討を行った.

氾濫水の流入構造や地上の浸水状況による流入量の移動関係から,地下2階への流入が少ないことによって地下1階の浸水が早い場合もあれば,本ケースのように地下3階のある空間の浸水が早い場合もあり,流入水の移動関係によって地下3階から一様に浸水していくわけではないことがわかる.

大規模な地下空間では、地上の流入口が異なる場所に複数あることから、流入口毎の想定浸水速度や地表の標高などによって地下各階、各空間への流入量が変化するため、地下空間の構造と水の流れのモデル化の際に注意が必要である.



図3-2-4 各空間の水没までの浸水深変化

3) 破堤氾濫流によるハザード評価

破堤氾濫流の道については、破堤位置や家屋や樹木群の立地状況、道路の配置状況によって大きく変わる ことが知られている.また、氾濫流による家屋の流出により、氾濫流の主流の向きが変化し、被災危険度も変化 する.一般的に用いられている氾濫シミュレーションは広域の浸水深さを予測することを目的としており、堤防決 壊直後の洪水・破堤氾濫流れによる家屋流出被害の予測は対象としていない.そこで、国土技術政策総合研 究所では、非定常の破堤氾濫流を精度よく再現できるFSD(Flux Difference Splitting Method:流速差分離法) による破堤氾濫流シミュレーターを開発した.

モデル	2次元浅水モデル
計算方法	流速差分離法
家屋流出	あり
メッシュ間隔	2メートル

表3.2-1 FDS破堤氾濫流シミュレーションの仕様

図3.2-5 FDS破堤氾濫流シミュレーター

FDS により平成 16 年 7 月に起きた中之島(刈谷田川)の破堤氾濫のシミュレーション結果を示す. 平成 16 年 7 月に起きた信濃川支流の刈谷田川の中之島地区で起きた破堤氾濫は,破堤部町内で,死者3名,全壊 家屋 15 棟,半壊家屋 37 棟などの甚大な被害をもたらした. 地図の色分けは赤い色ほど歩行が不可能(水深 50cm,流速 50cm/sec)になった時刻が早く,青い色ほど遅いことを示している. 破堤点近傍の道路沿いに赤 い部分が広がっており,破堤氾濫流は道路に沿って広がったことを示している. 左のグラフは,地図の番号を 付けて位置における水位上昇を締めている. 各点とも氾濫流到達直後に急激な水位上昇が起こり,その後緩 やかな水位上昇に移行していることがわかる.



図 3.2-6 シミュレーション結果

図 3.2-7 にシミュレーション結果を検証するため、破堤氾濫の模型実験により比較したグラフを示す. 模型実験の縮尺は1/40とし、家屋の流出も手動により行った. 実線がシミュレーションで、破線が実験による値を示す. グラフ上の数字は、地図上の場所を示す. 破堤氾濫流の到達直後の水位上昇が実験の方が大きな値を示しているが、その後両者の値は近づくことがかわる. また破堤点から遠いほど、水位上昇のカーブは両者で近い値になっている. 破堤氾濫流の到達直後の水位上昇に差があるのは、実験とシミュレーションで、破堤のさせ方に差があったためであると考えれる. シミュレーションの値は、目撃証言ともほぼ一致しており、妥当な値を示していると思われる.



図3.2-7 シミュレーション結果と模型実験の結果

3.2.2 対象物の被災度評価

1) 地下空間

地下空間における浸水では、避難できずに閉じ込められて水死する事例も見られ、地上における浸水被害とは異なる被害特性が見られる.具体的には、以下のことが挙げられる.

- ・ 避難方向が地上へ向かう開口部に限定され、水の流入方向と人の避難経路が重なる可能性が高い.
- ・ 地上と隔絶されている状況下にあるため、状況判断が 遅れ、避難行動の開始が遅れる傾向にある.
- 一旦河口部からの浸水が始まると氾濫水が一気に流れ込むため、時間の猶予が少ない。
- 機電施設の中枢部分は地下にある場合が多く、設備
 機能が停止する可能性が高い.

このため,浸水が想定される地下空間では利用者の円滑かつ迅速な避難が確保されるよう適切な措置を講ずる必要があり,防災担当者による支援方策も重要となる.

河川,下水道等の治水排水施設整備に加え,地下空間 管理者や防災担当者による浸水対策として,地下空間入口 のかさ上げ,防水版の設置などハード対策や,ソフト対策に ついても検討・実施することが必要となる.

「浸水危険度の情報公表による管理者や利用者の防災・ 危機管理意識の啓発」や「地下空間における浸水対策技術 の評価」を目的として,地下空間における浸水危険度評価 技術について検討を行った.

・地下空間浸水対策の促進を図るための簡易で分かりやす



図 3.2-8 地下空間浸水リスクに係わる要因

い水害リスク評価指標の提案

地下空間の水害リスクを評価する為に考えられる水害リスク評価指標の整理を行った.地下空間の浸水被害の リスクを規定する要因としては、イ)地表の浸水特性、ロ)地下空間での浸水特性、ハ)地下空間のリスクのポテン シャル、に分類できる(図3.2-8).さらに、これらの要因は、次のように細かく分類することができる.

イ) 地表の浸水特性(最大湛水深,浸水上昇速度,継続時間,浸水頻度)

〔洪水外力タイプ〕	〔地形分類タイプ〕
・直轄河川の氾濫域	・直轄氾濫域
·中小河川氾濫域	・中小河川氾濫域
·内水氾濫域	・内水氾濫域
·上記複合域	・台地,低平地
・別途降雨外力の規模	・地形の指標としての窪地率

ロ)地下空間での浸水特性(地下空間での浸水位,浸水速度,地下空間での広がり方・方向)

〔地下空間タイプ〕	〔地下空間浸水対策〕
·大規模地下空間	・浸水防止施設(浸水防止板, マウンドアップ)
•中規模商業施設	・情報伝達体制,システム
·個人地下空間	·避難誘導体制
•地下空間構造	・防災教育, 訓練

ハ)地下空間のリスクのポテンシャル(人災,資産被害,間接被害)

・地下空間利用タイプ

·資產,設備状況

·利用者状況

・都市機能などの社会機能

3.2.3 被災低減のための対策

1) 自己診断型ハザードマップの作成

近年,水害,地震,火山等の災害に対し,住民意識の向上,的確な防災体制確立等のためにハザードマップの整備が進められており,洪水に関しては,東海豪雨後,水防法が改正され整備促進が図られている.洪水ハ ザードマップは,水害による被害を軽減できるような情報を住民に分かりやすい形で公表・普及し,住民に自分 の住む地域の水害に対する危険度を認識してもらい,住民の自主的な防災・被害軽減活動を促すという目的で 整備が進められている.しかし,洪水ハザードマップの認知率は決して高いとは言えず,政策評価の業績目標と して,H18の認知率を70%まで向上させることとしており,ハザードマップの整備を推進していくとともに,認知率 向上のための各種の方策を実施していくことが課題となっている.

洪水ハザードマップを対象として,認知率を向上させるための各種方策の検討や,住民等にわかりやすい浸 水危険度等の情報内容について,地方公共団体ヒアリングやアンケートを実施するとともに,情報のわかりやす さ等の社会学的・心理学的な効果について検討した.また,住民のハザードマップの認知・理解度を確認できる ようなチェック項目を抽出し,実際に住民自身がインターネット上でチェック可能なウェブサイトを構築した. 行政担当者は,そのログを解析することによって,住民の思考の傾向・対策や,今後のハザードマップの認知率 の向上を検討するための基礎とすることが可能となる. ① 自己診断項目例

・防災知識に関する設問

洪水,水害に対する基本的な知識及び,水害対策に	関する設問.	
<ことば>		
・「洪水」とは?		
・水害が発生するケースとは?	など	
<水害対策に関する知識>		
・水害時の避難場所を知っているか?		
・非常持ち出し品に何があるか知っているか?	など	
7十〇〇 - 李 - 李 - 李		
水害の恐ろしさを正確に理解しているかについての影	之問.	,
<居住地の危険度認識>		
・居住地の浸水履歴を知っているか?		
・居住地の浸水可能性を知っているか?	など	
<水害への関心>		
・近年における水害でどの程度の被害が出ているか	知っている? など	
** 印は、この供こ(でやけいよいよりかけまで)		
・晋段からの偏え(平常時における彼善軽減行動)		
平常時から、水害に備えた行動を的確にしているか	いについての設問.	,
<避難に向けた準備>		
・避難場所・避難ルートの確認をしているか?		
・非常持ち出し品の準備をしているか?	など	
<その他の配慮>		
・地域での防災訓練へ参加したことがある?		

・近隣の人と日常的にコミュニケーションをとっているか? など

・水害時の対応行動(非常時対応力)

洪水が発生した時や避難命令発令時において的確な行動をとれるかについての設問.

1		3
-	<避難すべきタイミング>	ł
	・洪水が予想される時の行動?	
	・避難勧告が出た時の行動?	
	・避難のタイミングは? など	į
	<避難方法と注意点>	-
	・避難時の服装,携帯品,避難時の交通手段は?	
	・避難経路の選び方は? など	
		-
	・同父老の尾州百日	

・回谷伯の周住頃日		
・性別, 年齢, 居住歴, 職業, 住居の階数		
・水害体験の有無,避難体験の有無		
・ハザードマップの認知状況	など	

② ホームページ掲載例



(a)各セクションにおけるアウトプット

(b) 総合判定時のアウトプット

図3.2-9 ホームページ掲載例

2) 地下空間の浸水被害軽減対策について

・地下空間の浸水リスクの公表手法の検討

地下空間の浸水被害防止・軽減のための対策については、以下の2つの観点から考えられる.

①外力の低減:治水施設整備(ハード対策)

地表の浸水被害軽減と同様の対策

・内水(下水道施設), 中小河川, 直轄河川の治水安全度の向上

②ソフト的な危機管理施策

浸水を受ける地下空間としての被害軽減対策

- ・危険情報のオンライン、オフラインでの入手
- ・地下空間侵入防止の対策
- ・浸水時の避難方法,
- ・防災体制等の確立

ここでは、上記②の地下空間管理者、地下空間保有者 が行うべき対策を促し、啓発するためのリスク指標、公表資 料とすることを目的として公表手法についての整理を行い、 以下に示すA~Fの6つの手法を提案した. A案:外力の確率年毎の被災可能性マップ

A1:地下空間の確率年毎の被災可能性マップ A2:地下空間で確率年毎の人災発生可能性マップ



図 3.2-10 外力の確率年毎の被災可能性マップ

B案:地下空間タイプ別年平均被害想定額

地下空間のタイプ別にメッシュ毎での被害想定額の分布を整理 したマップの作成

C案:地点別,区間別の地下空間浸水リスク及び対策の効果マッ プ

代表地点,代表地下空間に対しての確率年毎の被害規模と対 策を行った場合の差を表現して対策を促す.

D案:CGを用いた地下空間浸水リスク,浸水状況の表現、公表 インターネット等で, CG, 動画を公表し, 解りやすい被災の状況 と対策の効果を周知する.

E案:地下空間の浸水リスクカーブによる表現

地下空間の浸水の発生確率を含めたリスクカーブを表現することで、そのリスクの程度を適切に公表出来る可 能性がある.

F案:地下空間の浸水リスクを自己診断出来るシステムの開発

自分の地域,地下施設のリスクが,インターネット上で簡易に自己診断出来,その適切な対策も理解出来るシス テムの構築は効果的である.





上記のような情報を住民・地下空間管理者に提供することにより、その地域での地下空間における浸水被害リス クを十分に理解してもらい、その人災、資産の被害の防止・低減の施策を自主的に行ってもらうための啓発資料 とする.



90% 図 3.2-13 地下空間の浸水リスクを自己診断可 能なシステムの開発イメージ【F】

3) 災害時要援護者への対応

a. 背景と目的

災害時において情報収集や避難等に困難を伴うことが多いために依然として被災者に占める割合の高い 高齢者等の災害時要援護者に焦点を当て,水害,土砂災害,地震等の各種災害においてその被災者数を 大幅に減少させることを目的(図 3.2-14)として検討を行った.本検討は,平成 15 年度から平成 17 年度の 3 箇年をかけて行われたが,折しも平成 16 年に日本へ上陸した台風は史上最多の 10 個を数え,新潟・福島豪 雨や福井豪雨,台風 23 号等の被害が相次ぎ,減少傾向にあった風水害による死者・行方不明者数は 235 人 に達し(図 3.2-15),その約半数を 65 歳以上の高齢者が占める(表 3.2-2)という事態となったことを受け,災害 時要援護者に視点をおいた支援策の実現に向けた検討が行われ,支援方策を具体化するための手順書「災 害時要援護者の避難支援策の具体化のための手引き(案)」をとりまとめた.本手順書は,洪水時を対象とし て,要援護者の支援方策の具体化について,「要援護者支援検討マップ」を用いた検討手順等を解説したも のである.



図 3.2-14 これからの災害対策のイメージ

名称	上陸日・ 豪雨日	上陸地点	死者	行方 不明 者	合計	うち高 齢者	備考
台風6号	6月21日	高知県	2	3	5	1	平成16年7月6日現在
新潟·福島豪雨	7月12~13日	-	16	0	16	13	平成 16 年 9 月 10 日現在
福井豪雨	7月17~18日	-	4	1	5	4	平成 16 年 8 月 27 日現在
台風 10 号	7月31日	高知県	2	0	2	2	亚武 16 年 10 日 10 日 1五
台風 11 号	8月4日	徳島県	3	0	3	3	平成10年10月19日現任
台風 15 号	8月20日	青森県	10	0	10	9	平成 16 年 8 月 27 日現在
台風 16 号	8月30日	鹿児島県	14	3	17	7	平成 16 年 9 月 15 日現在
台風 18 号	9月7日	長崎県	41	4	45	15	平成 16 年 9 月 16 日現在
台風 21 号	9月29日	鹿児島県	26	1	27	9	平成 16 年 10 月 19 日現在
台風 22 号	10月9日	静岡県	7	2	9	3	平成17年2月25日現在
台風 23 号	10月20日	高知県	95	3	98	55	平成 17 年 2 月 25 日現在
合計			218	17	235	119	合計には年齢が不明の 39 名を 含む

表 3.2-2 平成 16 年に発生した主な水害

出典:内閣府資料より作成

高齢者は65歳以上を言う



図 3.2-15 平成 16 年の台風・集中豪雨被害状況

b. 支援策の検討フロー及び検討内容

支援策の検討フローを図 3.2-16 に示す.また,具体的な検討内容については,「災害時要援護者の避難 支援策の具体化のための手引き(案)」を参考にされたい.



図 3.2-16 支援策の検討フロー

c. 災害全般に対する基本的な検討事項の適用性について

さらに,洪水以外の高潮,土砂災害,地震,津波,火山災害に対する手引き(案)の適用性について検討し, また先行事例についても収集整理した.詳しくは「災害時要援護者避難支援策の具体化のための手引き (案)参考資料」を参考にされたい.

3.2.4 行政施策への対応

1) 都市域氾濫モデル活用ガイドライン(案)の作成

特定都市河川浸水被害対策法の施行により,特定都市河川流域の全部又はその一部をその流域に含む 市町村の長,当該市町村を包括する都道府県の知事,及び特定都市下水道の下水道管理者は,共同して 都市浸水の発生を防ぐべき目標となる降雨が生じた場に,都市浸水が想定される区域を都市浸水想定区域 として指定する必要がある.また,その浸水区域及び浸水した場合に想定される水深等を公表しなければなら ない.

本ガイドラインは,都市浸水想定区域の検討,都市浸水想定区域図の作成等において必要とされる氾濫 解析モデルの利活用に関する標準的な技術的事項を示すものである.

図 3.2-17 に都市浸水想定区域図作成の標準フローと本ガイドラインの活用範囲を示す.

都市浸水想定区域図作成において,構築された氾濫解析モデルは,下水道管路等と地表面の浸水状況の解析だけでなく,雨水流出抑制効果の評価や対策施設の機能の評価など,流域管理の観点から流域全体の対策効果判定にも活用することが期待される.



図 3.2-17 都市浸水想定区域図作成の標準フローと本ガイドラインの活用範囲 (参考:特定都市河川浸水被害対策法施行に関するガイドライン)

3.3 高潮に関する災害と対策

3.3.1 ハザード評価

高潮に関するハザード評価として、台風や低気圧の諸元を確率的に取り扱ったモンテカルロシミュレーションにより潮位等を確率的に評価する手法を検討した.

1)台風による高潮・越波量の確率的評価1)

①概要

高潮災害に対する効果的な対策の一つとして、氾濫危険度の周知による被害軽減を目的とした、想定され る浸水深などの氾濫危険度を地図上に示したハザードマップの作成と公表がある. 2001年3月に関係省庁に より作成された「地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル」²⁾では、高潮対策の強化策の一つとして ハザードマップの作成が挙げられており、市町村長が国、都道府県等の関係機関の支援や協力を得ながら ハザードマップを作成するものとされている. しかし、ハザードマップに表示する氾濫危険度の評価手法が確 立されておらず、高潮ハザードマップは全国規模では整備されていないのが現状である.

高潮による評価対象地域への海水流入を予測し、それによる被害の指標となる浸水深などを見積もることにより、高潮氾濫の危険度は評価される.高潮による海水流入の予測においては、海岸堤防での潮位および越波量の設定法が課題として残されている.わが国では潮位の観測期間が限られているため、ハザードマップで対象とする数十年から数百年に1回程度の頻度で生じる潮位が正確に評価されていない.また、越波量については、その発生頻度の評価法が確立していない.その一因として、越波量の算定に用いられる潮位と波高はいずれも台風接近時には高くなることが多く、さらに潮位は浅海域では波高に影響することから、越波量の頻度を算定する際にこの両者を独立した事象として取り扱うことができないことがある.

潮位および越波量の生起確率の評価は,前述のように実測値を用いて行うことは難しいので,その評価手法の一例として,図 3.3-1 のように既往台風の特性から確率的台風モデルを構築し,極値統計解析に十分な期間について台風のシミュレーションを行い,各台風時の最大の潮位および越波量を算定し,その結果から潮位および越波量の生起確率を評価した.その概要を以下で述べる.



図 3.3-1 潮位・越波量の確率的評価の流れ

②確率的台風モデルの構築

1951~1997 年の 47 年間に発生した台風のうち中心気圧が 980hPa 以下に発達したものについて,一年間の平均発生個数を算出するとともに,台風属性(台風の中心位置,中心気圧,移動速度,移動方向,半径)の統計的特性を解析した.解析では,北緯 0~50°,東経 100~180°を対象領域として,台風属性およびその時間的変化量について,2°格子毎に平均値と標準偏差を求めた.

各年の台風発生個数は、実績の平均発生個数(17.91)に従うポアソン乱数により決定した.

各台風の初期位置は、図 3.3-2、3.3-3 のように、実績の累積度数分布に従う乱数で決定した.中心気圧の 初期値は、その位置における中心気圧の正規分布に従う乱数により決定した.台風半径の初期値は、既往台 風の解析から得られた台風発生時の気圧と台風半径の相関式で設定した.



図 3.3-3 台風発生位置の緯度の確率分布

任意時刻 n の台風位置は,時刻(n-1)における移動速度および移動方向と,各々の時間的変化量(平均値 +偏差)の和で決定した.時刻nの台風半径は,中心気圧の増減に応じて異なる相関式を用いて時刻nの中 心気圧から算定した.台風位置および台風半径以外の台風属性については,時刻(n-1)における台風属性と その時間的変化量(平均値+偏差)の和を時刻nの値とした.なお,偏差は,その場所において設定されてい る平均値と分散値による正規分布に従う乱数により決定した.また,台風属性が平均値から大幅にずれないよ うに,移動場所の台風属性の平均値により重み付けした量により補正した.対象領域外に台風が移動する,も しくは中心気圧が 1,010hPa以上になるまで,各台風のシミュレーションを行った.

図 3.3-4 は、台風の通過頻度について、1 回 47 年の台風シミュレーションを 50 回行った結果(図中の上)と 実測値(図中の下)を比較したものである. 計算された台風の通過頻度は実績と概ね一致している. 図 3.3-5, 3.3-6 は、台風の中心気圧および移動速度の平均値を、図 3.3-4 と同様に示したものである. 中心気圧、速度 とも、計算値と実測値は概ね一致している. 同様の整理を移動方向について行ったところ、これについても同 様の結果が得られた. 以上のことから、この手法により十分な精度で台風シミュレーションを行うことができると 判断される.



図 3.3-4 台風の通過頻度



図 3.3-5 台風の中心気圧の平均値



図 3.3-6 台風の移動速度の平均値

③潮位および越波量の再現期間の評価

構築した確率的台風モデルにより、2,000年間の台風シミュレーションを行い、各台風について図 3.3-7 に示 された 4 海岸(東京湾:検見川海岸,伊勢湾:長島海岸,大阪湾:淀川河口,土佐湾:高知海岸仁淀川河口) での時系列の潮位偏差,潮位,波浪,越波量を計算し,その結果を用いた極値統計解析により対象海岸での 潮位偏差,潮位,有義波高,越波量の再現期間を評価した.



図 3.3-7 調査対象地域

海上風の分布は,柴木・後藤³⁾にならい境界層モデルを用いて推定した.また,気圧の分布は Myers モデ ルで近似した.

予測された台風の数が著しく多いので、潮位偏差は気象庁⁴⁾の予測式で、有義波高および有義波周期は SMB法で算出した.外洋に面した土佐湾については、wave setupを考慮するため、潮位偏差に有義波高の1 割を加えた.以上のような簡易的な予測式で算出された高潮偏差,有義波高,有義波周期を,1949~2000 年の既往台風について各地点の推算値と実測値を比較して得た両者の相関式を用いて補正した.

潮位は、予測した潮位偏差に、乱数で決定した台風発生時刻からの予報天文潮を加えて算出した. 越波量の算定は、直立堤については合田⁵⁾に、緩傾斜堤については玉田ら⁶⁾に従った. 極値統計解析では、合田⁷⁾に従い、各台風時の最大越波量などに Gumbel, Weibull, 極値 II 型の各分布を当てはめ、最も適合する分布 を採用した.

図 3.3-8 は,対象海岸において潮位偏差が最大となる台風時の気圧,風速,風向,潮位偏差,潮位,波高, 越波量を示したものである.東京湾では,潮位偏差は 2.7m に達したが,干潮と重なったため潮位は 2.0m に 留まり,越波量は非常に少なかった.伊勢湾では,潮位偏差は 4.7m,潮位は 5.5m に達し,越波量も 0.025m³/m/s と大きかった.大阪湾でも潮位偏差は 3.5m,潮位は 4.2m と大きく,越波量も 0.01m³/m/s を上回 った.土佐湾では,潮位偏差は最大でも 1.6m だが,波高が大きいため越波量は 0.21m³/m/s と他海岸に比べ 著しく多かった.

表3.3-1~3.3-4は,対象海岸における各再現期間に対応する潮位偏差,潮位,波高,越波量の計算結果である.

潮位偏差は伊勢湾がもっとも大きかった.山口ら⁸⁾は,確率的台風モデルと潮位偏差に関する重回帰式を 組み合わせたシミュレーションにより,再現期間 100 年の潮位偏差(東京約 1.6m,名古屋 2.5m,大阪 2.7m, 高知約 1.9m),同 1000 年の潮位偏差(東京約 1.9m,名古屋 3.3m,大阪 3.1m,高知約 2.2m)を評価している が,ほぼ同一箇所と考えられる大阪については今回の評価結果の方が若干小さい.また,山口ら⁹⁾は,確率 的台風モデルと高潮の数値モデルを組み合わせたシミュレーションにより伊勢湾における再現期間 1000 年の 潮位偏差の分布を求め,長島では 3.5~4.0mと評価しているが,今回の評価結果と概ね一致している.なお, 外洋に面した土佐湾でも再現期間 1000 年の潮位偏差が 1.6m に達しているが,台風 7010 号による気象庁高 知検潮所(桂浜)の台風 7010 号による既往最大潮位偏差(2.35m)と比べると小さいものの,浦戸湾から離れ

26

た手結の最大潮位偏差より大きかった.



図 3.3-8 潮位偏差が最大となる台風時の海象 (左上:東京湾,右上:伊勢湾,左下:大阪湾,右下:土佐湾)

潮位も伊勢湾がもっとも大きく, 次いで大阪湾, 東京湾の順であった. 鳥居ら¹⁰は, 高知検潮所の実測値を もとに天文潮位と潮位偏差の結合確率を求め, T.P. +2.85m(朔望平均満潮位+既往最大潮位偏差)の再現 期間を 450 年と評価している. これと比べて今回の評価結果は小さい確率となっているが, 潮位偏差と同様に 場所が若干異なることが影響していると考えられる.

波高については, 土佐湾で再現期間 100 年で 17.0m, 同 1000 年で 20.0m と大きく, 内湾の中では大阪湾 が大きかった. 山口ら(1994a)が, 高知沖の 100 年確率波高を 12.8m(観測資料に基づく推定), 13.3m(50 年 100 回のシミュレーション資料に基づく推定), 1000 年確率波高を同様に 15.8m, 16.6m と評価しているが, 今回の評価結果の方が大きかった.

越波量は, 土佐湾が著しく大きく, 再現期間 50 年でも 0.1m³/m/s を超えている. 伊勢湾では再現期間 1000 年で 0.05m³/m/s を上回るが, 東京湾や大阪湾では再現期間 1000 年でも 0.01m³/m/s 程度であった. 伊勢湾 は東京湾や大阪湾と比べて天端高が 2m 程度高いものの, 潮位が高いため越波量が大きくなった.

表 3.3-1	潮位偏差の極値統計解析の結果

	return period (years)							
bay	50	100	200	500	1000			
Tokyo	1.62	1.82	2.01	2.25	2.43			
lse	2.63	2.94	3.25	3.63	3.90			
Osaka	1.88	2.12	2.34	2.62	2.82			
Tosa	1.27	1.36	1.45	1.56	1.63			

表 3.3-2 潮位の極値統計解析の結果

	return period (years)							
bay	50	100	200	500	1000			
Tokyo	1.91	2.09	2.28	2.52	2.71			
lse	3.11	3.45	3.79	4.23	4.57			
Osaka	2.32	2.57	2.83	3.17	3.42			
Tosa	1.62	1.70	1.78	1.88	1.94			

(m:T.P.基準)

表	3.3-3	波高の極値統計解析の結果

	return period (years)							
bay	50	100	200	500	1000			
Tokyo	3.05	3.24	3.43	3.66	3.83			
lse	3.21	3.37	3.52	3.69	3.82			
Osaka	4.53	4.75	4.95	5.20	5.36			
Tosa	15.89	16.96	17.94	19.15	20.00			

表 3.3-4 越波流量の極値統計解析の結果

	return period (years)						
bay	50	100	200	500	1000		
Tokyo	0.0017	0.0024	0.0033	0.0049	0.0067		
lse	0.0130	0.0193	0.0277	0.0429	0.0587		
Osaka	0.0001	0.0019	0.0039	0.0073	0.0108		
Tosa	0.1500	0.1997	0.2605	0.3623	0.4600		
					(m ³ /m/s)		

(m)

参考文献

1)加藤史訓,鳥居謙一,柴木秀之,鈴山勝之:確率的台風モデルを用いた潮位と越波量の確率評価,海岸 工学論文集,第50巻, pp.291-295, 2003.

2)高潮情報等のあり方研究会:地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル, 96p, 2001.

3) 気象庁: 潮位表(平成 12 年版), p.283, 1999.

4)合田良実:防波護岸の越波流量に関する研究,港湾技術研究所報告, Vol.9, No.4, pp.3-42, 1970.

5)玉田崇・井上雅夫・手塚崇雄:緩傾斜護岸の越波流量算定図とその越波低減効果に関する実験的研究, 海岸工学論文集,第49巻, pp.641-645, 2002.

6)合田良実:設計波高および設計潮位の決め方,第 33 回水工学に関する夏期研修会講義集,B-4, pp.1-18,1997.

7)山口正隆・畑田佳男・花山格章:わが国太平洋岸における高潮の極値の推定,海岸工学論文集,第 41 巻, pp.281-285, 1994.

8)山口正隆・畑田佳男・花山格章:伊勢湾における高潮の極値の推定,海岸工学論文集,第 42 巻, pp.321-325, 1995.

9)鳥居謙一・人見寿・福島雅紀:高知海岸における潮位の確率的評価に関する研究,海岸工学論文集,第
 48巻, pp.296-300, 2001.

10)山口正隆・畑田佳男・中村雄二・大木泰憲:わが国太平洋岸における超長期の台風発生波高の極値の推定,海岸工学論文集,第41巻, pp.206-210, 1994.
3.3.2 対象物の被災度評価

1) 海岸堤防

①概要

堤体の安定性の評価は,図 3.3-9 のように,波力,浮力,自重,堤体背後土圧(受働土圧)を考慮して行った.



図 3.3-9 直立堤に作用する荷重

滑動に対する安定性は,以下の式を用いて行った.

 $F_s \le \frac{\mu(W_0 - U) + H_P}{P}$

ここで, F_s :直立部の滑り出しに対する安全率, μ :直立部と捨石マウンドの摩擦係数, W_0 :直立部の水中 部分の重量(kN/m), U:直立部に作用する揚圧力(kN/m), P:直立部に作用する水平波力(kN/m), H_P :堤 体に作用する受働土圧合力(kN/m)である. 波力の算定は、「引用文献 13.」に示されている合田式を用いた. 堤体背後土圧(受動土圧)の算定は、「引用文献 13.」に示されている土圧の算定式を用いた.

転倒に対する安定性は,以下の式を用いて行った.

$$F_s \le \frac{W_0 t - M_U + H_p y}{M_p}$$

ここで、 F_s :直立部の転倒に対する安全率、 W_0 :直立部の水中部分の重量(kN/m)、t:直立部の重力の合力の作用線から直立部の堤体の後趾までの距離(m)、 M_v :揚圧力のよる直立部の後趾の回りのモーメント(kN·m/m)、 M_p :水平波力による直立部の後趾の回りのモーメント(kN·m /m)、 H_p :堤体に作用する受働土 圧合力(kN/m)、y:受働土圧合力の作用線から直立部底面部までの距離(m)である.

②安定性評価手法の検証

1999 年の台風 18 号により被災した山口県内の護岸および海岸堤防を対象に,前節までに述べた安定性 評価手法の検証を行った. 対象箇所は郡・津布田海岸(もたれ壁式),床波漁港(重力式),埴生漁港(直立 壁式)である.既存資料から設計時と被災時の波高を算定し,それぞれについて滑動および転倒に対する安 全率を算定した.郡・津布田海岸と埴生漁港に関しては厚狭港沖開作地区のデータを準用した.被災時の波 高については,埴生漁港に関して郡・津布田海岸のデータを準用した.打ち継ぎ目より上部の堤体が転倒し た郡・津布田海岸および床波漁港については,打ち継ぎ目より上部の安全率も算定した.

表 3.3-5 は, 設計外力と被災時の外力に対する海岸堤防の安全性を評価した結果である.郡・津布田海岸, 床波漁港とも, 設計波に対しては打ち継ぎ目においても堤体の安定性に問題はないが, 被災時の波浪が作 用した場合に打ち継ぎ目において転倒するという結果となった.このほか, 埴生漁港については, 設計波にお いては安定する結果となったが, 被災波を作用させた場合, 滑動, 転倒とも許容値を満足しない結果が得ら れた.

以上のように、この評価手法により被災の発生を十分に説明できることから、この評価手法の現地適用性が 確認された.

対象	被災	郡·津布日	田海岸	床波漁港		埴生漁港		
	形態	設計波	設計波 被災波 請		被災波	設計波	被災波	
打ち継ぎ目	滑動	18.10	1.91	3.93	1.30	-	-	
より上部	転倒	22.01	0.97	2.95	0.60	-	-	
堤体全体 滑動		19.99	9.11	5.38	2.87	3.55	0.80	
	転倒	18.84	18.84 3.58		1.45	1.47	0.31	

表 3.3-5 海岸堤防の安全率

③越波流量と堤体破壊との関係

開発した安定性評価手法を用いて越波流量と堤体破壊との関係を整理した.検討では,波高は設計時および被災時の値を,潮位は設計時と被災時の間で複数設定した.設定した潮位および波高について,堤前の 最高波高を算出し,堤体の滑動,転倒の安全率と越波流量を算定した.検討結果を表-2に示す.

図 3.3-10 は,開発した安全性評価手法を用いて算出した,転倒に対する堤体の安全率を,越波流量とともに示したものである.転倒の安全率が1となる越波流量は0.04m³/m/sと評価された.安全率が1に近い条件では,転倒の安全率は滑動よりも小さくなったことから,被災限界の越波流量は0.04m³/m/sと評価された.

表 3.3-6 検討結果

湖冶	Ho'	T1/2	LI1/2	Hmox	由る	- tar	動油量																
1401152		(11/3	())		24	±	(2/)									潮位	Ho'	T 1/3	H1/3	Hmax	安全	率	越波量
	(m)	(Sec)	(m)	(m)	7官則	和田	(m3/m*s)	床波漁港									(m)	(sec)	(m)	(m)	滑動	転倒	(m3/m·s)
3.82	2.11	6.00	0. /4	0.99	18.10	22.0	1 5.386E-05	潮位	Ho'	T 1/3	H1/3	Hmax	安全	围	越波量	3.64	2 11	6.00	1.86	2 60	3 55	1 47	6 764E-03
	1.40	5.84	0.6/	0.89	22.09	29.0	J 7.344E-06		(m)	(sec)	(m)	(m)	滑動	転倒	(m3/m·s)	0.0	1 40	5 94	1.00	2.00	4 24	1 07	0.7012.00
4.00	2.11	6.00	0.84	1.12	12.96	13. 0	5 2.511E-04	3 68	3 70	6 80	1 30	1.85	3 93	2.95	7 796E-03	4.00	1.40	5.04	1.40	2.33	4.24	1.07	0 5055 02
	1.40	5.84	0.79	1.03	15.09	16.0	6 2.782E-05		4 20	0 10	1 42	2.00	2.26	2 10	1 4065-02	4.00	Z. 11	0.00	1.90	Z. 0Z	Z. /1	1. 29	9. 000E=00
4 50	2 11	6 00	1.15	1 47	6 21	4 3	0 4 864F-03	4.00	4.20	6.00	1.40	2.05	0.20	2.10	1.400L-02		1.40	5.84	1.41	2.44	3.45	1.75	
	1 40	5 84	1 08	1 40	6 76	4.8	1 1 323E-03	4.00	3.70	0.00	1.40	2.03	2.72	1.00	1.709L-02	4.50	2.11	6.00	2.03	3.09	1.98	0.89	1.987E-02
5.00	2 11	6.00	1 44	1.83	3 61	2 1	2 335E-02	1.50	4. <u>2</u> 0	8.10	1.04	2.31	Z. U3	1.10	2. /48E=02		1.40	5.84	1.38	2.44	2.76	1.31	7.834E-04
0.00	1.40	6.04	1 22	1.75	2 96	2.1	1 0.2115-02	4.50	3.70	6.80	1.83	2.45	1.98	1.04	5.18/E-02	5.00	2.11	6.00	2.03	3.28	1.43	0.63	3 089F-02
5 50	2 11	5.04	1. 52	1.75	3.00	2.0	3. 211L-03		4. 20	8.10	1.99	2.71	1.58	0.81	6.903E-02		1 40	5.84	1 35	2 42	2.06	0.94	1 537E-03
5.50	2.11	6.00	1.00	2.10	Z. 21	1.2	5 7.345E-02	5.00	3.70	6.80	2.20	2.88	1.39	0.69	1.117E-01	5.50	2 11	6 00	2 01	2 41	0.72	0.34	4 9555-02
	1.40	5. 64	1.40	2.10	2. 39	1. Z	9 Z. 920E-02		4 20	8 10	2 36	3 13	1.17	0.57		0.00	2.11	0.00	2.01	0.40	0.75	0.00	4.0405.00
6.00	2.11	6.00	1.86	2.51	1. /9	0.9		5 51	3 70	6.80	2 57	3 31	0.92	0 42			1.40	J. 04	1. 33	Z. 40	0.97	0.41	4. 042E=03
	1.40	5.84	1.46	2.35	1.94	0. 9		0.01	4 20	0.00	2 72	2 50	0.70	0.26		6.00	2.11	6.00	1.99	3.48	0.55	0.22	
6.13	2.11	6.00	1.89	2.58	1.74	0.8			4.20	0.10	2.13	3.30	0.75	0.30			1.40	5.84	1.31	2.39	0.68	0.28	1.178E-02
	1.40	5.84	1.45	2.39	1, 91	0.9	7									6.50	2.11	6.00	1.97	3.50	0.44	0.17	ľ
-																	1.40	5.84	1, 31	2, 38	0,80	0, 31	



図 3.3-10 越波流量と転倒安全率との関係

参考文献

郡・津布田海岸

加藤史訓:高潮危険度評価に関する研究,国土技術政策総合研究所資料,第275号,108p.,2005.

2) 家屋·家庭用品の被害¹⁾

①概要

高潮対策の効果は、氾濫解析等により得られる浸水状況の変化だけでなく、家屋や家庭用品などの一般 資産の被害低減の観点からも評価される必要がある。高潮については、浸水と一般資産の被害との関係に関 する調査事例が極めて限られている。このため、家屋の各部位(基礎、床、壁など)や各種家庭用品(家具、 電気製品、自動車、衣類など)の被害と浸水深などとの関係が解明されておらず、高精度で浸水深を予測で きても一般資産の被害を精度良く評価できない状況にある。そこで、2004 年8月の台風 0416 号による高潮を 対象に、家屋および家庭用品の被害程度と浸水深などとの関係を解明するとともに、高潮対策の事業評価に 用いられる一般資産の被害率を評価した。

②調査方法

台風 0416 号による高潮で浸水した香川県高松市と岡山県倉敷市の世帯を対象に,浸水被害に関するア ンケート調査を実施した. 台風 0416 号の接近により,高松や宇野などで既往最高の潮位が観測され香川県, 岡山県などの沿岸部では浸水被害が発生した. 高松市では,床上浸水 3,538 戸,床下浸水 12,023 戸の被害 があった. また,倉敷市では,床上浸水 2,643 戸,床下浸水 1,693 戸の被害があった.

調査対象者は、浸水域の住宅地図から無作為に抽出した後、死傷者が出た世帯を除外した.現地調査では、調査への協力を依頼するはがきを調査対象者に事前に郵送し、2005年1月28~30日に調査員が各戸を訪問して、記入方法を説明した上で調査票を配布し、一週間後の2月4~6日に調査票を回収した.

調査には、河川災害の被害率を調査した栗城ら²⁾の調査票をそのまま用いた. 調査票の概要は以下のとおりである.

a)家屋

家屋の形式や築後年数,浸水深や土砂堆積深,浸水時間,流出部分の有無等を尋ねた後,表 3.3-7 に示された家屋の構成部分別に,4~6段階に設定した被害程度の中から該当するものを選択していただいた.調査票は,木造家屋用と非木造家屋用の2種類を用意した.

b)家庭用品

表 3.3-8 に示す家具, 電気用品について, 全所有数量, 製品下半分が浸水した数量, 製品全体が浸水した 数量, 流失あるいは廃品となった数量を記入していただいた. また, 自動車およびバイク・スクーターについて , 全所有数量, 浸水深が 0.5m 程度となった数量, 浸水深が 1m 程度となった数量, 全体が浸水した数量, 流 失あるいは廃品となった数量を記入していただいた. さらに, 表 3.3-8 に示す衣類等について, 全所有数量, 浸水した数量, 流失あるいは廃品となった数量を記入していただいた.

	基礎(布基礎,独立基礎),柱,屋根(瓦,亜鉛鉄板など),外壁(モルタル塗,板
木造	張など), 内壁(塗壁, 板など), 造作, 天井, 床(畳, 板張, タイルなど), 建具, そ
	の他
非木	主体構造(鉄筋コンクリート,鉄骨造など),外部仕上げ,内部仕上げ,床,天
造	井, 屋根, 建具, 設備(電気, 給水など), その他

表 3.3-7 調査対象の家屋構成部分

家具·	電気冷蔵庫, 電気掃除機, 電子レンジ, ガステーブル, ガス瞬間湯沸かし器, 電動ミシン, 電気こ
電気用	たつ, ガスストーブ, 温風ヒーター, 和だんす, 洋服ダンス, 整理だんす, 鏡台, 茶だんす・食器戸
	棚, 食卓・椅子, 電話機, 書棚, カラーテレビ, ラジカセ, ステレオ, ビデオデッキ, ピアノ・電気オル
	ガン, パソコン・ワープロ, エアコン室内機, エアコン室外機, 洗濯機
	男子オーバー・コート,男子背広,男子上着,男子ズボン,男子ネクタイ,婦人オーバー・コート,
大新卒	婦人スーツ,婦人ワンピース,婦人ブラウス,婦人スカート,婦人黒礼服,婦人着物,婦人訪問着,
 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	婦人留袖,婦人喪服,婦人羽織,婦人和服コート,婦人帯,婦人ハンドバック,セーター,靴,敷布
	団, マットレス, 掛布団, 毛布

表 3.3-8 調査対象の家具・電化用品,衣類等

③調査結果

(1)調査票の回収状況

調査票の回収数は, 高松市 125 件, 倉敷市 107 件である. 回答者の属性は以下のとおりである.

・世帯主の職業は,両市とも,無職が多くを占める「その他」が約40%で,会社員・公務員が約35%,自営業が約20%であった.

・木造家屋の割合は, 高松市が 85%, 倉敷市が 75%であった. また, 2 階建ての割合は高松市が 86%, 倉敷市が 80%, 地階を有する家屋の割合は両市とも 2%程度であった.

・築後年数が 30 年を超える家屋の割合は, 高松市で 41%, 倉敷市で 35%であった. また, 同 10 年以下の家屋の割合は, 高松市で 15%, 倉敷で 24%であった.

(2)家屋の浸水状況

図 3.3-11 のように、回答者中の床下浸水の割合は高松市が 37.6%、倉敷市が 28.0%で、平均的には倉敷市の方が浸水深は大きかった。両市とも、床上 3m 以上の浸水家屋は含まれていなかった。浸水時間は 図 3.3-12 のように、両市とも回答者の 4 割が 12 時間以下であるが、高松市では 72 時間超という回答も見られた.また、家屋内での土砂堆積は、図 3.3-13 のように両市とも回答者の 9 割弱が無かったと回答しており、残りもほとんど全てが厚さ 10cm 未満であった。台風 9918 号の被害率調査²⁰の対象者と比べると、土砂堆積があった家屋の割合は少ない.



(3)家屋の被害状況

回答数の8割を占めた木造家屋については、家屋の各部位の被害と浸水深との関係は以下のとおりである

- 布基礎は床下浸水でも1割の世帯で不同沈下が生じており、その割合は浸水深とともに大きくなる(図 3.3-14). 独立基礎では、床下浸水でも2割の世帯で不同沈下しており、布基礎と比べ全体的に被害程 度が大きかった。
- ・ 柱は、床下浸水では被害がなかったものの、床上浸水になると損傷した家屋の割合が増加する(図 3.3-15).
- ・ 屋根や天井の被害程度については、浸水深とほとんど関係がなかった.
- ・ 外壁は,床下浸水では表面汚染程度の被害である.床上浸水になると,板張りの外壁は図 3.3-16 のよう に浸水深とともに損傷の程度が著しく大きくなるが,モルタル塗の外壁は図 3.3-17 のように床上1m 以 上の浸水でも剥落の割合は 2 割に過ぎない.
- ・ 塗壁の内壁は、図 3.3-18 のように床上 0.5m 未満の浸水でも半数の世帯で亀裂等が生じている. また、 被害程度は浸水深とともに増大している.
- ・ 畳(図 3.3-19), 板張りの床とも, 床上浸水では, 浸水深とともに被害程度が増大する傾向が認められた



(4)家庭用品の被害状況

家庭用品の被害状況について,家具・電気用品,自動車,衣類等に分けて考察する.

図 3.3-20 は、家具・電気用品について、浸水深別に被害状況を示している.床下浸水では被害はほとんど 発生していないが、床上浸水になると浸水深とともに流失・廃品の割合が増加し、床上 1m 以上の浸水では 8 割以上が流失・廃品である.



図 3.3-21 は自動車の被害状況を示している. 家具・電気用品とは異なり, 流出・廃品の割合は, 床下浸水 でも4割弱, 床上1m以上の浸水では8割弱に上る. バイク・スクーターも同様の傾向であった.

図3.3-22は、衣類等の被害状況を示している.家具・電気用品や自動車と比べて、流出・廃品の割合は小さかった.



図 3.3-22 衣類等の被害

④被害率の算定

(1)被害率の算定

家屋と家庭用品の被害率の算定は,栗城ら²⁾に従って以下のように行った. a)家屋

被害率=
$$\sum_{i} \left\{ \sum_{j} \left(Db_{ij} \times Lb_{ij} \right) \times Pb_{i} \right\}$$
 (1)

ここで, Dbij:部分別損傷程度別被災数量(当該被害があった場合 1, なかった場合 0), Lbij:部分別損傷程 度別損耗率, Pbi:部分別価値構成比, i:家屋の構成部分(基礎, 外壁, 床など), j:損傷程度である. このうち , 部分別損傷程度別損耗率および部分別価値構成比については, 栗城ら(1995)の調査結果を用いた. b)家庭用品

被害率=被害額÷所有資産額

$$=\sum_{i}\left\{\sum_{j}\left(Df_{ij}\times Lf_{ij}\right)\times Pf_{i}\times Rf_{i}\right\}\div\sum_{i}\left(Tf_{i}\times Pf_{i}\times Rf_{i}\right)$$
(2)

ここで, Dfij:品目別浸水程度別被災数量,

Lfij:品目別浸水程度別損耗率,

- Pfi:再調達価額,
- Rfi:経年残価率,

Tfi:品目別所有数量,

i:品目,

j:浸水程度である.

このうち,品目別浸水程度別損耗率および再調達価額については栗城ら³⁾の調査結果を用い,経年残価率は一律 0.75 とした.

(2)被害率の都市間比較

図 3.3-23 および 3.3-24 は、台風 0416 号時における浸水深別の被害率の平均値を、高松市と倉敷市に分けて示している. 高松市の回答者には床上 1m 以上の浸水家屋が含まれていない. 家屋の被害率は、床上 0.5m 未満の浸水では倉敷市の方が若干大きいが、床上 0.5m 以上の浸水では高松市の方が大きい. 家庭用品の被害率は、床下浸水では倉敷市の方がかなり大きかった.



図 3.3-23 家屋の被害率

図 3.3-24 家庭用品の被害率

家庭用品を家具・電気用品,自動車およびバイク・スクーター,衣類等に分けて被害率を算出したところ, 床下浸水での被害率は,家具・電気用品や衣類等が10%以下であるのに対し,自動車等は両市平均で45% と高かった.また,図 3.3-25 のように,自動車等の被害率は,床下浸水では倉敷市の方が高かった.さらに, 倉敷市の方が,浸水時間が長く,家庭用品を移動した世帯の割合が少なかった(高松市 42.6%,倉敷市 28.1%).以上のことから,床下浸水での家庭用品の被害率が倉敷市で比較的高かったと考えられる.



図 3.3-25 自動車等の被害率

(3) 台風 9918 号時の被害率との比較

図 3.3-26 および 3.3-27 は、台風 0416 号時の被害率(高松市と倉敷市の平均)を、海岸事業の費用便益分析指針^{4」}に示されている値とともに、台風 9918 号時の被害率調査結果³⁾(熊本県不知火町と山口県宇部市の平均)と比較したものである.家屋の被害率は、指針と同程度であるが、台風 9918 号時と比べると、床下浸水では若干小さく、床上浸水ではかなり大きかった.一方、家庭用品の被害率は、指針と比べると、床上0.5m未満の浸水では大きく、それ以上の浸水では小さかった.また、台風 9918 号時と比べると、被害率は全ての浸水深で小さかった.その要因として、家庭用品を安全な場所に移動させた世帯の割合が、台風 9918 号時の約 2 倍と高かったことが考えられる.



⑤おわりに

今回行ったような高潮による浸水被害に関する実態調査は数少なく、より精度の高い事業評価のため調査 事例を蓄積していく必要がある.被害率の算定に用いた損耗率は、河川災害の実績に基づくものであること から、塩分等の影響が加わる高潮災害では過小となる可能性がある.よって、高潮災害を対象とした損耗率 について検討が必要である.

また,今回使用した調査票は,家庭用品だけで56項目も記入する必要があり,回答にかなりの時間を要する.このため,戸別訪問による回答方法の説明が不可欠で,これがサンプル数の制約となっている.調査の精度と回答者の負担とのバランスを考慮しながら,調査票の改良を図る必要がある.

36

参考文献

- 1)加藤史訓, 福濱方哉, 野口賢二:高潮による浸水被害の実態調査, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.231-235, 2005.
- 2)栗城 稔, 今村能之, 小林裕明:水害被害の実態調査に基づく一般資産の被害率の推定, 土木研究所資料, 第 3330 号, 282p, 1995.
- 3)加藤史訓,鳥居謙一:高潮による一般資産の被害特性,土木計画学研究・講演集, No.24(1), pp.689-692, 2001.
- 4)農林水産省農村振興局,農林水産省水産庁,国土交通省河川局,国土交通省港湾局:海岸事業の費用 便益分析指針(改訂版),103p,2004.

3.3.3 被災低減のための対策

2005 年 8 月のハリケーン・カトリーナによる米国ニューオーリンズでの大規模な高潮災害による死者・行方不明者は 1,200 人を上回った.ニューオーリンズ市は市域の約7割が海抜0メートル以下であり、このようなゼロメートル地帯を抱えるわが国の高潮対策への警鐘となった.

この災害をふまえ、国土交通省では学識経験者を委員とする「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」を 2005 年 10 月に立ち上げ、ゼロメートル地帯の高潮対策のあり方について議論した. そして、2006 年 1 月には提言 をとりまとめた.

図 3.3-28 のように,提言では,ゼロメートル地帯の高潮対策の基本的方向として,(1)これまでの高潮計画に 沿って浸水防止に万全の対策を講じるため,防護施設の着実な整備および信頼性の確保にもっとも重点を 置くものの,(2)不足の事態に備え大規模な浸水を想定した場合の被害最小化対策を講じることとしている.さ らに,高潮防災知識の蓄積・普及,高潮防災に関する更なる安全に向けての検討を,推進すべき施策の一つ として挙げている.



図 3.3-28 推進すべき具体的施策

参考文献

ゼロメートル地帯の高潮対策検討会:ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について, 17p.,

3.3.4 行政施策への対応

①概要

平成 16 年は 10 個の台風が日本に上陸し,各地で高潮や高波による被害が頻発した.たとえば,台風 16 号や 18 号により,瀬戸内海沿岸を中心に高潮による浸水被害が広範囲で生じた.また,台風 23 号の接近時には,室戸岬周辺で記録的な高波と高潮が観測され,高知県菜生海岸では海岸堤防の倒壊と越波による人的・物的被害が生じた.

高潮・高波による被害の低減には、堤防等の海岸保全施設やハザードマップの整備とともに、台風接近直前に浸水に関わる予測情報を提供することにより、適切な水防活動や住民の避難行動を促すことが必要である.

各地の気象台が発令している高潮や波浪に関する警報等は,予報区域が比較的広く,各海岸においてうちあがる波が堤防を越えるかどうかを示すものではないため,水門の閉鎖等の水防活動に有効に活用されていない.また,気象庁の数値予報システムでは 10km 程度の計算格子で波浪の推算が行われているため,沿岸域の地形が十分に考慮されておらず,内湾における波浪推算の精度が高いとはいえない.

そこで、平成 16 年度より、国土交通省河川局、港湾局、気象庁の連携により、水防警報等の充実を図るため、「高潮情報システム」の開発が進められている。国土技術政策総合研究所では、高潮情報システムの一部である浅海波浪予測モデルと波浪うちあげモデルを開発している。本稿では、高潮に際して住民が必要とする情報に関するアンケート調査の結果とともに、高潮情報システムの概要と浅海波浪予測モデル開発の中間成果¹⁾を報告する。

②高潮に関する情報のニーズ

高潮に関する各種情報の必要性およびそれらの情報を入手したい時点について,住民を対象としたアンケートを実施した.

平成 16 年 8 月の台風 16 号の接近により,高松や宇野などで既往最高の潮位が観測され,香川県,岡山県などの瀬戸内海沿岸では浸水被害が発生した.中でも被害が大きかった高松市(床上浸水 3,538 戸,床下浸水 12,023 戸)と倉敷市(床上浸水 2,643 戸,床下浸水 1,693 戸)において,高潮で浸水被害を受けた世帯から,調査対象世帯を 232 軒無作為に抽出し,その世帯主に記入していただいた.調査は,平成 17 年 1~2 月に行った.

調査では、以下の4つの情報について、必要性および必要となる時点を尋ねた.

・近くの海岸での潮位の予報値(例:○時間後の△△海岸の潮位は**m)

・近くの海岸での波浪の予報値(例:○時間後の△△海岸の波高は**m)

・近くの海岸で潮位が堤防の高さを越える見込み(例:○時間後に△△海岸では潮位は堤防高を**m 越える 見込み)

・住んでいる地区が浸水する見込み(例:○時間後に□□地区は**mの深さで浸水する見込み)

図 3.3-29 のように、いずれの情報についても多くの人が「特に必要」あるいは「必要」と回答としているが、潮 位や波浪という来襲外力の予報値より、越水や浸水という被害に直接関わる情報の方が、特に必要と回答す る人が多かった.海岸の場合、潮位が堤防高を上回らなくても波のうちあげによって浸水が生じることから、潮 位や波浪の予報値に留まらず、波のうちあげ高などのより詳細な情報が求められていると判断される.











表 3.3-9	避難勧告を知らせる伝達手段の布室	
		1

1 位		2 位		3 位	
テレビ	87	広報車	54	広報車	50
広報車	40	テレビ	35	テレビ	42
防災スピーカー	33	防災スピーカー	34	町内会役員からの電話	36
町内会役員からの電話	23	ラジオ	29	ラジオ	19
町内会役員から口伝て	13	町内会役員からの電話	24	防災スピーカー	17
役場職員の直接訪問	8	町内会役員から口伝て	21	町内会役員から口伝て	16
ラジオ	6	携帯電話	6	携帯電話	9
携帯電話	3	役場職員の直接訪問	5	役場職員の直接訪問	6
インターネット	0	インターネット	1	インターネット	4
その他	1	その他	1	その他	2
無回答	18	無回答	22	無回答	31

また,情報を入手したい時点は,図 3.3-30 のように,浸水開始の6時間前という回答が比較的多かった.台 風接近時には強い風雨により避難行動が危険になりがちであることを考慮すると,この時点が情報提供の一 つの目安となると考えられる.

市町村長が行う避難勧告についても、知らせてほしい時点を尋ねたところ、図 3.3-31 のように浸水が始まる 2~3 時間前に欲しいという回答が最も多かった.また、伝達手段の希望を第3位まで選択していただいたとこ ろ、表 3.3-9 のように、テレビ、広報車、防災スピーカーの順に希望が多かった。回答者が世帯主ということもあ り、携帯電話、インターネットは、希望者が比較的少なかった。 ③高潮情報システムの概要

図 3.3-32 は高潮情報システムの全体像を示している. 気象庁の数値予報システムでは, 台風接近時には 台風予報が3時間間隔で更新されている. 台風の予報は, 12 時間後, 24 時間後, 48 時間後について, 中心 気圧とともに, 中心の位置を予報円として示すものである. これに基づいて, 波浪は台風予報円の中心を通 る1コースについて, 潮位は台風予報円の中心に加えて予報円の周囲を通る4コースについて推算されてい る. 波浪および高潮の予報値は地方気象台に転送され, 高潮警報等の発令に活用されている.

数値予報システムでは,計算格子間隔は,現在のところ波浪モデルで約10km,高潮モデルで約1.8km であるが,平成17年度末のスーパーコンピューターの更新によりそれぞれ約5km,約1kmと細かくなる予定である.

しかし,波浪モデルの解像度は,高潮が特に問題となる内湾における波浪の推算には依然として粗すぎる. そこで,内湾を対象に,より解像度が高いモデルを「浅海波浪予測モデル」として開発し,数値予報システム に組み込むことを検討している.

一方,海岸保全施設の管理者が台風接近前に水門の閉鎖等を確実に行うため,潮位や波浪の予報値だけでなく,波浪のうちあげ高の予報値も必要である.そこで,海岸管理者等が気象庁の数値予報システムから 各海岸の波高,周期,潮位の予報値を入手し,堤防や海底断面の形状を考慮して波のうちあげ高を算出する 「波浪うちあげモデル」を開発することとした.



図 3.3-32 高潮情報システムの全体図

④浅海波浪予測モデル

1)評価するモデルの概要

浅海波浪予測モデルは、気象庁の数値予報システムにおいて、波浪の面的予測情報を境界条件として、 沿岸域の波浪を詳細に推算するものである.

浅海域に適用できる代表的な波浪推算手法として、WAM (Wave Analysis Model)や SWAN (Simulating WAves Nearshore)が知られている. これらは、外力として風を与えて波浪を推算するものであり、特に沿岸域において重要な現象である浅水変形や屈折も考慮されている. WAM は外洋での波浪推算に実績があり、浅海域への適用についても近年検討されている. SWAN は、浅海域での波浪推算のため WAM を改良したものであり、地形性砕波も考慮されている.

一方,海岸保全施設の設計においては,施設近傍での波浪の諸元を求めるため,外力を与えないで入射 波の屈折や砕波等を計算する波浪変形モデルが多用されてきた.波浪変形モデルは,風による波の発達等 を考慮していないが,それ故に計算所要時間が短いという利点を持っている.

本研究では、対象海域全体を中領域、対象海域中の対象海岸近傍を狭領域として、表-2のように領域毎

に WAM, SWAN, 波浪変形モデルを設定し, この5つのモデルについて計算精度および計算所要時間を比較した. モデル1~4では, 工領域(東経120~155°, 北緯15~50°)の波浪推算をWAM(計算格子間隔約5km)で行い, その結果を境界条件として中領域の波浪を計算格子間隔約1.7km で推算し, さらにその結果を境界条件として狭領域での計算を行っている. モデル5では, 中領域の計算を行わず, 広領域の計算結果を境界条件として, 狭領域での計算を行った. なお, 狭領域での計算格子間隔については, WAM と SWANは約0.4kmとし, 波浪変形モデルは計算量が少ないので 50m とした.

	我 3.3-10 L / //	的設定		
モデル	中領域	狭領域		
1	WAM	WAM		
2	WAM	SWAN		
3	WAM	波浪変形モデル		
4	SWAN	SWAN		
5	_	波浪変形モデル		

表 3.3-10 モデルの設定

2)評価対象の海域

図 3.3-33 に示された伊勢湾, 播磨灘, 有明海を対象海域として, モデルの検証を実施した. 各図において ハッチされている部分は狭領域であり, それぞれ伊勢湾西南海岸, 東播海岸, 有明海岸の近傍である. また, 図中の点は中領域の計算格子の交点である.



図 3.3-33 各海域の中領域

3) モデルの評価

各海域に影響を及ぼした最近 10 年間の主な台風について, 各モデルにより波高および周期を算出して実 測値と比較した. 波浪の実測値は, 伊勢湾西南海岸(浜田), 東播海岸(江井ヶ島), 有明海岸(有明タワー) で得られている. 波浪推算には, 実測値との相関が高い風の推算値を使用した. また, 湾外の波浪は, 気象 庁のスーパーコンピュータの更新後における波浪モデルと同一の計算格子間隔(約 5km)で, WAM を用いて 独自に推算した. なお, 計算は, PentiumIV (周波数 3.6GHz)を積んだパソコンで行った. 各海岸での波高および周期の相関係数(R), 誤算の2乗平均(E), 一次回帰式(A:回帰係数, y:推算値, x:観測値), 東播海岸を対象とした計算の所要時間を表 3.3-11 にまとめた. この表のように, 相関係数は, いずれでのモデルでも周期と比べて波高の方が高く, モデル間で大差は見られなかった. また, 誤差の2乗平均については, いずれのモデルでも波高は 0.6m 未満と比較的よいが, 周期は SWAN を用いたモデル2や4 で大きかった. 一方, 計算所要時間については, 中領域, 狭領域とも WAM を用いたモデル1が最も短く, 中

	伊勢湾西南	海岸(浜田)	東播海岸(江井ヶ島)	有明海岸(7	有明タワー)	24時	間の計算所要	要時間
	波高	周期	波高	周期	波高	周期	広領域	中領域	狭領域
エデル.1	R=0.81	R=0.55	R=0.91	R=0.73	R=0.86	R=0.42			
(WAM_WAM)	E=0.58m	E=1.49s	E=0.34m	E=1.07s	E=0.43m	E=1.26s		約14分	約53分
	y=1.26x	y=1.09x	y=1.08x	y=1.05x	y=1.42x	y=0.99x			
エデルク	R=0.81	R=0.40	R=0.85	R=0.64	R=0.85	R=0.40			
(WAM-SWAN)	E=0.51m	E=2.58s	E=0.40m	E=1.83s	E=0.34m	E=1.82s		約14分	約232分
(WAM-SWAN)	y=1.21x	y=0.48x	y=0.96x	y=0.54x	y=1.19x	y=0.50x			
モデル3	R=0.74	R=0.56	R=0.92	R=0.86	R=0.88	R=0.56			
(WAM−波浪変形モデ	E=0.55m	E=1.23s	E=0.31m	E=0.96s	E=0.48m	E=0.96s	約1.5分	約14分	約92分
ル)	y=1.11x	y=1.02x	y=0.98x	y=0.86x	y=1.48x	y=0.90x			
エデルイ	R=0.81	R=0.48	R=0.97	R=0.91	R=0.95	R=0.85			
	E=0.43m	E=2.83s	E=0.40m	E=2.21s	E=0.32m	E=1.61s		約113分	約232分
(SWAN-SWAN)	y=1.04x	y=0.44x	y=0.84x	y=0.53x	y=0.80x	y=0.52x			
ᆂᆕᆈᄐ	R=0.73	R=0.57	R=0.92	R=0.80	R=0.87	R=0.56			
モノル5	E=0.55m	E=1.34s	E=0.32m	E=0.92s	E=0.44m	E=0.96s		なし	約92分
(収成支形モールのの)	y=1.08x	y=1.06x	y=1.02x	y=0.88x	y=1.39x	y=0.88x			

表 3.3-11 各モデルの計算精度および東播海岸を対象とした計算所要時間

R:相関係数、E:誤差の2乗平均、y=Ax:一次回帰式

領域約 14 分, 狭領域 53 分であった. モデル1では, 周期の回帰係数は1 程度であり, 波高の回帰係数は1 を上回っており, 平均的には危険側の推算値が得られている.

また,もっとも計算所要時間が短かったモデル1について,中領域と狭領域の計算結果を比較したところ,図 3.3-34のようにほとんど差が見られなかった.一方,中領域の計算結果は計算格子間隔約 5kmの WAM とは 大きく異なっていた.このことは,計算の格子間隔は 5km では粗すぎるものの,1.7km より細かくしても計算結 果は大きく変わらないことを示している.

気象庁のスーパーコンピューターでは、同一の計算は今回使用したパソコンの 1/7 程度の時間で終了する ものと推察されている. すなわち、スーパーコンピューターでは、WAM による中領域の計算は1海域あたり約 2 分で終了することになる. 仮に、浅海波浪予測モデルの対象を全国7海域とする場合、気象庁の数値予報 システムにおいて浅海波浪予測モデルの計算所要時間の合計は15分程度になると推察され、リアルタイム予 測に必要な計算速度が確保されていると判断される.

以上のことをふまえ、浅海波浪予測モデルは WAM による中領域の計算をベースにしていくこととした.



図 3.3-34 WAM における中領域(1.7km メッシュ)と狭領域(0.4km メッシュ)の推算結果の比較

⑤おわりに

浅海波浪予測モデルは、国土技術政策総合研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所、気象庁、気象 研究所により構成される「高潮情報システム技術検討ワーキング」での議論を通じて、開発を進めている。その 中で、特に港湾空港技術研究所海洋水理研究室の橋本典明室長(現九州大学大学院工学研究院教授)より 多くの御助言をいただいた.また、伊勢湾および播磨灘の海底地形データは、中央防災会議で整備した電子 データを内閣府よりお借りした.さらに、高潮に関する情報のアンケート調査に際しては、高松市役所および 倉敷市役所より御助言をいただいた.ここに記して謝意を表します.

参考文献

1)加藤史訓, 福濱方哉: 高潮情報システムの開発, 土木技術資料, Vol.47, No.8, pp.62-67. 2005.

3.4 まとめ

以上,報告してきたように,本研究では,雨水・高潮による災害リスク評価手法として,次に挙げる手法の開発を行った.

① 下水道を考慮した都市域氾濫解析手法

- ② 破堤氾濫流による危険度評価手法
- ③ 地下空間の水害リスク評価手法
- ④ 高潮・越波量の確率的評価及び堤防被災評価手法

下水道からの溢水を考慮可能な解析手法,破堤点近傍の氾濫流の挙動や家屋の流出による氾濫流の 挙動の変化を評価する手法,潮位・越波量などの生起確率を評価する手法など,各種解析・評価手法 において,これまで課題となっていた事象を解析・評価することが可能な手法を提案した.

さらに,被害軽減のための手法として,洪水時における災害時要援護者の避難支援策について検討 し,その具体化手法に関する手引きを作成した.具体的な手法としては,洪水時を対象としているが, 他の災害への適用性についても検討を行った.また,高潮に対する水防警報発令支援のため,台風接 近時に各海岸の沿岸波浪及び波のうちあげ高をリアルタイムで予測する高潮情報システムを設計し, 沿岸地形等の効果を考慮した波浪モデルと波浪うちあげモデルを構築した.

雨水・高潮による災害リスクの軽減対策を講じる上での従来の課題に対し,解決策・改善策を提案す ることで,一定の成果を挙げることができた.しかしながら,提案した手法の妥当性や効果など検証 しているものの,成果の導入を考えた場合には,さらなる精度検証や導入効果に関する検討を行って いく必要があると考えられる. 4.1 はじめに

日本は世界でも有数の地震常襲国であり、これまで地震による被害を多く受けてきた(表

4.1-1 参照). 戦後最大の犠牲者 を出した平成7年の兵庫県南部地 震以降も,鳥取県西部地震,芸予 地震,十勝沖地震,新潟県中越地 震等,大規模地震が頻発している. 一方で,図 4.1-1 に示すように東 海地震,東南海,南海地震等,さ らなる大規模地震の切迫性も高ま ってきている.

都市域には社会経済的な諸機能 が集中しており、大規模な地震が 発生すると被害は深刻なものとな る. 兵庫県南部地震では、多くの 犠牲者が発生したほか,木造家屋 密集地での火災,道路・鉄道等の 交通施設やライフラインなど都市 基盤の損壊,行政機関等中枢機 能の麻痺, 商業・業務機能の停滞, 被災地外部への経済的影響といっ た被害が見られた.このように、都 市域では施設の被害や人命の損 失などの直接的な被害のみならず, 二次災害による都市機能損傷が都 市内外の社会経済活動へ波及し, 被害をさらに大きくしている.

兵庫県南部地震の教訓を踏ま え,地震防災対策特別措置法(平 成7年),密集市街地における防 災街区の整備の促進に関する法 律(平成9年),建築基準法の改正 (平成10年)等法律の整備や,政

地震名	発生年月日	規模(M)	死者・行方不明者(人)
関東大震災	大正12(1923)年 9月 1日	7.9	死者 行方不明者 ^{105,385}
北但馬地震	大正14(1925)年 5月23日	6.8	死者 428
北丹後地震	昭和 2(1927)年 3月 7日	7.3	死者 2,925
昭和三陸地震	昭和 8(1933)年 3月 3日	8.1	死者 1,522 行方不明者 1,542
鳥取地震	昭和18(1943)年 9月10日	7.2	死者 1,083
東南海地震	昭和19(1944)年12月 7日	7.9	死者 998
三河地震	昭和20(1945)年 1月13日	6.8	死者 1,961
南海地震	昭和21(1946)年12月21日	8.0	死者 1,330 行方不明者 113
福井地震	昭和23(1948)年 6月28日	7.1	死者 3,769
チリ地震津波	昭和35(1960)年 5月23日	9.5	死者 122 行方不明者 20
日本海中部地震	昭和58(1983)年 5月26日	7.7	死者 104
北海道南西沖地震	平成 5(1993)年 7月12日	7.8	死者 201 行方不明者 29
兵庫県南部地震	平成 7(1995)年1月17日	7.2	死者 6,434 行方不明者 3
鳥取県西部地震	平成12(2000)年10月 6日	7.3	0
芸予地震	平成13(2001)年 3月24日	6.7	死者 2
十勝沖地震	平成15(2003)年 9月26日	8.0	死者
新潟県中越地震	平成16(2004)年10月23日	6.8	死者 59

表 4.1-1 日本の主な被害地震



図 4.1-1 近年発生した大規模地震と想定さ れる大規模地震

府の中央防災会議,地方自治体による地震被害想定の実施,想定結果を踏まえた防災計 画の策定等が積極的に進められてきた.例えば,中央防災会議では,平成13年以降「東海 地震に関する専門調査会」,「東南海・南海等に関する専門調査会」を設置し,被害想定の 実施,対策大綱,行動計画の策定など地震対策の充実強化の検討を行っている.

地震発生の予測は一般に困難であることから,発生するリスクを十分に把握した上で事前 の対策を進めておく必要があることは言うまでもない.そこで,防災事業計画策定の基本とな る被害想定・リスク評価の実用的な手法について検討した成果を4.2 で述べる.また,大規 模地震が発生した際には同時に多数の火災が発生し,大被害が発生する危険性があること から,地震時火災による被害とその対策について4.3 で述べる.さらに,北海道南西沖地震 (奥尻島等の津波被害),スマトラ大津波等,地震と同時に発生する津波が地震そのものの 被害よりも甚大な被害を及ぼす場合がある.そこで,津波による被害とその対策について 4.4 で述べる.

4.2 地震動に関する災害と対策

4.1 で述べたような被害を防止・軽減するためには、地震動により発生しうるリスクを十分に 理解した上で、適切な防災対策を講じる必要がある.地震動に対するリスクを評価するため

には,図4.2-1に示すように,構造物自体の 耐震性,構造物の被災が緊急の救援活動を 含め社会に及ぼす影響の大きさ(構造物の 重要性),およびそもそもの構造物が地震を 受けるリスク(地震ハザード)を評価する必要 がある.

ここでは、構造物管理者が容易に集めうる データを用い、かつ現実的なコストで実施可 能な評価方法について研究した成果を紹介 する.



図 4.2-1 リスクを評価する 3 要素

4.2.1 ハザード評価

1) 地震動強さの距離減衰式

地震動強さの距離減衰式は,対象地点における地震動強さ,あるいは地震動強さの分布を簡 便に推定することができるため,設計地震力の設定や地震被害想定に広く活用されている.距 離減衰式による地震動強さの推定では,複雑な震源過程や地盤構造の影響を考慮することはで きないが,実際に観測された地震動強さに直接基づいたものであることから,距離減衰式は依然 信頼性の高い地震動推定手法の一つである.

ここでは,1978年宮城県沖地震以降の大規模地震を含めた強震記録約11,000波を用いて, 計測震度の距離減衰式を作成した.また,3つの地盤種別,工学的基盤(S波速度700[m/s]程

47

度)を対象とした地盤補正係数を算出した.この距離減衰式は,地点ごとの地盤特性の違いを考慮した,高精度かつ簡便な地震動強さの推定を可能とするものである.

地震動強さの震源深さ依存性が見られた海溝性地震については式(4.2.1-1),依存性が見られなかった内陸地震については式(4.2.1-2)の回帰モデルを用いて、ダミー係数を用いた二段階回帰分析手法で回帰分析を行った.

$$I_{ij} = a_1 M_w + a_2 D - bX + c_0 - \log_{10} (X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + \sum_k \delta_{kj} c_k \pm e$$
(4.2.1-1)

$$I_{ij} = a_1 M_w - bX + c_0 - \log_{10} (X + d \cdot 10^{0.5M_w}) + \sum_k \delta_{kj} c_k \pm e$$
(4.2.1-2)

ここで, I_{ij}は i 番目の地震の j 番目の観測点における計測震度, X は断層面最短距離[km], D は震源深さ[km], c_k は k番目の観測点の地点補正値, e は標準偏差, a₁, a₂, b, c₀, c_k, d は 回帰係数である. 回帰分析の結果, 次の距離減衰式が得られた. 式(4.2.1-3)は海溝性地震, 式 (4.2.1-4)は内陸地震を対象としたものである.

 $I = 1.09M_{w} + 0.0118D - 0.0118X - 0.94 - \log_{10}(X + 0.0024 \cdot 10^{0.5M_{w}}) \pm 0.33 \qquad (4.2.1-3)$ $I = 1.35M_{w} - 0.0102X - 2.56 - \log_{10}(X + 0.0024 \cdot 10^{0.5M_{w}}) \pm 0.40 \qquad (4.2.1-4)$ また,距離減衰式の地盤補正係数は表4.2-1の通りである.

表4.2-1 距離減衰式の地盤補正係数

	I 種地盤	Ⅱ 種地盤	Ⅲ種地盤	工学的基盤
海溝性地震	~0.08	0.12	0.36	0.32
内陸地震	~0.09	0.16	0.38	0.38

例として,工学的基盤(S波速度 700m/s 相当)における地震動の計測震度を推定した距離減 衰曲線を図 4.2-2 に示す.



図4.2-2 計測震度の距離減衰曲線(工学的基盤)

2) 確率論的地震ハザード解析

将来発生する地震動強さを確率論的に評価する地震ハザード解析は,設計地震動あるいは設計地震動の地域別補正係数の設定など,実務においても広く活用されている.ここでは,同じ位置で繰り返し発生する活断層の地震及びプレート境界地震,並びにバックグラウンドゾーン内のランダムな位置で発生する地震を考慮した地震ハザード解析¹⁾を行う.

活断層としては,起震断層²⁾に加え,新編日本の活断層³⁾に記載されている長さ10[km]以上 の活断層(起震断層に含まれないもの)を考慮した.またプレート境界地震としては,宮城県沖地 震,三陸沖北部地震など,繰り返し発生している大規模な地震を考慮した.これらは地震調査研 究推進本部による長期評価結果⁴⁾に基づき,最新活動時期が特定されている場合には活動間隔 がBrownian Passage Time(BPT)分布で表されるものとし,そうでない場合には地震の発生が 定常Poisson過程に従うものと仮定した⁵⁾.

日本及びその周辺部を、地震活動がそのゾーン内で概ね均一と考えられる34のゾーンに分割 し、さらにこれらを深さ30[km]以浅の上層と30~100[km]の下層に分割した計68のバックグラウ ンドゾーンを設定した.各ゾーンでの年平均地震発生回数をGutenberg-Richter式でモデル化し、 地震の発生は定常Poisson過程に従うものとした.これら地震活動のモデル化の詳細については 参考文献¹⁾を参照されたい.

このような地震活動のモデル化により、日本周辺における地震の発生位置、規模(マグニチュード)、発生確率が設定される.これに加えて、個々の地震が発生した場合の地震動強さの確率 分布を1)の距離減衰式により推定することにより、確率論的地震ハザード解析を行うことができる.

まず工学的基盤における計測震度を指標とした地震ハザードを計算し,それに表層地盤のゆ れやすさ⁶⁾を加算したものが図4.2-3である.図の(a)は2006年1月から100年間の超過確率63% (定常Poisson過程に換算すれば100年に1回発生する),(b)は同様に超過確率5%(定常 Poisson過程に換算すれば2000年に1回発生する)の計測震度の分布を示したものである.



(a) 今後100年の超過確率63%
 (b) 今後100年の超過確率5%
 図4.2-3 表層地盤の揺れやすさを考慮した地震ハザード解析結果

3) 長周期地震動の増幅率の地域性

マグニチュード8程度以上の巨大地震では、震源域から数百km離れた地点でも、大きな振幅 のやや長周期地震動(周期数秒~数十秒程度)が観測されている.減衰の小さい長大構造物は、 その固有周期と地震動の周期が一致すると共振し、使用性や安全性が脅かされるおそれがある. そのため、地点ごとにどの周期帯の地震動が、どの程度大きくなるかを予測しておく必要がある.

ここでは,既往の観測記録をもとに,周期2~20秒のやや長周期地震動の速度応答スペクトル (減衰定数1%)を推定する距離減衰式を作成した.また,観測記録と距離減衰式による推定値と の比から,各周期の増幅率を全国591観測点で算出し,やや長周期地震動の振幅が大きくなる 地域やその程度(増幅率)を示すとともに,地震の発生地域により増幅率がどのように変化するか を検討した.

次式の回帰モデルを用いた二段階回帰分析により距離減衰式を作成した.

$$og_{10} S_V(T) = a(T)M_W - b(T)X + c(T) - d(T)log_{10}X$$
(4.2.1-5)

ここで, T は固有周期[s](T=2, 3, 4, ・・・, 20), S_V(T)は減衰定数 1%の速度応答スペクトル [cm/s], X は震源距離[km], a(T), b(T), c(T), d(T)は回帰係数である. 速度応答スペクトル S_V(T)は, 水平 2 成分それぞれの観測記録に対する一自由度系の速度応答波形(減衰定数 1%)を計算し, この応答波形の水平 2 成分合成の最大値をとったものである.

作成した距離減衰式から推定される速度応答スペクトルを,気象庁一倍強震計の記録に基づ く距離減衰式⁷⁾から推定したものと比較して図4.2-4に示す.内陸地震については,記録を用い た地震の規模の範囲外であるが,参考に示している.

佐々木・他の距離減衰式は減衰定数2%の加速度応答スペクトルを推定する式であるため,推

定した加速度応答スペクトルに減衰定数の補正を行った上で疑似速度応答スペクトルに変換して比較している.また,佐々木・他の式は気象庁マグニチュードM」と震央距離をパラメータとしているため,ここではM」=Mwとし,震源深さを20[km]として同じ震源距離で比較している.

この図によると、同じ地震規模では内陸地震の方が大きな速度応答が推定されている.これは 震源の浅い内陸地震の方が、表面波を励起しやすいことを反映したものと考えられる.

佐々木・他の距離減衰式は5つの海溝型地震の地震記録をもとに作成されており、本研究の 海溝型地震の式により近いものとなっている.ただし、本研究で用いた記録は平野部で得られた ものを比較的多く含むため、海溝型の式でも佐々木・他の式より大きな速度応答が推定されてい る.



なお海溝型の式で比較してみると、Mw=8.0では Mw=7.0の 6~9 倍程度の値となっている.

図 4.2-4 推定される速度応答スペクトル(減衰定数 1%)の比較

距離減衰式は全観測記録の平均的な傾向を表すものであるが、実際には周辺の地盤構造等 の影響により、やや長周期地震動の振幅が大きく増幅されやすい地点やそうでない地点がある. またその増幅の程度は地震動の周期によって異なる.ここでは観測記録を用いた全国591観測 点における地震動の増幅率を周期ごとに計算し、その地域性を検討してみた.

各観測点で得られた記録の速度応答スペクトルを,前述の距離減衰式による推定値で除した 値を距離減衰式に対する増幅率と考え,複数の記録が得られている観測点については平均する ことにより,各観測点における速度応答スペクトルの増幅率を計算した.

この結果の一部を図 4.2-5 に示す. 図の(a)は T=3[s], (b)は T=7[s]の速度応答スペクトルの 増幅率を示したものである. これらの図によると, わが国の主要な平野部では増幅率が 1.5 以上 となっており, 山地部の増幅率よりも明らかに大きい. また, T=7[s]では石狩平野, 勇払平野や 関東平野など, 特に地震基盤が深い平野部にのみ増幅率が 5 倍以上の観測点がみられ, 地盤 構造により特定の周期の地震動が大きく増幅されることが分かる.



(a) T=3[s]

(b) T=7[s]

図4.2-5 各観測点における速度応答スペクトル増幅率の分布

参考文献

- 中尾吉宏,日下部毅明,村越潤,田村敬一:確率論的な地震ハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所研究報告, Vol. 16, 37p., 2003.
- 2) 松田時彦,吉川真季:陸域のM≥5地震と活断層の分布関係-断層と地震の分布関係-その2,活断層研究, Vol. 20, 2000.
- 3) 活断層研究会:新編日本の活断層,東京大学出版会,1991.
- 4) 地震調查研究推進本部:http://www.jishin.go.jp/main/ index.html
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001.
- 6) 内閣府防災担当:「表層地盤のゆれやすさ全国マップ」について、
 http://www.bousai.go.jp/oshirase/ h17/yureyasusa/index.html, 2005.
- 7) 佐々木康,田村敬一,相沢興:気象庁一倍強震計記録に基づく長周期地震動特性の解析
 -(その5)1978年宮城県沖地震記録の解析-,土木研究所資料,第2664号,1988.

4.2.2 対象物の被災度評価

大規模地震発生直後においては,道路ネットワークの確保が避難や救助救援活動,緊急 復旧活動における最重要課題の一つといえることから,本研究では道路施設の被災度評価 について述べる.また,道路ネットワークとしての機能を考慮した道路防災事業のリスク評 価手法について述べる. ○被災度評価

道路施設の耐震性評価手法は,

- 既往の震災経験による被害の影響要因を統計的に分析した結果に基づいて, 簡便
 に道路施設の耐震性を判定する方法
- ・ 個々の道路施設においてその構造条件や地盤条件の調査を行い, 耐震計算を実施 して道路構造物の耐震性を判定する方法

に大別できる.

既往の道路施設を対象とする場合には数多くの箇所の耐震性評価を簡便に行うことが要請されることから、1つめの方法が用いられることが多い.ここでは、橋梁・盛土について地 震ハザードと道路施設の諸元から被災度を評価する手法を紹介する.

橋梁については,既往の地震による被害事例を調査・整理し,橋梁位置での地震ハザー ドと各橋梁の基本的な諸元情報という施設管理者が容易に集めうる資料を用いて被災度を 簡便に推定する手法が提案されている²⁾.評価手法の全体構成を図 4.2-6 に示す.構造 的な被災度を判定する被災度評価と走行性を判定する評価から構成し,それぞれチェック シートを用いて,構造特性に応じてより詳細な被災度評価を行う流れとなっている.図 4.2-7 に構造被災度の判定フローを示す.被災度 A, B, C の分類は,道路震災対策便覧¹⁾に従 い,以下の通りとなっている.

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,落橋等致命的な被害 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



図 4.2-6 橋梁の被災度評価手法全体構成



図 4.2-7 構造被災度の判定フロー

また,近年の被害地震に適用して手法の有効性を検証した.その結果,安全側の評価に はなるものの,7割弱と概ね妥当な精度で被災度の予測が可能であることが分かった. 盛土については,既往地震での被災事例による沈下量と道路防災総点検評点の関係を照査し, 道路防災総点検の評点および地震動の関数として沈下量を算出する評価式を用いた評価手法 を提案している³⁾.評価のフローを図 4.2-8 に示す.



図 4.2-8 盛土の被害推定フロー

① 対象道路盛土の位置,道路防災総点検データの整理

道路盛土区間の位置(緯度・経度),平成8年度道路防災総点検等の簡易耐震性評価に必要なデータを整理し,平成8年度道路防災総点検の評価点数を算出する.

② 計測震度の確認(震度6弱以上)

想定地震の震度分布データから,対象道路盛土が位置するメッシュの計測震度を読み とり,メッシュの計測震度が 5.5 以上(震度 6 弱以上)か否かを判断する.

③ 換算水平震度の算出

②で読みとった当該地点の計測震度から,表 4.2-2 に従い換算水平震度を求める.

計測震度(気象庁震度階級)	換算水平震度 k _h
5.5 以上 6 未満(6 弱)	0.40
6以上 6.5 未満(6 強)	0.60
6.5 以上(7)	0.80

表 4.2-2 計測震度と換算水平震度の関係

④ 道路盛土の沈下量の推定

道路防災総点検の評価点数および換算水平震度を用いて,道路盛土の沈下量を次 式により推定する.

$$d = 0.165(p-2) \cdot k_h^{0.6}$$

ここに,

d:盛土の推定沈下量(m)

p:道路防災総点検の評価点数

k_h:換算水平震度

⑤ 盛土の推定沈下量と判定値の比較

道路盛土の耐震性は盛土の沈下量で評価するものとし,推定沈下量が判定値を上回 る盛土については,詳細な検討が必要と判断するものとする.判定値は過去の盛土の被 害事例等を勘案し1mとする.推定沈下量>1mを被災度大,≦1mを被災度小としてい る.

○被災度評価結果の図化

現場において道路管理者が道路ネットワークの脆弱性および耐震対策の実施状況をイメ ージし,確実に耐震対策を実施しつつ,災害対応にも活用して行くことを狙い,結果の統一 の書式による図化(図 4.2-9 参照)についても提案している.

このマップには、地震ハザード評価から得られた地震動分布,道路施設の被災度評価結 果及び道路施設の補強実施状況を記載しており、管理エリア内の脆弱ルートを一目で把握 することが可能である.また,被災履歴や補強実施状況を逐次更新することで,関連データ の管理が容易となる.



図 4.2-9 防災マップ(例)

マップ作成に必要なデータとその入手方法,管理が容易なデータのフォーマットを整理する とともに,道路施設の被災度評価手順と合わせた防災マップ作成マニュアルとして取りまと めた. ○リスク評価

多岐にわたる被災の影響を評価するためには,考慮する項目を貨幣換算し,これによって 損失額を評価する方法と,貨幣換算できないものについても定性的評価を行う方法がある. 本研究では,社会経済的視点から見て可能な限り客観的な評価を目指し,定量評価手法を 検討した.また,防災事業の効果を費用便益分析を用いて評価する手法についても検討し, 評価マニュアル(案)として取りまとめた.

評価手法の検討にあたっては、地方整備局の各事務所や地方自治体等の現場に適用することを想定して、データ収集・加工作業の簡略化や算定負荷の軽減など実用化を図った. また、道路のネットワークとしての機能を評価するために交通量推計を行い、迂回や混雑による損失を算出することとした.評価フローを図 4.2-10 に示す.



図 4.2-10 リスク評価フロー

① 地震ハザード評価

対象地域における地震の設定は,道路施設に被害を及ぼす恐れのある地震(シナリオ地 震)をすべて考慮する方法と,代表的な1シナリオ地震を用いる方法がある.現段階では, 防災事業の効果を評価する場合にはすべての地震の被害を考慮できる前者の評価方法 が妥当と考えている(4.2.1参照).一方後者は,対象道路網において特に対応を急ぐ地 震について,道路ネットワークの脆弱性,耐震対策事業の効果を評価したい場合に活用す る. 道路施設位置における地震動強さ(最大速度,最大加速度,SI値,計測震度)は,各震 源のデータから距離減衰式⁴⁾により推定する.また,推定結果より,道路施設に被害を及 ぼす恐れのあるシナリオ地震を設定する.ここでは被害発生のしきい値として最大加速度 250gal⁵⁾を設定している.なお,震源モデルは,活断層,プレート境界型地震のほか,伏在 断層等震源を特定できない地震(バックグラウンドゾーン地震)についても過去の地震記録 をもとに考慮⁶⁾している.

② 被災度評価

①で求めた地震動強さと上述した被災度評価手法より,橋梁・盛土の被災度を評価する.
 ③ 便益の算定

地震被害を起因とする道路施設の損失評価項目として,道路施設の被害が直接原因と なる直接損失と,道路施設が有していた機能の低下が波及することにより生じる損失等の 間接損失に大別して抽出した.これらの項目について,データの収集および評価の難易 度,損失の大きさ,貨幣価値化の可否から,評価項目としての選定を行った.結果を表 4.2-3 に示す.

		損失項目	1	被害額評 価の難易 度	被害額の 大きさ	評価項目 としての 考慮	評価内容および評価項目〇としなかった場合についてはその理由		
	道路施設本体	本の物的損失	:	普通	中	0	橋梁、盛土等の津路施設が損傷することにより生じる被害額		
直	送改体設の地	3個にお田	跨線橋下部の鉄道施 設	困難	大	Δ	落橋時に被災する鉄道車両の被害額および乗車人員の被害額。被害額の設 定が難しいため、可能であれば評価する。		
投 損失	する物的損失 添架ライフラインの損失		普通	小	Δ	道路施設に添架しているライフライン配管の物的被害額。添架位置および地 震動の大きさに応じた被災状況の設定が難しいため、これらの設定が可能で あれば評価する			
	道路施設の掛	員傷に起因す	る人的損失	普通	大	0	道路利用者が道路施設の損傷により死傷することによる被害額		
			迂回	普通	大	0	道路施設の損傷により生じる迂回交通の走行時間、走行経費の増加等による 被害額		
			交通の取り止め	普通	大	×	道路利用者が地震後に道路を利用することをやめたことによる損失であるが、 道路利用者の交通需要の変化を計測することは一般に困難である。		
		通常交通の 通行障害	通常交通の 通行障害	公共サービスの低下	困難	小	×	ごみ収集等の公共サービスレベルが低下することによる損失であるが、通常 の道路投資の評価においても計測が困難である。	
	交通機能低 下による損 失		交通事故の増加	困難	小	×	道路施設の損傷を原因とした交通事故による被害額であるが、道路施設の損 傷と交通事故の因果関係を評価することは困難である。		
			住民生活の快適性の 減少	困難	小	×	通勤・通学等日常生活の快適性が低下することによる損失であるが、通常の 道路投資の評価においても計測が困難である。		
		緊急車両の 通行障害	消防活動車両	普通	中	Δ	消防隊が消火可能時間以内に到達できず家屋等が焼失することによる被害 額。建物棟数データ、消防署位置と道路ネットワークデータのリンク付けに手 間を要するため、必要に応じて算定する。		
間接損					救護輸送車両	普通	Ŧ	Δ	救急搬送車が救護可能時間以内に病院に到達できず死傷することによる被害 額。建物棟数データ、救急医療機関位置と道路ネットワークデータのリンク付 けに手間を要するため、必要に応じて算定する。
失			復旧工事車両	困難	大	×	復旧機材等の輸送に時間を要し、復旧工事が遅延することにより生じる被害 額。復旧工事の内容が対象施設により異なり、一貫性のある評価の適用が困 難である。		
			緊急物資輸送車両	困難	小	×	緊急物資の輸送が遅延することにより生じる被害額。時間価値原単位、走行 経費原単位の客観的な設定が困難である		
			避難支障	困難	小	×	住民等の避難が遅延することにより生じる被害額。時間価値原単位、走行経 費原単位の客観的な設定が困難である		
	空間機能低	時線橋下部の鉄道機能停止		普通	大	Δ	鉄道の運行がストップすることにより生じる鉄道利用者および鉄道事業者の被 害額。鉄道の利用者数等のデータを入手することは容易ではないため、可能 であれば評価する。		
	失	添架ライフラ	インの供給停止	普通	大	Δ	配管・配線等が破断されることによるライフライン事業者・利用者の被害額。水 道幹線網等のデータを道路管理者が入手することは容易ではないため、可能 であれば評価する。		
	その他 自然環境の悪化		困難	小	×	大気汚染、騒音、および地球温暖化への影響等が考えられるが、地震後の道 路施設の被害との因果関係の評価が困難であること等から評価しない。			

表 4.2-3 道路施設の地震被害を起因とする損失項目

以下に、表中評価項目として〇をつけたものについて評価手法を述べる.

・直接被害額の算定

直接被害額の評価項目は,

i. 道路施設本体の物的損失

ii. 道路施設の損傷に起因する人的損失

とする.

i は施設が損傷することにより生じる被害額であり,施設の復旧に要する費用がこれにあたる.被害額の算定にあたっては,②で求めた被災度に応じた復旧費用を適用する.

ii は道路利用者が施設の損傷により死傷することによる被害額である. ②で求めた被災度 に応じた被災率に,利用者数及び被災状況別の金銭的対価を乗じることにより算定する. ここ では,

a) 落橋する橋梁上を通行する利用者

b)落橋する橋梁の下に道路があった場合(跨道橋),その道路を通行する利用者 について,人的損失額を算定する.

人的損失額は、次式により算出するものとする.

人的損失額=施設利用者数×被災率×被災状況別の金銭的対価 道路施設の利用者数は,地震発生時に施設上を通過する交通量および跨道橋下を通過する 交通量から設定する.交通量は,次項に述べる迂回損失額算定で実施する交通量推計結果 を適用する.

・間接被害額の算定

間接被害は、地震により道路施設に被害が生じ、道路の機能が低下することにより生じる 被害であり、金銭的評価が可能な下記項目について被害額の算定を行う.

i. 迂回による損失

平常時の道路状況に置ける移動費用と,道路施設の損傷により交通規制が実施された 場合に影響を受ける道路利用者の移動費用を,交通量推計に一般的に用いられている交 通量配分シミュレーションを用いて算定し,その差を迂回による被害額とする.防災事業の 実施前後それぞれの被害額を比較することにより,道路のネットワークとしての機能向上を 示すことができる.

交通規制の期間は、②で求めた施設の被災度に応じて設定する.

また,確率論的なハザードを想定する場合,対象道路網によっては被害を及ぼすシナリ オ地震数が膨大となり,すべての地震について交通量配分シミュレーションを行うと計算コ ストが大きくなる恐れがある.このような場合には,比較的計算の容易な直接被害額を算定 し,その結果から期待被害額が大きく,対象エリア全域をカバーできる地震を以下のように 絞り込むことで,間接被害額の算定負荷を軽減できるようにした.

- 対象地域をゾーン分割し、選定したシナリオ地震を各ゾーンに割り当てる(図-2参照)。 ブロックの大きさは、バックグラウンドゾーンメッシュのサイズを目安にする。
- 2) 地震ハザード解析で設定したすべての地震について 2.3.1 で述べた直接被害額(物的 損失)を算定し、それぞれの地震の発生確率を掛け合わせて被害額の期待値を求める。
- 3) 1)で設定した各ゾーンから、被害額の期待値の大きい地震(ゾーン代表地震)を1つ以上 抽出する。
- 4) ゾーン代表地震について交通量配分シミュレーションを実施し、直接被害額(人的損失) および間接被害額を算定する。
- 5) その他の地震の直接被害額(人的被害)および間接被害額は、ゾーン代表地震の直接 被害額(物的損失)~{直接被害額(人的損失)+間接被害額}の比率から推定する。



図 4.2-9 ゾーン代表地震の抽出イメージ

④ 費用便益算定

費用便益分析は,耐震補強事業による防災投資効果を評価することを目的とし,便益と して耐震補強実施による被害減少額(対策効果)に想定地震の発生確率を乗じた期待額, 費用として耐震補強にかかる費用を考慮した.

⑤ 試算例の紹介

評価手法の妥当性を評価するために,ケーススタディーを実施した.

【解析対象】

- ・ 大規模地震の発生確率が高まっている地域から1国道事務所程度のエリアを選定
- ・ 主要地方道以上の道路ネットワークを設定

【計算条件】

- ・ 確率論的なハザードを想定
- ・ 補強路線を選定し、当該路線上にある橋梁を耐震補強した場合を設定
- ・費用便益分析の評価期間は50年,社会的割引率4%

【解析結果】

地震ハザード解析により抽出された地震は 79 あり,これらすべての地震について被災度 評価を行い,補強前後それぞれの道路ネットワークの状況を推定した.

被害額については,道路施設の物的損失についてはすべての地震で算定,人的損失お よび迂回損失については,代表地震の絞りこみを行い,10地震について算定した.

ある地震の場合の結果を示す.図 4.2-12 は道路施設の被災推定結果,図 4.2-13 は被 災後の交通量分布である.

補強前後の被害額および費用を算定した結果, B/C =5.5と導出され, 補強による効果 を定量的に示すことができた. なお, この数値はいくつかの仮定の上導出されたものであり, 取扱いについては検討が必要ではあるものの, 補強事業を実施する効果が大きいことが 示された.

一方で、同エリアは地震の切迫性が指摘されている地域であるため、実情に合致する結果となったが、一般に地震の発生確率を乗ずるとB/Cで算出される投資効果は低くなることから、カタストロフィックリスク効果の考慮について今後検討が必要である.また実際には、道路施設の被災による間接損失は迂回損失以外にも波及していることから、これらの損失評価および被害の軽減効果についても別途評価手法を検討する必要がある.

(成果の活用)

道路防災事業計画の策定にあたって,複数案の比較や,事業実施効果の評価,説明に利用することができる.また,橋梁耐震補強3箇年プログラム(平成17~19年度)の実施効果の評価への活用も期待される.

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路震災対策便覧(震災復旧編), 318p, 2002.
- 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, 2005.
- 3) 土木研究所:道路盛土の簡易耐震性評価法(案),2003.
- 4) 片岡正次郎,佐藤智美,松本俊輔,日下部毅明:短周期レベルをパラメータとした地震動強 さの距離減衰式,土木学会論文集A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006.
- 5) 建設省土木研究所耐震技術研究センター・防災技術課:占用施設・沿道施設の耐震性評価 に関する調査(その1)平成7年兵庫県南部地震における被災調査,土木研究所資料第 3557号,1998.
- 6) 中尾吉宏,日下部毅明,村越潤,田村敬一:確率論的な地震ハザードマップの作成手法, 国土技術政策総合研究所研究報告, Vol. 16, 37p., 2003.



図 4.2-13 被災後の交通量分布

4.2.3 被災低減のための対策

現在国土交通省では, H17 年度から H19 年度までの期間で「緊急輸送道路の橋梁耐震補 強3箇年プログラム」を実施している.本プログラムは,兵庫県南部地震と同程度の地震動に 対しても落橋等の基大な被害を防止し,緊急輸送道路としての機能を確保するため,早急に 橋梁の耐震補強を進めることを目的としている.具体的には緊急輸送道路の耐震補強を,直 轄国道について H19 年度までに概ね完了し,都道府県管理道路は,主要な防災拠点等を 結ぶ「優先確保ルート」を選定し,この優先確保ルートに対して H19 年度までに概ね完了し ようというものである.あわせて新幹線,高速道路をまたぐ橋梁の耐震補強3箇年プログラムも 実施している.

4.2.4 行政施策への対応

「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」の策定にあたっては、4.2.2 で述べたような事業効果の定量的な評価は実施していないものの,橋梁の有するべき耐震性能を設定し,路線の重要性を考慮し耐震補強を実施して行くという点で考え方に共通性がある.今後は,より効率的かつ透明性の高い防災投資を実施していくことが求められると思われることから、4.2.2 で述べた事業効果の定量的評価を行うための実用的なマニュアルを整備していく予定である。

さらに右図に示す現状を把握する基 本マップと管理マップで、ネットワークの 補強達成状況を把握して行く点で前々 項の防災マップの先駆的な取り組みと 捉えることができる.この管理マップと本 プログラム策定過程で整理したデータ を活用すれば、脆弱性評価およびリスク 評価が実施可能となることから、今後耐 震補強事業の評価、次期補強計画、更 には応急復旧シナリオの策定など震後 の的確な対応の事前検討を実施できる ようになる.このような防災マップの作成 を支援するためのマニュアルを整備し ていく予定である。







4.3 地震時火災に関する災害と対策

関東大震災や兵庫県南部地震に見られるように,大規模地震が発生した際には同時に多数の火災が発生し,消防能力の限界を超え,数多くの建物等が焼失する危険性がある.したがって国民の生命や財産を守るという点で,地震時火災による被害を減らすことはわが国における最重要課題の一つである.

このためには,災害発生に備えた事前対策が極めて重要であるとともに,被災後の迅速な 復旧・復興のための対策も必要である.生命や財産を守る,災害時の被害を減らすという意 味では,前者の事前対策に重きを置き,都市レベルのみならず,地区レベルの対策を併行し て行っていく必要がある.

4.3.1 対象物の被災度評価

1)都市レベルの評価

都市の防災対策を進めていく中で,延焼を防ぐということは重要な対策の一つである.対策 を進めるためには,都市の中でどの地区で延焼の危険性が高いのかを把握して,危険性の 高い地域から優先的に対策を実施することが求められる.

従来は,都市の中でどの地区が防火上危険なのかを把握するために,500m メッシュや町 丁目を評価の単位(規模)として,「不燃領域率」や「木防建ペい率」といった指標を用いてき た.しかしながら,それぞれ異なった仮定に基づいて作成された指標のため,実際の適用に 当たっては一長一短があった(表 4.3-1).

指標名	不燃空間 の 偏在の考 慮	準耐火造 の考慮	その他
不燃領域率	×	×	 ・都市防火区画の設定が必要無い地区を探し出す指標。 ・燃える建物と燃えない建物の2区分しか考慮出来ない
木防建ペい 率	×	×	・準耐火造を耐火造として扱えば市街地の安全性を過 大評価.防火造として扱えば過小評価になる.
延焼抵抗率 (CVF)	\bigtriangleup	0	・不燃空間の偏在を多少は考慮できるが,完全に考慮 するためには延焼シミュレーション等による評価が必 要.

表 4.3-1 延焼の危険性を示す指標の特徴

例えば,不燃領域率は1km×1km程度の地域を対象とし,延焼拡大する恐れが確実にな く,都市防火区画を設定する必要が無い地区を探し出すために提案されたものである.多く の仮定から導き出された指標であり,評価対象地域内に不燃空間が偏在する場合,小さな地 域を対象とした場合などには,防火性能を適正に表せない場合がある.また,燃える建物と燃
えない建物の2区分しか考慮していないため,準耐 火造のように燃えづらい建物へ更新された場合の効 果を把握することは出来ない.

一方,木防建ペい率は,裸木造や防火造の建物 が準耐火造に建て替わった場合には値が下がるが, 結果的に準耐火造を耐火造と同様に扱うため,市 街地の安全性を過大評価してしまう恐れがある.



図4.3-1 防火上の構造や規模によっ て建物の形状を拡張



図4.3-2 建物構造分布と延焼限界距離による建物バッファの生成

そこで,不燃領域率や木防建ペい率に変わる指標として,新たに延焼抵抗率(=1-CVF (Covering Volume Fraction))を提案した.ここで言うCVFとは,建物の防火上の構造や規模によって定まる延焼限界距離の半分の長さで,各建物の形状を拡張(図 4.3.1-1)した際の 面積の合計が,地区面積に占める割合である.図 4.3.1-2 では,左側の図は建物の構造を示 し,右側の図は建物の構造や規模に応じて各建物の形状を延焼限界距離の半分の長さで拡 張したもの(建物バッファ)を示している.

一方,ある建物の形状を拡張した際に,隣の建物の形状を拡張したものと重なって一つの 塊になっていれば,どちらから一方の建物が炎上した際に,隣の建物には必ず火が燃え移る と考えると仮定する.そうすると,例えば地区内の建物が1つの塊の中に入ってしまうと,地区 内の建物から火災が発生すれば地区全域に延焼が拡大する可能性があることを示す.した がって,この塊が多くなればなるほど,また,クラスターが複数の場合であれば,あるクラスタ 一内での火災はそのクラスター内で留まり,他のクラスター内の建築物に火災被害が及ぶ可 能性は少ないことを意味することになる.

なお, 延焼抵抗率は不燃領域率や木防建ペい率と同様に, 市街地防火性能評価の概ね の傾向を示す指標であり, 個々の市街地の防火性能を厳密に示しているわけではない. 即地 的な市街地構造に基づいて厳密に防火性能を評価したい場合は, 火災拡大を物理的に評 価する延焼シミュレーションモデルを用いて評価を行う必要がある.

また,延焼抵抗率の基となる CVF 値の算定時に一定規模以上の空地面積を除外した市街地面積を用いて算出したものをセミグロス CVF と呼ぶ.市街地防火性能は CVF よりはセミグロス CVF の方が適切に表現出来るため,以後,延焼抵抗率はセミグロス CVF を用いて求めることを前提とする.なお,一定規模以上の空地面積とは,以下のとおりである.

○大規模空地

次のいずれかに該当する不燃領域.

・幅員 40m 以上の河川, 軌道等およびこれに連なる用地からなる不燃領域.

・短辺 40m 以上で面積が 3,000m²以上の公園, 墓地, 運動場およびその他の空地 で当該部分にある建築物の建ペい率が 2%以下の不燃領域.

○公園

・大規模空地より規模の小さい公立の公園

正確な延焼抵抗率を求めるには、GIS (Geographic Information System:地理情報システム)を用いる必要がある.その際、GIS のデータとして、各建物の形状、防火上の構造区分、 建築面積等が必要なほか、GIS 上で計算するプログラムが必要なため、簡単にセミグロス CVF 値を求めることは出来ない.そこで、町丁目ごとの集計データから延焼抵抗率を推計す る方法が提案されており、以下に手順を示す.

①評価に必要なデータ

セミグロス CVF 値を推定する際には,表 4.3-2 に示すデータを町丁目ごとに用意する必要 がある.なお,ここでいう町丁目とは,○○町△丁目という意味である.

表 4.3-2 CVF の推計に必要なデータ

必要なデータ
(a)町丁目の面積
(b)町丁目内に含まれる準耐火造建物の建築面積の合計
(c)町丁目内に含まれる防火造建物の建築面積の合計
(d)町丁目内に含まれる木造建物の建築面積の合計
建築基準法で定義されている耐火造, 準耐火造, 防火造以外の建物の建築面積
(e)町丁目内に含まれる一定規模以上の空地面積
大規模空地(次のいづれかに該当する不燃領域. (1)幅員 40m 以上の河川, 軌道等およ
びこれに連なる用地からなる不燃領域, (2)短辺 40m 以上で面積が 3,000m ² 以上の公園,
墓地, 運動場およびその他の空地で当該部分にある建築物の建ぺい率が 2%以下の不燃
領域).及び公園(大規模空地より規模の小さい公立の公園)

上記の(a)~(e)のデータは,既に実施されている調査結果からデータを用意することが現実的である.既存の調査として代表的なものとして,都市計画基礎調査があげられる.住宅・土地統計調査の利用も想定されるが,悉皆調査ではないため都市全体を対象とすることは難しいことが多い.また,課税台帳のデータを利用することも考えられるが,データの性質上,個人情報保護の配慮等の対応が必要となる.

いずれにせよ,都市計画基礎調査も調査の行い方によって調査項目が異なるため,どのような調査結果を用いれば必要なデータが得られるのかを,事前に調べておくことが必要となる.

②セミグロス CVF 値の推定

①で集めた町丁目ごとの5つのデータを 用いて,耐火造を除く3つの構造について, それぞれセミグロスの建ぺい率を求める.

セミグロス裸木造建ペい率 =

裸木造建築面積

町丁目の面積-一定規模以上の空地面積 セミグロス防火造建ペい率 =

防火造建築面積

町丁目の面積ー一定規模以上の空地面積



図 4.3-3 セミグロス CVF と 平均焼失建築面積割合の関

1、ビュス進刊したゆ。シンボ 準耐火造建築面積

求めた構造別のセミグロス建ペい率を,次式に算入することによって,セミグロス CVF 値を 推定し,延焼抵抗率を算出することが出来る.

セミグロス CVF=3.293×セミグロス裸木造建ペい率 +2.136×セミグロス防火造建ペい率

+1.340×セミグロス準耐火建ペい率

延焼抵抗率=1-セミグロス CVF

延焼抵抗率と焼失率の関係についてはいくつかのものが提案されている.不燃領域率と焼 失率の関係と同じような焼失率という意味では,平均焼失建築面積割合(対全建築面積)を 使うと良い.この指標は,全建築面積のうち何%の建築面積が焼失するかを平均的に示した 指標である.セミグロス CVF との関係では図 4.3-3 のようになる.図から分かるように,セミグ ロス CVF といえども,ある値で一意の防火性能を示すことは出来ないということを認識する必 要がある.

各町丁目ごとにセミグロス CVF 値や焼失率を求めた後は,単に一覧表にして整理するだけ でなく,地図上に結果を示すとどこの町丁目が防火上危険なのかを容易に把握できる.

また, セミグロス CVF 値と平均焼失建築面積割合(以後, 焼失率とする)の関係を図 4.3-3 から直接読み取ることは難しいため, 回帰式を求めて, セミグロス CVF と焼失率の関係を読み取ることになる. ここでは回帰式として, 安全側に推定した回帰式を以下に示す.

図 4.3-3 におけるセミグロス CVF を, 0.02 刻みで焼失率の平均値と標準偏差を求め, その 平均値と標準偏差の値を用いて回帰式を推定したものが次式になる.

平均焼失建面積割合 (対全建築面積)= $1 - \exp\left(-\frac{0.01307}{(1-セミグロスCVF)^{3.036}}\right)$

平均的な値で推定した場合と同様に, セミグロス CVF の値が大きくなるにしたがって, 焼失率は 1.0 に近づき, やがて頭打ちになり 1.0 に収束する(図 4.3-4 参照).

また,ある焼失率に対するセミグロス CVF 値を知りたい場合は,表 4.3-3 を参考にすると良い.

表 4.3-3 焼失率に対するセミグロス CVF 値 (安全側推定時)

焼失率	セミグロス CVF
0.05	0.363
0.1	0.497
0.2	0.607
0.3	0.663
0.4	0.701
0.5	0.730
0.6	0.753
0.7	0.775
0.8	0.795
0.9	0.818



2)地区レベルの評価

1)に示した方法で、延焼の危険性がある地区を抽出することができるが、地区内のどこに 問題があるのか、どのように火災が拡がっていくのかを把握することは出来ない.また、抽出さ れた地区の中には延焼の危険性が無い地区もあるかもしれない.そこで、延焼抵抗率や別な 方法を用いて抽出した延焼の危険性がある地区を対象とし、ミクロ評価(延焼シミュレーショ ン)を行うことによって、災害時にどのような被害が発生するのか、地区内のどこの箇所が危険 なのか、あるいはどこが改善ポイントとなり得るのかを把握することが出来る.

延焼シミュレーションを行うためには、表4.3-4に示した地区のデータが必要である.

	データ名	概要	区分
個	々の建物に関するデータ		
	建物 ID	任意で重複しない建物の番号(数字のみ)	\bigcirc
	階数	建物が接地する最も低い面からの階数(地上部分	\bigcirc
		のみ)	
	防火上の構造	耐火造, 準耐火造, 防火造, 裸木造の4区分	\bigcirc
	頂点数	建物の頂点数	\bigcirc
	頂点座標	建物の頂点の各座標データ	0
	床高さ	地区内で最も標高が低い地点から建物最下部床面	\bigtriangleup
		までの高さ	
	階高	一層(一階)あたりの高さ.防火上の構造(耐火造,	\bigtriangleup
		裸木造, 準耐火造+防火造の3区分)ごと与える必	
		要がある.ただし,建物1棟ごとに与えることはでき	
		ない.	
	木造·非木造区分	建物が破損した状況で評価する場合に必要	\bigtriangleup
	地震被害	建物が破損した状況で評価する場合に必要	\bigtriangleup
	用途	都市計画基礎調査要領に基づく分類	\bigtriangleup
	区画数	建物内に含まれる防火区画の数	\bigtriangleup
厚	月口部に関するデータ(壁ごと	:に必要)	
	建物 ID	開口部がある建物の建物 ID	\bigcirc
	壁面番号	開口部がある壁面の壁面の通し番号	0
	開口部数	開口部の数	\bigcirc
	材質(種別)	カラス種別,シャッター等の区分.開口部ごとに	\bigcirc
		必要.	
	開口部座標	開口部左下,右上の X,Y,Z 座標.開口部ごとに	\bigcirc
		必要.	

表 4.3-4 延焼シミュレーションに必要となるデータ

※区分欄の○は必須のデータ、△は必要に応じて用意するデータ

これらのデータは、形状に関するデータと、属性に関するデータに大別されます.形状に 関するデータは、GIS(地理情報システム)で管理されていれば、それを変換することによって 得ることが出来るが、変換方法は用いているGISによって異なる.なお、マンションなどのよう に,一つの建物が複数の防火区画に分かれている場合は,建物単位ではなく,防火区画ごと にデータを作成した方が,より正確な結果を得ることが出来る.

また,窓などの開口部に関するデータも必要となるため,出来る限り正確に評価したい場合 は,実際の窓種別や窓位置を調査する必要があるものの,そこまで精度を求めない場合には, コンピュータ上で適当な窓を自動生成すると良い.なお,別途樹木や塀などのデータも用意 すれば,樹木や塀による延焼状況の違いを評価することも可能である.

シミュレーションを実行するためには,前述した建物に関するデータに加え,以下に示す気 象条件等の条件を設定する必要がある.

・風速 :単位はm/sec. シミュレーション中の風速変更は不可.

- ・風向:シミュレーション中の風向変更は不可.
- ・出火点:任意の一箇所以上の建物を出火点とする.

シミュレーションを行った結果を集計すれば、出火からの経過時刻別に焼失棟数を求める ことができる.しかしながら焼失棟数を集計しただけでは、ある条件の時に、地区内のどの建 物が燃えるのか、あるいはいつ頃燃えるのかが把握出来ないため、図4.3-5のように視覚的に 表現すると理解しやすい.



図 4.3-5 着火時刻の分布

この図は、出火からの経過時刻別に、各建物の着火時刻(燃え始めた時刻)を示したもの であり、出火点を起点として、おおまかにどのように火災が拡大していくのかが分かる.

このように着火時刻の分布図は、一つの図面で各建物の着火時刻が分かるというメリットが あるものの、感覚的には分かりづらいという点もある.そこで、ある出火からの経過時刻におけ る、延焼中の建物、燃え尽きた建物、燃えていない建物を塗り分けると、その時点での延焼状 況を示すことが出来る.これを複数の時点で作成すれば、火災がどのように拡大していくかを パラパラ漫画的に示すことが出来る(図4.3-6参照).時刻の間隔を短くしていけば,アニメーション的な示し方も可能となり,非常に理解しやすくなる.



凡例:■:延焼中の建物,■:燃え尽きた建物,□:燃えていない建物 図 4.3-6 出火からの経過時刻別に示した延焼状況

防災性能を高めるための改善案が計画された場合,その改善案がどれだけ防災性能を向上させるのかを把握することは極めて重要となる.改善効果は便益と見なすこともでき,費用

便益分析にも繋がる.改善効果は,現状での被害量と,改善案での被害量との差分で示すことができる.



(a)改善前(b)改善後図 4.3-7 改善前と改善後の焼失状況の違い(3 時間後)

4.3.2 被災低減のための対策

地震時火災の発生による被害を低減するためには,都市や地区を構成する,住宅に代表 される建築物,道路や街路,公園・オープンスペース等のそれぞれの耐震性,防火性を強化 することが重要である.さらに,これらの改善を効果的に組み合わせ,総合的に都市や地区の 防火性能を向上させることも重要である.一方,これらのハード面の整備・改善を進めるため には,地区住民の合意形成が必要不可欠である.

公園や街路等の地区施設,道路整備による対策については,公共事業として整備をする のが一般的であり,事業としては,土地区画整理事業,住宅市街地総合整備事業などが代表 的なものとしてあげられる.また,道路空間と道路沿いの建物の整備による防火対策として不 燃化促進事業があげられるが,近年では単に防火対策という視点のみならず,環境形成とい う視点も加えた防災環境軸の整備も行われている.

一方,これらの公共事業による整備に加え,規制・誘導による対策も行われている.代表的 なものとしては防火・準防火地域の指定,特定防災街区整備地区の指定などの都市計画によ って,防火上の構造を規制している.また,住宅については,自助(例えば,個々の住宅の建 て替え),あるいは共助(例えば,共同化)によって改善することが基本となる.しかしながら, 敷地が狭小で建て替えると現在の床面積を確保出来ない,接道していない,などといった理 由により,個々の住宅の建て替えが進まないのも現状である.そのため,建ぺい率特例許可, 三項道路,連担建築物設計制度,建築基準法第43条但し書き等を活用しながら,公共団体 が地域の実状に応じた建て替えの誘導を行っている.

これらの公共事業,あるいは規制・誘導による改善効果については,現状の市街地と,事 業実施後,あるいは規制・誘導後の市街地に対して延焼シミュレーションを行って被害量を推 定し,その差分をもって改善効果とすることが出来る. 公共事業の実施,あるいは規制・誘導による対策は,個々に行うこともあれば,それぞれ組 み合わせて行うこともある.また,いずれの場合でも,地域での合意形成は必要不可欠である ことから,各地域でのリスクやハザードを十分に説明するとともに,計画案によってどれだけ防 災性が向上するのかを示すことが必須であるといえる.

4.4 津波に関する災害と対策

4.4.1 ハザード評価

津波が構造物に衝突すると,波力により構造物が損傷するだけでなく,崩壊あるいは流出にい たる場合もある.津波のハザード評価では,対象とする地震の断層モデルを設定して初期水面を 与え,津波の伝播計算を行って波高,浸水深,流速を得る.構造物の破壊を検討する場合には, 算定された波高などから津波の波圧を算定する.本稿では,津波の伝播および陸上遡上,海岸 堤防および橋桁に加わる津波波力について検討成果を紹介する.

また,津波により港湾に蔵置されている空コンテナ,木材,小型船舶が背後及び港内に流出し 被害を及ぼすことが考えられる.これらの現象を再現し,被害の予測に役立てることが重要と考 え,漂流及び衝突シミュレーションモデルを開発し,漂流挙動の再現と衝突力の算定を実施した. まず平面2次元シミュレーションにより各方向の流速を算出し,流体力から漂流物の挙動を予測 した結果を紹介する.

1)津波の伝播および陸上遡上¹⁾

①概要

2004年12月26日にスマトラ島沖で発生したマグニチュード9.0の地震は、大規模な津波を引き 起こし、インド洋沿岸の広範囲において甚大な被害を発生させた.津波は、震源に近いインドネ シアのスマトラ島だけでなく、震源から1,000km以上離れたスリランカやモルディブなどにも押し 寄せた.死者数は全体で約30万人に達し、世界的な巨大災害となった.被害拡大の要因として、 津波に対する予警報システムの不在、津波に関する認識不足などが指摘されている.

日本の海岸では、高潮、高波、津波から背後地を防護するため、コンクリート製の堤防や護岸 が整備されてきた.このような施設は、港湾等を除くとインド洋沿岸ではあまり見られない.しかし、 モルディブの首都であるマレ島では、1987年および1988年の高潮被害の後、日本の政府開発 援助により島の周囲に護岸等が整備されていた.今回の津波では、この護岸により浸水がある程 度防がれたため、被害が比較的少なかったと言われている.

津波遡上に対する堤防などの海岸保全施設の効果を定量的に評価するため、この津波の再 現計算を行い、津波遡上に対するマレ島の護岸の効果を評価した.

②マレ島の概要

マレ島は,北マレ環礁の南端に位置する.南北約1km,東西約2kmと比較的小さく,標高は平 均海面上約1.5m程度と低い.しかし,約8万人の人口を抱え,ビルや住宅が密集している.マレ

73

島はリーフ上にあるが、1979年以降、人口集中のためリーフ外縁近くまで埋め立てられてきた²⁾. 水深は、島から数百m沖に離れると50m程度に達する.また、マレ島の南東沖は環礁の外になり、 20km先では水深2,000mに達する急勾配の海底である.

図4.4-1のように,高潮対策として島の周囲には,波返し工を有する護岸が設置されている. 護岸の高さは,卓越波向が南東であること²⁾を考慮して,東岸で平均海面上2.16m,南岸で同1.45 ~3.36m,西岸で同1.96mで,所によってそれより高くなっている³⁾. また,南岸と北岸にある岸壁の高さは同1.16mである2).南岸には,離岸堤も設置されている.

津波の遡上状況について2005年3月5日にマレ島で聞き取り調査をしたところ,図4.4-2に示す 東岸の人工ビーチでは,第1波で護岸上1m(調査時の海面上2.3m)まで5~10分間浸水し,突 堤付近の海底が見えるほど潮が引いた後に高さ0.5m程度の第2波が来たとの証言が得られた. また,北岸の岸壁では,岸壁上1m(調査時の海面上1.5m)まで浸水したとのことであった.

このように、津波による浸水は比較的小規模で、密集している建築物はコンクリート製がほとん どであるため、マレ島では死者は出なかった.しかし、マレ島以外の島では、護岸等の海岸保全 施設がなく、家屋は軽いサンゴ石をセメントで固めて建てられたものが多いため、全国では死者 82人、行方不明者26人という人的被害が生じた.



図4.4-1 マレ島の護岸(南東端付近)



図4.4-2 マレ島の人工ビーチ(東岸)

③津波シミュレーションの概要

津波の数値計算は以下の式で行った.深海域から陸上まで計算するため,非線形長波方程 式に底面摩擦,乱流,コリオリカの各効果を取り入れたモデルを使用した.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{D}\right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gPn^2 \sqrt{P^2 + Q^2}}{D^{7/3}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(ED \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{D}\right)\right)$$

$$- \frac{\partial}{\partial y} \left(ED \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P}{D}\right)\right) - \Omega Q = 0$$
(1)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gQn^2 \sqrt{P^2 + Q^2}}{D^{7/3}} - \frac{\partial}{\partial x} \left(ED \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{D} \right) \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(ED \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q}{D} \right) \right) + \Omega P = 0 \quad (3)$$

ここで、P:x方向の単位幅流量、Q:y方向の単位幅流量、D:全水深、 η :水位変動量、n: Manningの粗度係数、E:渦動粘性係数、 Ω :コリオリパラメータ、g:重力加速度である.初期条 件として、断層モデルを用いて計算される海底地盤変動の鉛直成分を海面上の水位変動として 与えた.断層モデルは、予備検討においてモルディブにおける津波波形の再現がもっとも良か ったことから、越村ら⁴⁾のモデルを採用した.このモデルでは、断層を北側400km、南側500kmの 2つのセグメントで表現している.

シミュレーションは,計算格子間隔2,430mでインド洋全体の計算(以下「伝播計算」という)を 行った後,その結果を境界条件として与えてマレ島周辺(東西102km,南北73km)の計算(以下 「遡上計算」という)を行った. 遡上計算では,沖合から陸上に向かって計算格子間隔を2,430m から段階的に細かくし,陸上では3.3mに設定した.

伝播計算では,海底の粗度係数を0.025とした. 遡上計算では,マレ島が密集市街地であるこ とを考慮して,空中写真等を参考に陸上の計算格子を住宅密集地,道路,空地に分類し,住宅 密集地には水が入らないものとした. これにより,密集市街地において津波が道路や空地を遡上 するという実態に即したシミュレーションが可能となる. 道路および空地の粗度係数はそれぞれ 0.02, 0.025に設定した.

地盤高は,現地調査結果³⁾を参考にして,図4.4-3のように設定した.南西部の岸壁の東側が 比較的低く,島の北側は比較的高い.また,北岸には防波堤が,南岸には離岸堤が設置されて いる.なお,初期潮位は,マレ島に津波が来襲した時刻の観測潮位(=平均水位-0.06m)を一 定に与えた.



図4.4-3 マレ島の地盤高

図4.4-4 潮位変化の比較



図4.4-5 インド洋における津波の伝播(丸印はモルディブ周辺の検潮所設置点)

④津波伝播計算

今回の津波では、マレ島の北にある検潮所で潮位が観測されていた.そこで、観測された潮 位から天文潮を引いて潮位変化量を算出し、伝播計算で得られたマレ島における潮位変化量の 計算値とともに図4.4-4に示した.時刻は世界標準時で示している.計算値、観測値とも、押し 波が最初に到達し、40分程度の周期で第2波、第3波が現れている.波高は、第1波がもっとも 大きく、2m近くに達している.津波の到達時刻も波高の最大値も、計算値は観測値とほぼ一致し ている.なお、観測値より計算値の方が短周期の振動が顕著であるが、これは検潮所が短周期 の振動に追随しにくい構造であるためと考えられる.以上のことから、遡上計算を行うのに十分な 精度で伝播計算ができたと判断した.

図4.4-5は、インド洋における地震発生時からの津波の伝播状況を示している.図において、 赤は潮位上昇を、青は潮位低下を示している.地震発生時には、震源の西側で押し波が、東側 で引き波が発生している. 津波は主に東西方向に伝播し, 地震発生の0.5時間後には, スマトラ 島の北端では, 引き波に続いて押し波が既に到達している. 地震から2時間後には, スリランカに 押し波が達する一方, タイのプーケット付近には引き波に続いて押し波が来襲している. マレ島 には, 地震発生の3時間10分後に押し波が到達している.

⑤津波遡上計算

図4.4-6は, 遡上計算で得られたマレ島周辺での潮位変化量を4時15分から5分間隔で面的に 示すとともに, マレ島の北岸, 西岸, 南岸, 東岸(平面図において●で位置を表示)での時系列 の潮位変化量を下段で示している. 伝播計算の結果では第1波がもっとも大きかったことから, 第 1波に着目して整理している.

まず,下段に示した海域の潮位に注目する.潮位の上昇開始時刻は,南岸と東岸の方が環礁 内に位置する北岸と西岸より1分半ほど早い.これは,津波が南東方向から来襲し,マレ島を回り 込んだことを示している.その後の約15分間に,南岸と東岸では,潮位は平均で1m程度上昇し つつ,周期2~4分で振動している.特に,東岸での振動は大きく,4時20分頃には3m弱の振動 が見られる.北岸と西岸でも平均的には同様の変化を示しているが,振動はそれほど大きくない. このような振動の要因として,マレ島周辺の環礁や島での津波の反射が考えられる.

次に,陸域の浸水深に注目する.南東側の海域で潮位が2m以上上昇していた4時15分には, 島の南岸の一部に海水が流入している.4時20分になると,海域の潮位は2m以下に下がるが, 島の南岸の浸水域は広がっている.4時25分には,南東側の海域で潮位が2.5m以上に上昇し, 東岸でも浸水が見られる.4時30分には,海域で潮位は下がってきているが,北岸でも浸水域が 広がっている.それ以降,海域の潮位はさらに下がっていくものの,4時40分になっても陸域の広 い範囲で浸水している.

図4.4-7は, 遡上計算で得られた陸上での最大浸水深を示している. 図中の黒線は実測の浸水域2)を示しており, 島の南半分と西岸を中心に浸水したことがわかる. 計算で得られた浸水域は実測値と概ね一致している. また, 浸水深は, 北西部や南西部の岸壁などで1mを越えるが, 島内の道路の多くでは0.4m以下である.

図4.4-8は, 護岸がないものと仮定した遡上計算により得られた最大浸水深を示している. 計算 は, 防波堤や離岸堤も除去して行っている. 図中の黒の破線は, 図4.4-7から得られた護岸があ る場合の浸水域を示している. 護岸がない場合と比べて, 浸水域は広がり, 浸水深も全体的に大 きくなっている. 特に, 南東部から東部にかけての護岸背後では, 浸水深が1m以上増加してい る. また, 南西部の空地や岸壁でも浸水深の増加が顕著である.

図4.4-9は、図4.4-31に示された島内の6点について、護岸の有無による浸水深の違いを示している.北岸に位置するSt.1~2では、地盤高が護岸と同じくらい高いため、護岸の有無による浸水深の差は顕著ではない.一方、St.3~6では、護岸がないと、浸水の開始が早まるとともに、浸

77

水深の最大値が2倍以上になる.また, St.4~6では,図4.4-6に示された東岸および南岸における潮位の振動に合わせるように浸水深が変化している.



図4.4-6 マレ島周辺の地形変化



図4.4-9 浸水深の比較

図4.4-10 流速の比較

図4.4-10は, 流速について, 図4.4-9と同様に整理している. St.1~2については, 浸水深と同様に, 護岸の有無による違いはほとんどない. 西岸に位置するSt.3では, 浸水深の違いにも関わらず, 流速の最大値はほとんど変わらなかった. St.3は, 津波の来襲方向に対して島影に位置するため, 流速が比較的小さく, 護岸の流速低減効果が顕著ではないことを示している. St.4~6では, 流速の最大値は, 護岸がある場合には1m/s以下であったが, 護岸がない場合には1m/sを上回った. 特に, 津波の来襲方向である東岸に位置するSt.5~6において, 流速の増加が顕著である.

以上のことから,護岸がない場合には東から来襲した津波が南東部から陸上に遡上するが,護 岸がある場合には南東部からの遡上が妨げられ,護岸が比較的低い南西部から浸水すること, 護岸によって陸上での浸水深や流速が低減されたことがわかる.

⑥結論

津波の遡上計算の結果から,波返し工を有する護岸は浸水深を下げるだけでなく,陸上における流速を低減することがわかった.一般的に流体力は流速の2乗に比例すると言われていることから,護岸による流速の低減は,陸上における人的・物的被害の軽減に大きく寄与したと考えられる.

2)海岸堤防に加わる津波波力5)

①概要

津波による堤内地での被害を最小化するためには,海岸堤防が津波の遡上に対して安定で なければならない.津波の波力は海岸堤防の被災要因の一つであり,その照査方法の確立が望 まれている.既往研究では,海中や陸上に設置された構造物に作用する波力が模型実験により 評価されているが,構造物の海側を水平床としていることが多い.海岸堤防は勾配を有する砂浜 の背後に設置されることが一般的であることから,このような斜面上での遡上波の変形を考慮して, 波力を評価する必要がある.また,垂直壁を対象とした既往研究の成果は,傾斜堤の波圧算定 にそのまま適用することはできない.

そこで,堤防に作用する津波の波力を評価するため,大型模型実験を行った. ②実験諸元

図4.4-11のように,長さ140m,幅2m,深さ5mの水路に固定床の斜面(海域:1/20勾配,陸域 1/100勾配)を造成し,縮尺1/10程度の堤防模型(堤脚からの天端の高さ0.5m,天端幅0.4m)を 設置した.堤防模型には,表4.4-1のように,水路を完全に締め切るType1~4と,河口部等を想 定して水路を半分仕切るType5を設定した.

Type1~4では、図4.4-12のように、堤防の表のり、天端、裏のりと堤防背後の斜面に約0.1m 間隔で波圧計を23個配置した.Type5では、図4.4-13のように、堤防の端部および側面に波圧 計を集中させた.波圧のサンプリング周期は、衝撃的な波圧も測定できるように、水谷・今村⁶⁾に 従って0.002sとした.波圧計のほか、堤防の周辺を中心に容量式波高計と流速計を設置し、堤 防の陸側に設置された波高計で得られた水位から越波量を推定した.

潮位は,堤防前面の浜の有無を考慮して,表4.4-2に示す5条件を設定した.潮位3.8mの場合に,汀線は堤脚に位置する.Type1~4については,5条件の潮位を3条件の孤立波と組み合わせて,各模型について15ケースの実験を行った.一方,Type5については,表4.4-2に示す3ケースの実験を行った.

80



図4.4-11 模型断面図



図4.4-12 計測器の配置(Type1~4)

<u>我有有</u> 人的方法			
Туре	幅(m)	表のりの勾配	裏のりの勾配
1	2	1:1	1:1
2	2	1:1	1:1.5
3	2	1:0.5	1:1
4	2	1:0.5	1:1.5
5	1	1:0.5	1:1

表4.4-1 模型諸元



図4.4-13 波圧計の配置(Type5)

表4 4-2	 御	波浪	条件
X = -2		VXIX	

Туре	潮位(m)	入射波高(m)
$1 \sim 4$	3.50 (m30), 3.65 (m15), 3.80 (pm0), 3.95 (p15), 4.10 (p30)	0.2, 0.3, 0.4
	3.80	0.4
5	3.95	0.3
	3.95	0.4

図4.4-14は, Type3の模型に潮位3.8m, 入射波高0.4mを与えたケースでの, 水位(H4:堤脚, H5:天端のり肩), 流速(V5:天端のり肩), 表のりの波圧(P1:堤脚, P3:堤脚の0.2m上方, P5: 堤脚の0.4m上方)を時系列で示している. 斜面上での波の変形により, 波高はH4で1.1m, H5で も0.6mに達した.また, 流速は水位より早くピークに達し, その最大値は2m/sを超えた. 波圧の 最大値は, P1とP5では100 gf/cm²(9.8kPa)程度だったが, P3では遡上波到着直後に0.004秒 間だけ500gf/cm²(49.0kPa)を超えた.このような衝撃的な波圧が, いくつかのケースで測定され た.



図4.4-14 表のりでの水位・流速・波圧(Type3)

④波圧の測定結果

(a)水路を完全に仕切ったケース

図4.4-15~18は、入射波高0.4mで潮位が異なる5つのケースについて、堤防模型毎に各点の 波圧最大値を示したものである.各図では、波圧計の設置箇所がわかるように、(1)表のり、(2)天 端、(3)裏のり、(4)背後斜面に分割している.なお、各図の凡例の末尾(m30など)は、表4.4-2に 示した潮位に対応している.

a) Type1(表のり勾配1:1, 裏のり勾配1:1)

図4.4-15のように、堤脚が汀線のケース(図中T1pm0)では、波圧は表のりのP2(堤脚の0.1m 上方)が最大で、約400gf/cm²(39.2kPa)を記録した.このケースでは、図4.4-19のように、堤防 のすぐ沖での砕波により前方に飛び出した水塊が表のりに衝突していた.そのケースより潮位を 0.15m下げたケース(図中T1m15)でも、図4.4-20のように、堤防の沖での砕波で形成されたボア が堤脚から表のりを遡上し、P1で波圧は約300gf/cm²(29.4kPa)と高かった.このような高い波

圧は前章のような瞬間的なものであった.それら以外のケースでは,表のりの最大波圧はP4(堤脚の0.3m上方)より下で80gf/cm²(7.8kPa)程度で,のり肩周辺ではさらに小さかった.





図4.4-19 堤防沖側での砕波(T1pm0)

図4.4-20 堤防沖側での砕波(T1m15)

表のり上部から天端, 裏のり中央部にかけては, いずれの潮位でも最大波圧は100gf/cm² (9.8kPa)以下であった.しかし, 裏のり尻辺りから最大波圧は増加し, 潮位が低いケース以外で はP22(裏のり尻より0.4m陸側)で極大となった. b) Type2(表のり勾配1:1, 裏のり勾配1:1.5) Type1とType 2は表のりの勾配が同一であるが,入射波のわずかな相違により,図4.4-16のように汀線が堤脚のケース(図中T2pm0)などで表のりの最大波圧が小さくなった.これは,衝撃的な波圧が局所的に生じていることを暗示している.一方,表のり上部から裏のり中央部の範囲で最大波圧が100gf/cm²(9.8kPa)以下となり,その陸側で最大波圧が大きい傾向は同じであった.

堤防の陸側に着目すると、Type1と異なり、P18(裏のり尻)で波圧が比較的大きくなっている. 水谷・今村(2002)の実験では勾配1:1.5の裏のりについては衝撃的な波圧は生じなかったと報 告されているが、今回の実験では波圧は瞬間的に大きくなっていた.

c) Type3(表のり勾配1:0.5, 裏のり勾配1:1)

堤脚が汀線のケース(図中T3pm0)では,堤防のすぐ沖側で砕波して越波しており,図4.4-17 のように最大波圧は表のりのP3(堤脚の0.2m上方),P4(堤脚の0.3m上方)で500gf/cm² (49.0kPa)を超え,P6(のり肩)でも極大になっている.一方,このケースより潮位を0.15m下げた ケース(図中T3m15)では,砕波は前述のケースより沖で生じ,表のりの最大波圧は140gf/cm² (13.7kPa)以下になり,Type1やType2と比べて小さかった.逆に,潮位が堤脚より0.15m高いケ ース(図中T3p15)では,図4.4-21のように表のりの上部に津波が激しく衝突し,P6(のり肩)で 267gf/cm²(26.2kPa)と比較的大きい波圧を記録している.

天端から裏のり中央部にかけての範囲では,最大波圧は比較的小さい.裏のりののり尻から背後にかけては,潮位が低いケースを除くと,最大波圧は100gf/cm²(9.8kPa)程度であった.



図4.4-21 表のり上部へ衝突する直前の遡上波(T3p15)

d) Type4(表のり勾配1:0.5, 裏のり勾配1:1.5)

図4.4-18のように,表のりの最大波圧はType3と同様の傾向であり,堤脚が汀線のケース(図中 T3pm0)やそれより潮位が0.15m高いケース(図中T3p15)で大きかった.堤防の陸側について は,Type2と同様に,P18(のり尻)で最大波圧が比較的大きく,ここでは瞬間的に波圧が大きくな っていた. (2)端部での波圧

図4.4-22は、Type5の堤防模型の側面で測定した各点の波圧最大値を最大水深とともに示している.図中の実線は、最大水深に対応する底面での静水圧を示している.堤防の表のりとは異なり、側面の波圧は、最大でも最大水深に対応する静水圧をわずかに上回る程度である.

図4.4-23は、Type5の模型に潮位3.8m、波高0.4mを与えたケースでの、各点の波圧の最大 値を示している. Type3(図中:表のり)と比べると、表のり端部の波圧は底面から0.3mの範囲で 半分以下となっており、側面端部やその陸側に位置する天端側面の波圧はさらに小さくなってい る. このケースより潮位を上げたケースでも、側面の波圧は表のりより小さかった. 以上のことから、 表のり端部の波圧はその周辺と比べて著しく大きくなることはなく、側面の波圧は表のりよりかなり 小さくなると考えられる.



図4.4-24 波圧の鉛直分布(表のり勾配1:1)

図4.4-25 波圧の鉛直分布 (表のり勾配1:0.5)

⑤考察

(1)表のりの波圧

図4.4-24~25は、表のりの波圧の鉛直分布を示している. 横軸は堤脚での波高Hなどを用い て無次元化した最大波圧、縦軸は静水面を基準として無次元化した鉛直座標である. 図中には、 押波初動の正弦波が垂直の防波堤に衝突する模型実験による谷本ら⁷⁾の算定式、ゲート急開に 伴う段波が海域の垂直壁に衝突する模型実験による池野ら⁸⁾の算定式、ゲート急開に伴う段波 が陸上の垂直壁に衝突する模型実験による池野ら⁹⁾の算定式による波圧の鉛直分布も合わせて 示している. 表のり勾配1:1では、多くのケースで谷本ら⁷⁾に従って得られる波圧より小さく、池野 ら⁹⁾の算定式を使えばほとんど全てのケースで過小評価とならない. 一方、表のり勾配1:0.5では、 堤脚が汀線となるケースを中心に、静水面より少し上方での波圧が池野ら⁹⁾の算定式でも過小評 価となることがある.

(2)裏のり・背後の波圧

図4.4-26は,裏のり尻付近の最大波圧を水谷・今村¹⁰⁾の式で得られる線とともに示している. 水谷・今村¹⁰⁾は,水平床上に設置した堤防模型を段波が越流する模型実験を行い,越流による 堤防背後の最大波圧の算定式を提案している.実験データはこの算定式で得られる値を上回る ものでないことから,孤立波の場合でも前述の式を適用できると判断される.



図4.4-26 最大越流波圧

⑥結論

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである.

・斜面を遡上してきた孤立波が汀線付近の傾斜堤に衝突する際に,表のりで瞬間的に大きな波 圧が局所的に生じるケースがあった.そのような衝撃的な波圧の発生には,堤防付近での砕波 が影響している. ・表のりの波圧最大値は、下部で比較的大きいが、表のりの勾配が1:0.5の場合、表のりの上部 に津波が激しく衝突して著しく大きくなることがあった.また、汀線が堤脚にある場合、池野ら (2003)の算定式で得られる値を上回ることがある.

・裏のりの勾配が1:1.5の場合,裏のり尻で瞬間的に波圧が大きくなるケースがあった.また,裏のりの波圧最大値は,裏のり勾配により最大点の位置が変わるものの,水谷・今村(2002)の算 定式で評価できることが確認された.

・表のりの端部において波圧が著しく高くなることはなかった.また,堤防側面の波圧最大値は, 水深の最大値に対応する底面での静水圧をわずかに上回る程度である.

今回の実験では堤防の直交方向から孤立波を入射している.堤防に対して津波が斜めに入射 する場合,端部では今回の実験より大きい波圧が生じる可能性があり,今後の検討が必要である.

3) 橋桁に加わる津波波力¹¹⁾

①概要

津波が衝突するおそれのある構造物としては,海岸堤防以外にも,河口付近の河川橋などが 挙げられる.実際,2004年スマトラ島沖地震・津波の際にも,橋桁が流出した事例がいくつか報 告されている¹²⁾.一方,わが国では津波により近代的な橋梁が被災した事例がなく,津波衝突 時に橋桁にどのような力が作用するのかが検討されていないため,津波来襲時の橋梁の安全性 評価はほとんどなされていないのが現状である.ここでは,水路を用いた模型実験を実施し,波 力等の計測結果を整理,分析することにより,橋梁の津波安全性あるいは被災度の評価に用い る波力について考察する.

②模型実験

図4.4-27のように,長さ140[m],幅2[m],深さ5[m]の水路に固定床の斜面(海域:1/20勾配, 陸域1/100勾配)を造成し,縮尺1/18の橋桁模型(鋼製,幅員50[cm],高さ15[cm])を設置した. 波力を計測する対象となる部分の長さ(橋軸方向)は50[cm]であり,これを水路の中央に設置し, 両端に同じ断面で幅75[cm]の橋桁模型を設置することにより,2次元性が確保されている.

87



図4.4-27 水路に設置した橋桁模型 (unit: mm).

造波する孤立波の初期波高 H₀ と静水深 h を表 4.4-3 に示す 15 の組み合わせに設定し, そ れぞれの組み合わせで3回ずつ実験を行った. 図 4.4-27 のとおり, 分力計で水平波力と鉛直波 力を計測したほか, 橋桁に波圧計を 20, 橋桁の周辺を中心に容量式波高計と流速計を設置し た. サンプリング周期は 0.002[s]とし, 衝撃的な波力も測定できるようにした ¹³⁾. 橋桁は薄い鋼 板で支えられているが, 橋桁のみを除去した実験を行い, 鋼板に作用する波力は小さく無視でき ることを確認している.

表 4.4-3 実験で設定した初期波高 H₀と静水深 h

H ₀ [cm]	h [cm]
20	15 30
20	7.5 10 10 5 15 20
30	7.5, 10, 12.5, 15, 30
40	7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20,
	22.5, 30

③計測された波力

図 4.4-28 は H₀=40[cm], h=17.5[cm]の場合に水平波力が最大となった瞬間の状況を示して いる. これは全ケース中で最大水平・鉛直波力がともに最も大きかったケースであり, 孤立波は橋 桁模型に衝突する前後に砕波している. 図 4.4-29 はケースごとの最大波力(3回の平均値)を比 較したものであるが, 同じ H₀ であれば h が小さいほど下流側, 大きいほど上流側で砕波するた め, 最大波力はこのケースよりも小さくなっており, 最大波力は波がどこで砕波するかに大きく影 響されることが分かる.

同じ H₀=40[cm], h=17.5[cm]の場合に分力計で計測した水平・鉛直波力の時刻歴を図 4.4-30 に示す.水平波力は上流側,鉛直波力は上方が正である.

水平波力には大きいピークがいくつかみられるが,波圧の時刻歴との比較により,最初と3番 目のピークがそれぞれ,波が橋桁模型の下流側および上流側鉛直面に衝突した時刻にほぼー 致することが分かった.これら以外の2番目および4番目以降のピークは,模型と分力計で構成さ れる系の振動によるものと考えられる.このため,最初と3番目のピーク,すなわち図 4.4-29 に示 した最大波力にも,この系の振動による影響が含まれているものと推察される.

津波衝突後1秒足らずでこの系の振動は減衰して小さくなり,ほぼ定常であるが漸減する力が 作用するようになる.このとき,橋桁模型の下流側鉛直面では中央が最も大きく,上端あるいは下 端ほど小さい波圧分布となっていることから,この力は抗力であることが確認できる.抗力が漸減 するのは,波高および流速が徐々に低下していくためである.

鉛直波力には大きなピークが1つあり,水平波力とほぼ同時に最大値となっている.鉛直波力の最大値は水平波力よりも大きく,継続時間が短い揚力が作用し,その後水平波力と同様に漸減している.



図 4.4-28 橋桁に衝突する孤立波(H₀=40[cm], h=17.5[cm]).



図 4.4-30 橋桁に作用した波力の時刻歴 (H₀=40[cm], h=17.5[cm]).

③衝撃波力

実験で得られた水平波力の最大値は、図 4.4-29 に示したとおり、H₀=40[cm]、h=17.5[cm]の 場合に 2.5[kN]である. これを実際の橋梁(模型の 18 倍)に作用する圧力に換算すると、フルー ドの相似則により圧力が 18 倍となること、橋桁模型の受圧部分の橋軸方向長さが 0.5[m]である ことから、実物大に換算した圧力は以下のようになる.

 $2.5/(0.5 \times 0.15) \times 18 = 600 [kN/m^2]$

したがって単位橋軸方向長さに作用する波力は

 $600 \times (0.15 \times 18) = 1.6 \times 10^3 \, [kN/m]$

となる.

一方,道路橋の橋桁の死荷重は幅員 12[m],支間 40[m]の鋼 I 桁で単位橋軸方向長さあた り 1.5×10²[kN/m]程度 ¹⁴⁾であり,継続時間は短いが死荷重の 10 倍以上の水平力が作用する ことになる. ただし,このときの波高は橋桁模型付近では 60[cm]以上になっているため,この値 は,10[m]以上の津波が来襲し,さらに橋梁付近で砕波した場合の波力に相当するものと考えら れるから,津波衝突時に常にこのような極めて大きい波力が作用するわけではない.

揚圧力も含め、このような衝撃波力が作用した場合には、支承、落橋防止構造が大きな損傷を 受ける可能性がある.しかし、橋梁付近で砕波するか否かは津波波高と静水深に依存する問題 であること、また特に鉛直方向の衝撃波力に対する支承の耐力が不明であることから、津波衝突 時の支承の損傷程度を荷重と耐力の比較に基づいて行うことは困難である.したがって現時点 では、津波に対する橋梁の被災度評価に際し、越流すれば支承、落橋防止構造が損傷する可 能性があると見なすなど、荷重と耐力の評価を省略した簡便な評価を行うことも考慮する必要が ある.

④水平抗力

衝撃波力により支承や落橋防止構造が損傷したとしても,橋桁が流出しなければ,限定的でも 早期に橋梁の機能を回復できる場合がある.したがって道路橋の被災度を交通機能障害の程度 で評価する場合には,構造的な損傷だけでなく,橋桁が流出するかどうかも評価する必要がある.

実際には衝撃波力により移動し始めた橋桁が水平抗力により流出に至るといった過程を経る ことも考えられるが,ここでは衝撃波力よりも水平抗力の方が橋桁の流出には影響が大きいと考 え,水平抗力の評価について検討した.

模型の振動が十分小さくなった時点から 3 秒後(それ以前に波力がゼロになる場合は打ち切 り)まで,0.5 秒間隔で水平波力の平均値を計算した値を縦軸に,港湾基準式で計算した水平波 力を横軸にして描いたものが図 4.4-31 である.この図によれば,港湾基準式で計算した水平波 力は,実験で計測した水平抗力の上限を抑えており,港湾基準式により水平抗力の安全側の評 価ができることを示している.なお,図 4.4-31 には H₀=40[cm]の場合のみを示したが,初期波 高が異なるケースについても同様であった.



図 4.4-31 実験で得られた抗力(H₀=40[cm],幅 50[cm])と港湾基 準式から算定される波力との比較

⑤結論

本研究では,水路を用いた模型実験を行い,その結果に基づいて,橋梁の津波安全性評価に 用いる波力について考察した.得られた結論を列挙すると以下の通りである.

1.津波が橋梁付近で砕波すると、極めて大きな衝撃波力が水平・鉛直方向に作用する.

2.衝撃波力と支承・落橋防止構造の耐力とを比較してこれらの損傷程度を評価することは困難であり、より簡便な評価を行うことも考慮する必要がある.

3.力積で比較すると衝撃波力よりも水平抗力の方が大きく,橋桁の流出可能性の評価には水平 抗力を用いる必要がある.

4.橋桁に作用する水平抗力は港湾基準式で上限が抑えられるため,港湾基準式により安全側の 評価ができる.

4)コンテナの漂流シミュレーション

津波が来襲した際の漂流物としてコンテナを対象にエプロン上の漂流シミュレーションを実施した.

1)計算条件

計算モデルとして単純な2次元水路を仮定した.計算条件を以下に示す.

①津波計算

- · 波高4m,周期5分
- ・ 海底地形(図4.4.1-26), 奥行き100m
- 水路延長報告格子間隔(X方向):10m,横断方向(Y方向):10m

② コンテナモデル

コンテナは20ftを対象とし、図4.4-33のように直径1mの要素モデルを6×3×3の54個を用いて構成した.コンテナは図4.4-32の1550mの位置(護岸から50m)に蔵置した.コンテナ重量は、空(2.2t)、半載(11t)、満載(22t)の3種類を設定した.



2)計算結果

3種類の重量による違いにより移動量が異なることがわかる. 空コンテナの移動量が大きく,満載時はほとんど移動していない. コンテナへの作用力の時刻歴は,移動量と対応した結果が出ている.

衝突力の計算に当たっては, 粒子の位置を海から50m離れた 護岸上と20m離れた場合を想定 した.衝突力は粒子から10m背 後に固定壁を設置した.ただし, 津波計算時においては固定壁を 設置せず,水流を乱さず衝突力



を計測した場合を想定した.図4.4-35及び図4.4-36に衝突力の時刻歴波形を示す.満載は移動しないため,衝突力を生じないが,他の2ケースは瞬間的に大きな値を示した.力は受圧壁の値を示しているため,負の値をとる.



⁽粒子初期位置護岸から50m)



以上のように,平面2次元の漂流・衝突シミュレーションを実施した.その結果,漂流挙動や衝 突力を表現できることが確認できた.また衝突力の値は既往実験と同オーダーであり,漂流と衝 突現象を同時に表現できることを示した.

4.4.2 対象物の被災度評価

1) 海岸堤防およびその背後地¹⁷⁾

①概要

中央防災会議や自治体による津波被害の想定では、現況の海岸堤防の存在を仮定している ことが多い.海岸堤防はコンクリート造またはコンクリート等で被覆されていることが多いが、地震 動や津波により破壊され、背後地の被害が増大する可能性がある.背後地被害の低減にどのよ うな堤防改良(嵩上げ、耐震化、耐波性能の強化など)が有効か判断するためには、地震動によ る堤防沈下や洗掘等による破堤など堤防被災を考慮した被害想定手法を確立する必要がある. また、インド洋大津波の被災地で見られたように、河口砂州や砂浜は津波により変形することが ある.河口砂州の変形は津波の河川遡上に、砂浜の変形は海岸堤防の安定性に影響することか ら、津波の被害想定においては津波による地形変化を考慮する必要がある.以上を踏まえ、津 波および地震動による海岸堤防および地形の変状を考慮した背後地の人的・物的被害の定量 的評価手法を提案した.

②津波シミュレーション

図4.4-37に示す高知県の仁淀川河口周辺を対象に,波源として中央防災会議の東南海・南海地震同時発生モデルを採用して津波被害想定のケーススタディを行った.表4.4-4のように地震動による堤防沈下,津波掃流力による地形変化,法先洗掘による海岸堤防の破堤を考慮して, 非線形長波方程式を用いて津波の伝播・遡上を計算した.ネスティングにより計算格子間隔を 2700mから11mまで細かくし,潮位は朔望平均満潮位(T.P.+0.945m)とした.なお,水門は・樋 門は全て閉まっているものとした.

93



図 4.4-37 ケーススタディの対象地域

表 4.4-4 ケース設定

ケース	堤防沈下	地形変化	破堤
A1	なし	なし	なし
A2	あり	なし	なし
B3	あり	あり	なし
B4	あり	あり	あり

堤防沈下量は,地殻変動量(対象海岸では2m程度の沈降)とは別に,東南海・南海地震が同時発生した場合の地震外力(M8.6)をレベル2の地震動と位置づけた堤体土の動的FEM解析の 結果を用いた.動的FEM解析では,被覆コンクリートの効果を,表のりの土被りが小さい仁ノ工 区(河口東,天端高T.P.+9.81m)では無視し,表のりの土被りが大きい新居工区(河口西,天端 高T.P.+10.13m)では考慮した.その結果,堤防沈下量は仁ノ工区で3.44m,新居工区で0.09m となり,沈下後の天端高はそれぞれT.P.+4.39m, T.P.+8.02mに設定した.

掃流力による地形変化の計算は、高橋ら¹⁸⁾に従って、流砂量式としてマニング則による海底 摩擦力をBrown式に与え、砂の連続式として渡辺ら¹⁹⁾の式を用いた.堤防は被覆されているの で、侵食が生じないようにそのメッシュでは砂層厚を0とした.砂の中央粒径は2mm、空隙率は 0.4とした.図4.4-38のように、破堤に関わる堤防近傍の地形変化は掃流力とともに越流時の水 塊の鉛直落下により生じると考え、野口ら²⁰⁾の実験式により堤防での越流量から法先部の洗掘 深を算定した.破堤は、堤防背後地盤が堤体内の残留水位(T.P.+0.54m)まで洗掘された時点 で堤防高が背後地盤まで下がると仮定した.



図4.4-38 破堤を考慮した津波・地形変化計算

図4.4-39は、ケースB3およびB4における仁ノ工区堤防前面の水位・流速の計算結果である. ケースB3では、水位は、地震発生から約30分後に最大値6.53m(地殻変動後)となり、その後も 増減を繰り返している.しかし、水位最大時付近の押し波でしか越流しないため、その時だけ岸 向きの流速が大きくなっている.このように、破堤を考慮しない場合、仁ノ工区では第一波しか越 流せず、引き波による越流は生じない.一方、破堤を考慮したケースB4では、最高水位は5.39m に低下するが、第二波以降も押し波と引き波により流速が大きかった.なお、堤防沈下がわずか である新居工区では、越流が生じなかった.





図 4.4-40 最高水位(四角内はケース番号)



図 4.4-41 最大浸水深(四角内はケース番号)



図 4.4-42 最大流速(四角内はケース番号)



図 4.4-43 地形変化量(四角内はケース番号)

図4.4-40は各ケースの最高水位を示している.ケースA1では,最高水位は仁ノ工区や新居工 区で7~8m,河口砂州の海側で6m程度に達したが,河道内では河口砂州の影響で5m以下で あった.堤防沈下を考慮したケースA2では,越水が生じた仁ノ工区の堤防海側で最高水位が A1より1m程度下がった.さらに土砂移動も考慮したケースB3では,最高水位は河口砂州で1m 程度低下する一方,河道内では若干上昇した.さらに破堤も考慮したケースB4では,仁ノ工区 の堤内地で水位が上昇し,浸水域も若干広がった. 図4.4-41は,各ケースの最大浸水深を示している.ケースA1では,最大浸水深は仁ノ工区や 新居工区の堤防海側で6m以上となり,河口砂州の付け根や先端でも4m以上になった.堤防沈 下を考慮すると(ケースA2),堤内地の低いところで2m以上の最大浸水深となる.さらに土砂移 動も考慮すると(ケースB3),河口砂州の付け根や先端での浸水深が増大する.さらに破堤も考 慮すると(ケースB4),堤内地の最大浸水深が増大する.

各ケースの最大流速を図4.4-42に示す.ケースA1では,押し波により河口砂州の陸側や河道の中心で,引き波により河口砂州の切れ目で5m/s以上の流速となった.仁ノ工区で越水が生じるケースA2では,堤内地での流速は押し波の時に最大となり,5m/sを上回る.ケースB3,B4に見られるように,地形変化や破堤も考慮することにより堤内地の流速は大きくなる.

図4.4-43は土砂移動を考慮したケースでの地形変化量を示している.堤防の近傍では侵食し, 堤内地では地盤高が低いところに堆積する傾向が見られる.また,押し波により河口砂州が上流 側に移動し,引き波により砂州の切れ目や堤防越流箇所の沖で堆積している.河口砂州の先端 などでは,津波により地盤高は2m以上低くなる.

以上のように,堤防沈下や破堤は堤内地の浸水深,流速,地形変化を増大させる.

③背後地被害の予測

自治体や中央防災会議による津波被害想定の手法をレビューし、その代表的な被害関数を 堤内地の被害予測に用いた.津波による建物被害の推定には、神奈川県の被害関数(対象:木 造建物、大破:浸水深4m以上、中破:同2~4m)と、静岡県など多くの自治体や中央防災会議 「東南海・南海地震等に関する専門調査会」の被害関数(表4.4-5)を用いた.一方、津波による 人的被害は、表4.4-5に示す3種類の被害関数を用いて、建物被害や最大浸水深から推定した. 神奈川県等の手法では、死者数は東南海地震、負傷者数は日本海中部地震の実績に基づいて いる.静岡県等の死者・負傷者数の算定式、中央防災会議の死者率は北海道南西沖地震の実 績に基づいている.中央防災会議の手法については、普通地震と津波地震の違い、避難意識の 高低を組み合わせて4つのケースを設定した.津波到達時間の関数である避難未完了率は、地 震発生からの経過時間で大きく変わるが、平均的な破堤時刻(地震発生から33分後)における値 を採用した.なお、浸水域内の建物数と乗じて算定した.また、浸水域の人口は各市町村 の1世帯当たりの人口に浸水域の建物数を乗じて算定した.また、浸水域の木造家屋と非木造 家屋の割合は、各市町村の公表値と同一とした.

	浸水深(H)		
11111111111111111111111111111111111111	木造	非木造	
床上 (大破)	2.0m≦H	-	
床上 (中破)	1.0m≦H<2.0m	-	
床上 (軽微)	0.5m≦H<1.0m	2.0m≦H	
床下浸水	H<0.5m	H<0.5m	

表 4.4-5 建物被害の基準²¹⁾

表4.4-6 人的被害の算定方法

手法	死者数	負傷者数
神奈川県等	0.072×(大破建物数+1/2中破建物数) [^] 1.018	重傷者数:1.074/10000×(大破建物数+1/2中破建物数)^1.961 軽傷者数:4.510/10000×(大破建物数+1/2中破建物数)^1.961
静岡県等	0.0424 ×exp[0.1763×(建物被害率)] ×人口 【建物被害率=(大破戸数+0.5×中破戸数)/建物総数】	重傷者数:0.0340×建物被害率×人口 中等傷者数:0.0822×建物被害率×人口
中央防災会議	避難しようとする人:津波影響人口×避難未完了率×死者率 避難しない人:津波影響人口×死者率 【死者率=0.0282×exp(0.2328×津波高さ)】 【避難未完了率:津波到達時間の関数で、普通地震と津波地 震、避難意識により異なる】	設定なし

建物被害の予測戸数を図4.4-44に示す.いずれのケースでも建物がある地点の浸水深が4m 以下だったため、神奈川県の手法で得られる中破棟数は静岡県等の手法で得られる大破棟数と 一致する.そこで、静岡県等の手法の予測結果に着目すると、ケースA1では浸水建物は1棟だ が、堤防沈下を考慮すること(ケースA2)により39棟が大破・中破に至り、土砂移動と破堤を考慮 すると148棟が大破・中破となる(ケースB4).堤防沈下や破堤による浸水深の増大と浸水域の拡 大が建物被害に大きく影響している.

図4.4-45は、表4.4-6に示した各手法で得られた人的被害の予測結果である. 神奈川県等の 手法では死者はほとんど出ない. 静岡県等の手法では、建物被害棟数の増大とともに死傷者数 が増加し、破堤を考慮したケースB4では死傷者数は90人になった. 中央防災会議の手法では、 住民の避難意識が高いと、避難しようとする人の割合が高く、かつ避難未完了率が低くなるため、 死者はほとんど出ない. 一方、避難意識が低い場合には、津波地震時の避難未完了率が高いた め、津波地震の死者は普通地震の2倍程度になる. このように、避難意識の向上による人的被害 の軽減効果が読み取れる. なお、中央防災会議の手法で得られる死者数の最大値は、浸水深 が大きいケースでは静岡県等の手法と比べて小さかった.



以上のように,背後地の人的・物的被害は,地震動による堤防沈下が生じると増大し,さらに 破堤が発生すると著しく増大する.また,避難意識の高低が人的被害に大きく影響する. ④結論

本研究の手法により,堤防の耐震化や破堤防止,避難意識の向上による人的・物的被害の軽 減効果を定量的に評価できる.

本研究の実施に際し、四国地方整備局高知河川国道事務所より海岸堤防の耐震調査成果をお借りした.ここに記して謝意を表します.

2) 港湾施設

港湾の脆弱性評価指標の抽出・整理

沿岸域においては,津波の来襲により,各種の構造物や施設が被害を受けることとなる.こ れらの被害には,構造物や施設の破壊,損傷等による直接的な被害と,物流機能や産業機能 等の低下に伴い発生する間接的な被害とがある.ここでは,被害の波及を考慮に入れ,港湾 施設及び海岸保全施設の機能の発揮度合いを評価する指標を考案し,津波に対する脆弱性 評価指標を抽出した.施設,構造物毎に津波の脆弱性評価指標を整理した結果を表4.4-7及 び表4.4-8に示す.

陸域(氾濫域)における津波の規模や特性については,浸水深,流速,到達時間等を予測 することが可能であり,浸水深,流速,到達時間等の規模(深さ,大きさ,早さ)に応じた各施 設の機能や構造物の津波被災レベルについて,直接被害と間接被害に分類して整理する必 要がある.津波による被災レベルの設定を整理することにより,今回検討した評価指標の抽 出・整理結果に基づき,被害軽減対策を検討することが可能となる.
施設・構造物	脆弱性評価指標
岸壁	港湾取扱貨物量,岸壁延長・水深,出荷額,取扱品目,緊急輸送物資
	_ 瓦礫処分量 等
護岸	背後地防護,廃棄物処分関連(廃棄物処分場護岸) 等
防潮堤	背後地防護 等
水門,陸閘	背後地防護 等
荷さばき地・野積み場	荷さばき地・野積み場面積 等
倉庫·上屋	倉庫・上屋面積 等
泊地	船舶数,サイズ 等
水域	水質,底質,ごみ,生態系 等
干潟・藻場・珊瑚礁	生態系,干潟·藻場·珊瑚礁面積 等
旅客ターミナル	船舶乗降客数,航路数 等
公園,緑地	緑地面積,駐車場面積 等
レク施設	レク施設数,宿泊者数,来訪者数 等
マリーナ	プレジャーボート隻数 等
臨港道路	交通量, 輸送車両, 緊急輸送物資量 等
臨港鉄道	交通量, 輸送車両 等
工場,事業所	事業所数·面積,資産額,就業者人口 等
建築物	居住人口,家屋数 等
水道,下水道,ガス,電気	ライフライン関連 等
等	
発電所,ガバナー	エネルギー供給関連 等

表4.4-8 構造物毎の脆弱性評価指標(海岸保全施設)

施設·構造物	脆弱性評価指標
護岸・堤防	背後地防護 等
防波堤	水域防護 等
岸壁	漁獲量,水産施設規模 等
水域	希少種,生物種類,生態系,水質,底質,環境基準 等
干潟・藻場・珊瑚礁	希少種,生物種類,生態系
海浜	景観,開放感,美しさ 等
公園·緑地	景観,親水,レクリエーション,駐車場面積等
レク施設・宿泊施設	景観,親水,レクリエーション,来訪者数,宿泊者数 等

② 港湾における脆弱性評価手法の開発

高知市周辺を対象にケーススタディを実施し,評価手法の検討を実施した.主に臨港道路を 含めた港湾へのアクセス途絶の可能性を検討した結果から,各種の指標を用いて脆弱性の評価 を実施している.図4.4-46に陸閘解放時と陸閘閉鎖時における評価指標を用いた場合の脆弱 性の変化を示す.ここでは,アクセス道路の津波被害の度合い示す指標として,通行の障害とな る道路の距離とその区間の走行車両台数の積を示した.また,脆弱性の指標としては,被災した 経路を迂回することにより増加する距離×迂回車両台数を試算して計上した.

陸閘の開放と閉鎖の場合を比較すると,陸閘の閉鎖により「直接的に被害が発生する道路区 間延長」は,陸閘閉鎖時の約0.45倍に減少することとなる.高知港の陸閘は,交通量の多い国 道32号などを津波の影響から回避することができるため,被害指標(=影響を受ける車両×走行 距離)でみると,陸閘閉鎖により津波の影響度は0.28の水準にまで低下する.

しかしながら、「経路途絶による迂回距離(ここでは、津波被害により経路が途絶する道路区間の両端間を当該経路以外の最短経路を利用して移動する距離とした)×走行台数=脆弱性指標」とした場合の脆弱性の低減は 0.61 にとどまっている. これは、市街中心部の道路は、並行する道路が多数あるため迂回が容易である(脆弱性は低い)が、湾口部の道路の場合は長距離の迂回が必要となる(脆弱性は高い)と考えられ、この場合、陸閘閉鎖により脆弱性の低い道路は被害が回避されるものの、脆弱性の高い道路は被害がさけられないためである.



※ 被害指標=走行困難となる区間距離×走行車両台数

※ 脆弱性指標=迂回により増加する走行距離×走行車両台数

図 4.4-46 陸閘閉鎖による被害回避

3) 道路橋

津波による道路橋の被災度評価手法として,図4.4-47のフローを提案した.これは以下のよう な考えに基づくものである.

①津波衝突時の衝撃波力やそれに対する支承の耐力の評価が困難であるため,橋桁を越流す れば支承が損傷するという簡便な評価を採用した.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できる)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.ここで摩擦係数は,既往の実験結果より0.6とする. 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を考 慮したものである.



図4.4-47 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー

4.4.3 被災低減のための対策

津波対策は大きく,構造物による対策(ハード対策)と情報による対策(ソフト対策)に分類できる. ハード対策とソフト対策の項目(メニュー)を表 4.4-9 に示すが,津波のハード対策の一般的な例 としては,津波防波堤,津波防潮堤(津波護岸),津波水門などが挙げられ,ソフト対策としては ハザードマップの作成,防災訓練などが挙げられる(図 4.4-48).

表 4.4-9 津波災害のハード防災とソフト防災の内容

・津波防波	堤(大水深	でなければ	効果がない)大船渡	度(チリ津波),
釜石,須	崎,久慈	(建設中)		
・津波護岸	(岩手県田	3宅町が有名))	
・津波水門	(河口部に	:設置)		
・防潮林				
3 階建以	上の RC,	SRC 建築物	(緊急の避難場所))
• 居住禁止	域の設定			
・地上げ地	域の設定			
情報による	被害軽減	(ソフト防災))	
 地震直後 	の自主避難	É		
・津波・避	難情報			
 津波の教 	副			
• 防災教育				
 自主防災 	組織			
・ハザード	マップ (洋	は波危険図)		
• #h fat Rts ();	計画			
• 地域的火				

(「海岸施設設計便覧 2000 年版,土木学会海岸工学委員会」p.228)



図 4.4-48 津波対策メニューー覧

また,ハード対策とソフト対策には、各々長所と短所があるため津波被害想定結果を吟味した上で、地 区ごとに適切な津波対策を講じていかなければならない. 表 4.4-10 に各々の長所と短所を示す.

表 4 4-10	津波対策の長所と短所	ŕ
11 7.7-10		L

■ハード対策 [長所] ①維持管理はほとんど不要である. ②適切な対策を実施すれば、津波による被害を完全に防ぐ事が可能である。 [短所] ③一般的に対策に多額の費用がかかる ④完成までに長期間を要する.建設途中で津波がやってきた場合には効果が疑問である ⑤対象とする津波高以上の津波が来襲すれば被害が発生する.しかし,住民はそのような津波が 来襲することは想定していない. ⑥津波防波堤では遮蔽海域の水質悪化などの副作用が起こる危険性がある. 背後地の下水道整 備や流入河川の水質管理を平行して実施する必要がある. ■ソフト対策 [長所] ①人命損失を減らす事ができる ②ハード防災に比べて費用はそれほどかからない [短所] ③習慣化しないと効果を発揮しない(維持管理が必須) ④物的被害は軽減できない ⑤浸水開始地区や時間的な浸水拡大状況を把握する必要があり、あらかじめ陸上溯上を含む詳し いシミュレーションが必要である. 「海岸施設設計便覧2000年版、土木学会海岸工学委員会」p.228抜粋、一部加筆

これらのうち,とくに津波漂流物による被害への対策として,津波漂流に関する漂流現象の再現計算や,高 知市周辺を対象とした脆弱性評価のケーススタディをもとにして,被害軽減のための対策を考案した. ①津波漂流物挙動の検討結果から考案した対策

○船舶に関するもの

港湾内に停泊している船舶

- ・津波来襲までに十分時間がある場合,中・大型船舶は出来る限り水深の深い広い海域へ沖出しを行い, 小型船舶は陸揚げを行い固縛するなどの措置を講じる.
- ・沖出しの準備等に少なくとも10分は必要であるため,津波警報等で津波来襲を確認し,場合によって は船舶の沖出しや陸揚げはあきらめ,直ちに港湾から避難する.

・港湾内の不法係留船舶による事故防止のための小型船舶係留施設を整備

港湾周辺を航行している船舶

・航行中の船舶は、津波警報の情報を入手したら、迅速に水深の深い広い海域へ避難する.

〇木材

水面貯木場

- ・原則として陸揚げし、水面貯木の減少を図る.
- ・いかだに組みワイヤーロープ等で岸壁に固縛し流出防止を図る.
- ・貯木場開口部への角材等防止柵を設置する.

陸上貯木場

- ・木材流出防止柵を設置する.
- ・波の及ばない位置まで木材を移動させる.

・ワイヤーロープ等で結束し散乱を防止する.

- ()コンテナ
- ・木材の陸上貯木場同様,流出防止柵を設置する.
- ・多段積みを図るなどコンテナの積み方を改善する.

②漂流物による衝突挙動を検討したに考案した対策

○遡上防止柵

津波来襲時に漂流物の遡上をくい止め、被害を少なくする方策を講じる必要がある.たとえば、スリット式 砂防ダムのように土砂は流すが巨れきや流木は通過させないように、津波の遡上は果然に遮断するので はなく、流出防止柵やフェンスのように透過性フェンスを設置し海から陸への漂流物の遡上をくい止める. 逆に陸から海への流出も防ぐ施設の設置が考えられる.

○航路障害物の除去

津波来襲時の引き波により水深の小さいバースに係留中の大型船舶が座礁する危険性があるため, 航路維持浚渫を実施する.

○津波防潮堤の整備

津波遡上水深を低減することが最も効果的である.

○危険物の設置場所の変更

遡上計算範囲を参考に衝突危険物を設置しないなどの措置を講じる.

○防衝工による防御

衝突が避けられそうにない場合,被衝突物側に防衝工のようなもので被害を軽減する.

③津波脆弱性評価指標を活用した対策優先度の検討等

高知市周辺を対象としたケーススタディからは、以下のような対策が考えられる.

- ○水門・陸閘の閉鎖による浸水範囲の低減が見られることから、水門・陸閘の耐震強化が求められるととも
- に、水門・陸閘閉鎖時にも浸水が予測される区域においては避難対策や復旧対策を強化することが必要である.

○港湾を中心としたアクセス手段の面からは,交通機能に及ぼす影響の規模を評価し,復旧順位の決定等 を実施することが必要である.

4.4.4 行政施策への対応

以上で述べたような成果をもとに、今後、各自治体や整備局が津波被害想定を実施し、総合的な対策立 案を行うためのマニュアルを整備する予定である.

参考文献

1) 加藤史訓, 福濱方哉:津波遡上に及ぼす護岸の効果, 土木技術資料, Vol.47, No.10, pp.64-69, 2005.

- 2) 宇多高明, 桜本 弘, 折下定夫: モルディブ国マレ島の地形, 波浪および海浜流の特性, 海洋開発論文集, Vol.10, pp.19-24, 1994.
- 3) Fujima et. al: Preliminary Report on the Survey Results of 26/12/2004 Indian Ocean Tsunami in the Maldives, 89p., 2005.
- 4) 越村俊一, 高島正典, 鈴木進吾, 林 春男, 今村文彦, 河田恵昭:インド洋における巨大地震津波災害ポテ ンシャルの評価, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1416-1420, 2005.
- 5) 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.

6) 水谷 将, 今村文彦:構造物に作用する段波波力の実験, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.946-950, 2000.

- 7) 谷本勝利, 鶴谷広一, 中野 晋:1983年日本海中部地震津波による津波力と埋立護岸の被災原因の検討, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.257-261, 1984.
- 8) 池野正明,森 信人,田中寛好:砕波段波津波による波力と漂流物の挙動・衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集,第48巻, pp.846-850, 2001.
- 9) 池野正明,田中寛好:陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究,海岸工学論文集,第50巻, pp.721-725, 2003.
- 10)水谷 将, 今村文彦: 津波段波の衝撃性および越流を考慮した設計外力算定フローの提案, 海岸工学論 文集, 第 49 巻, pp.731-735, 2002.
- 11)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.
- 12)Unjoh, S.: Damage to transportation facilities, The damage induced by Sumatra earthquake and associated tsunami of December 26, 2004, pp. 66-76, http://www.jsce.or.jp /committee/2004sumatra/report.htm, 2005.

13)水谷将, 今村文彦:構造物に作用する段波波力の実験, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 946-950, 2000.

- 14)(社)日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.
- 15)(社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 16)(社)日本道路協会:道路橋示方書·同解説 I 共通編, 2002
- 17)加藤史訓・福濱方哉・藤井裕之・高木利光(2006):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,海岸工学論文集,第53巻.(投稿中)
- 18)高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫 (1992): 土砂移動を伴う津波計算法の開発, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.231-235.
- 19)渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉(1984):構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予報モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.406-410.
- 20)野ロ賢二・佐藤愼司・田中茂信 (1997): 津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模実験, 海岸工 学論文集, 第44巻, pp.296-300.
- 21) 首藤伸夫 (1988): 津波災害の変遷と対策上の問題点, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.237-241.

4.5 まとめ

本章では、都市地域における地震・津波災害に対する被害軽減のための要素技術として、防災事業計画 策定の基本となる被害想定・リスク評価の実用的な手法(4.2)、大規模地震が発生した際の火災による被害 とその対策(4.3)、地震と同時に発生する津波による被害とその対策(4.4)について研究・開発した成果に ついて述べた.

今後は、近い将来発生が予測される東海地震及び東南海・南海地震による災害への対策について早急な 対応が求められるなか、実用性の高い「地域の防災性評価・対策マニュアル(案)」などの形にとりまとめ、被 災リスクを回避・軽減させるための対策技術として施策に反映させていくことが重要である.

5. 土砂災害に対する研究

5.1 はじめに

はじめに、土砂災害に関してリスク評価・監視手法を検討するにあたって、既存の文献の整理を試みた. 文献 を整理するに当って、図5.1-1のように考え、各項目について整理した結果を表5.1-1に示した.

表5.1-1に示したとおり,それぞれの課題に関して,各種手法が提案されているもの,依然として課題は少なく なく,土砂災害の軽減に向けての対策を立案するにあたって,十分にハザード評価,被災度(リスク)評価を行っ た上で,対策計画を立案しているとは言い難い.そこで,ここでは,ハザード評価,被災度(リスク)評価に関して 現状と課題を整理した上で,①雨水による土砂災害に関するハザード評価,②雨水によるがけ崩れに関する家 屋,擁壁の被災度評価,③地震によるがけ崩れに関するハザード評価について,近年行った研究成果につい て報告する.



図5.1-1 既存文献の整理方針

項		評価手法		特徴・適用性等		
ハザードの予測評	Ⅰ.場所の 予測評価	スコア法		多数の斜面を対象とする倍には、比較的に簡便な手法 である.		
価				スコアを構成する要因及び危険度は経験的に設定されており、その的中度合いの確認は行われていない.		
		ファジィ る手法	理論によ	ファジィ言語関数は斜面の凹凸の程度,植生密度の程度と言った観測者の感覚を基本に作成されている. 定性的な判定データ(例えば現地踏査等)を活用した 斜面崩壊危険度判定(エキスパートシステム)への構築 の可能が見出されている.その一方で,斜面崩壊デー タを蓄積し,構造モデルが実現象をより具体化できるよ うな検討が必要とされている.		
		ニューラ ワーク	<i>ルネッ</i> ト	ニューラルネットワークを用いることにより,降雨開始直後からリアルタイムで個々の法面の崩壊判別システムが 構築可能であるとされている.判別システムは,雨の降 り始めは未崩壊と判別し,崩壊発生1~2時間前から崩 壊と判別できるため,崩壊可能性の事前予知が可能で あるといわれている。		
				時々刻々変化する崩壊確信度の大きさにより,崩壊可 能性について評価が可能である.一方,入力した学習 データにより,判別パターンや閾値が変化するので,デ ータの吟味が必要.		
				連続降雨として, 無降雨期間が 8 時間以内の降雨を対象として崩壊・崩壊前降雨の抽出を行っているため, 無降雨期間の取り方によっては, 降雨継続時間や累積雨量といった降雨要因値が大きく違うことによる影響が考えられる.		
				無降雨時間の影響を考慮した判別システムの構築および無降雨期間を設定しない実効雨量の適用についての検討が今後必要である.		
		画像解析手法		リモートセンシング技術.衛星画像,空中写真画像を利用		
				n. 植生被覆度や植生活性度を得ることができ、このような 植生活性度から不安定な斜面の抽出の試みもある。 地形の陰影の除去方法や特殊なフィルターを用いた画 像処理手法の改善が必要である。		
-	Ⅱ.規模の 予測	解析にの安定度	よる斜 面 夏評価	斜面の安定解析は、地すべり等の斜面崩壊を対象とし た解析手法と岩盤斜面(岩盤崩落等)を対象とした解析 手法がある、前者は二次元・三次元の短限工廠法と数		
		(三次	元極限平 (衡法)	値解析法.後者は、不連続変形法・個別要素法と呼ばれる手法がある.		
		(数值	直解析法)	Hovland 等の解析理論を適用. GIS 技術を活用し, 広範囲で連続した地形モデルを対象とした解析手法も開発されている. 広範な危険斜面の抽出が最も合理的にできる手法とされているが, 不確定性(強度のばらつき		
		(岩盤斜	面の安定 度評価)	 等)の考慮等が必要であるとされている。 FEM を利用した斜面の安定度評価. 極限平衡法と同様の結果が得られる. ただし, 現地への適用事例は少ない. 		
				右盤朋洛寺を対象とした解析手伝には、不連続変形 法・個別要素法と呼ばれる手法が利用されている。 解析に当っては、そのイベントとして地震力を考慮して いる事例が多い、また、入力値の不確定については、 モンテカルロ法を適用している事例もある。		
		統計的 分析	数 量 化 手法	地形図から読み取れる要因のみの場合でも比較的高 い予測精度が得られる場合もある.現地調査によるデ ータ(渓床堆積土砂厚)を加えると精度は高くなるケー スもある.斜面崩壊幅は浸食域の地形幅に大きく左右 されるようである. 課題とて、過去の崩壊履歴が少ない地域での予測手		
			FC 法	法確立が必要である。 過去の崩壊履歴をもとに斜面特性に応じたフラジリィカ ーブによる崩壊の規模を予測する手法である。		
				斜面の崩壊率の分類は、数量化Ⅱ類による.FC は降雨量と斜面の崩壊率との関係.		
			フフクタ ル分析	例えは,斜面崩壊の最大幅と個数の関係は次のフラクタル分布で近似できるとされている例もある.		

表5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研究・技術の現状

表 5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研	究・技術の現状 (つづき)
-------------------------	---------------

項	E	評価	手法	特徴・適用性等
ハザード の予測評 価 ・	Ⅱ.規模の 予測	統的析	崩壊土 砂等距 離	すべり土塊が粉砕される,また場合によっては流動化 するすべりの到達距離は,通常の見掛けの摩擦核また は,"shadow angle"(すべり土塊の頂点とすべり落ちた 岩屑の末端の間を結んだ線の水平とのなす角)から一 般に評価される.
			移動速 度	移動土塊の速度と想定される災害の関係を整理. 速度の区分を7段階に整理し、その説明、速度、起こり そうな被害の内容を解説している.
リスク評価	(リスクの 定義)	(リスク(法)	の表現方	リスク表現の分類:主観的リストと客観的リスク 工学分野では「発生する確率」と「被害・損失の規模」と の積で表現される.また,被害の受けやすさを考慮した 条件付き確率・時間的確率も考慮する事例もある. リスクの算定については,単に確率と規模の積で示す 場合,リスクカーブ・イベントカーブによる手法がある. リスク評価に際して,不確実性をどのように考慮するか が一つの課題である.
	Ⅲ.頻度·	各種基	準雨量の	CL法等,各機関で基準雨量の設定が運用されている.
	の予測評価	雨量指統計的	ム 標による 手法	土壌雨重指数として気象庁が予報に利用. 降雨を加味した多変量解析:地形要因と降雨要因の組 合せを考慮することで、判別精度が向上. 但し、地域特性に依存する可能性があるため、様々な 降雨パターンで検証が必要.
		土中の; 着目し; 的方法	水分量に た水文学	タンクモデルを用いた手法が効果的である.但し,地域の同定が必要である. 土壌雨量指数として気象庁により,予報に利用
		浸透流 定解析	解析と安	不飽和・飽和浸透流解析+斜面案的石に基づく方法と 統計的手法の2つに大別できる。 一般に、広範囲にわたり危険な斜面を抽出するのは、 統計的手法が適している。
				一方,不飽和・飽和浸透流解析に基づき,精度の良い 解析を行うには,不飽和状態まで含めた浸透特性の解 明や浸透解析法の開発,不飽和状態まで含めた土の せん断特性の解明,それと安定解析法の開発や簡便 にかつ精度よい地盤調査法の開発などが必要にな る。
				統計的手法と安定解析を結びつける取り組みとして、ある広範囲の地形・地質・植生などのデータベースと簡単な安定計算を組み合わせた手法や三次元飽和-不飽和浸透流解析による地下水位を安定計算式に入力して、斜面の安全率を計算する研究がある。 浸透による安定性について、破壊確率で評価する手法も提案されている.
		地震にの破壊	よる斜 面 崔率評価	スコア法:多数の斜面を対象とする場合は簡便な方法 であるが,点数表にある要因および危険度は経験的に 決められており,的中度合いの確認は行われていない
				*. 多変量解析:数年来多用されており,客観的に要因を 抽出できるが,要因間の相互関係および崩壊のメカニ ズムについては言及していない. ファジィ理論:各要因グループ間の相関性の検討.地
				震時の斜面崩壊データを蓄積し,構造モデルが実現象 をより具体化できるようにする.ファジィ言語関数を斜面 の凹凸の程度あるいは植生密度の程度といった観測者 の感覚を基礎に作成する.
				時初による計価: 約2.には、 地震ハアートを用いた不連続 変形法(DDA)による斜面の破壊確率がある. この他, 部分安定係数法, 確率的手法による評価方法も見られ る
		現場計 予測評(測による 町	予知・予測と検知の技術からなる. 最近は光ファイバセンサーなどの技術開発が進んでいる.
				AE技術が斜面崩壊の予測技術として適用できる可能 がある.しかし, AE の解析手法は多種にわたってお り, 今後も解析手法の改良が必要である.

表 5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研究・技術の現状 (つづき)

項	Ħ	評価手法	特徴・適用性等
リスク評価	Ⅲ.頻度・ イベント 等価 評価	災害履歴等に着 目した予測評価	斜面の崩壊(災害)履歴の統計処理による予測法として、生起確率法等の簡易な手法がある.このような手法は、比較的に簡易であるが、数多くの災害履歴に関する記録(発生日時、大きさ(土量、面積等))が必要となる。また、誘因との関連付けを明確にすることが困難である。
			誘因の関連付けを明確するため、斜面特性を考慮した FC 法による評価手法も検討されている.この場合,降 雨の年超過確率の整理,斜面の規模別分類と崩壊率 分類との関連付け(数量化Ⅱ類による分析)の上で,予 測評価している. 落石による斜面リスクについて,履歴調査(規模,日時)
			及いマッピンクをもとにした発生確率か設定されている 事例もある.これらの結果,条件付き確率・時間確率の 予測に導入されている. 降雨パターンと災害実態を分析し,災害レベルの閾値 を設定するとともに,実際斜面崩壊が発生した頻度と非 崩壊の頻度から発生確率を推定する手法もある. 冬供的確率への展開として、イベントツリーを用いて斜
			※件的確率べの展開として、オペンドクリーを用いて計 面の崩壊の発生確率と被災の影響度を評価する手法 がある.このイベントツリーに被害予測を組み込むこと で、各段階での損失、全体を通した年間の期待値損失 を算定することが可能となる.
		スケーリング則の利用	斜面崩壊・落石の履歴を G-R 式で評価する. 斜面崩壊の発生する頻度と崩壊面積との関係, 発生する頻度と崩壊土量との関係には, G-R 式によって比較的に良好な相関関係を見出すことができる.
		定性的な頻度の 予測評価	専門技術者の判断による定性的な評価と頻度の関連 付けが試みられている。 例えば、もっともらしい度合いの定性的な尺度、資産に 対する定性的な尺度、リスクレベルの意味等.
	Ⅳ. 被害 予測・リス ク計算	施設別の損失推 定	リスクの諸要素として, 直接損失と間接損失を扱っている. なお施設別では, 道路斜面の崩壊に関する研究事例 がほとんどである. ここでいう直接損失とは人的な損失と復旧費用など. 間 接損失とは,時間・走行費用損失(例えば迂回損失等)
	V.中長期の	の災害リスク評価	などである. なみ, 生版的に, リスク値まで詳細に鼻足し ている事例は少ない. ここでのリスク評価とは, 風化プロセス, 斜面崩壊の免 疫性等を考慮した中長期の災害リスク評価手法を示
			り: 崩壊の周期性及び崩壊のばらつきについて,崩壊周期 と崩壊規模はある範囲内の値をとり,直線的な相関を示 すが,1回の崩壊規模や前の崩壊からの経過時間には ばらつきがある.
			斜面傾斜と崩壊周期のとの関係で見ると、斜面傾斜が 急なほど崩壊周期は短く、緩いほど崩壊周期が長くな る. 土砂・未固結物からなる表層崩壊に関しては、表土層
			の形成速度と傾斜に応じた限界層厚及び降雨の年超 過確率などから崩壊の周期性を見出すというものが多 い.しかし、岩盤斜面については、風化の程度と崩壊頻 度との関係が明確ではない.

5.2 雨水に関する災害と対策

5.2.1 ハザード評価

表5.2-1に示したように斜面崩壊等に関するハザード評価の研究は古くから様々なアプローチで行われている. ハザード評価は、場所の予測と規模の予測に大別できる.場所の予測及び規模の予測のいずれも経験的手法 と物理機構を考慮した数値モデルに大別できる.一方で、精度良く崩壊規模を推定する技術は確立されていな いことも分かった.そこで、ここでは、以下に示すような簡易貫入試験に基づく崩壊深の推定方法を提案した(小 山内ら、2005a).

(1) 基本的な考え方

ボーリング調査等その他調査によっては,機材の設置の手間,調査時の安全性,コストなどの問題から,把握 が困難な急傾斜地斜面の土層構造の面的な情報を収集することを目的とする.

一方で、本調査では、土層の貫入抵抗値に関する面的な情報は得られるものの、ボーリング調査、土壌断面 観察等直接的な地下構造の調査と異なり、地下の構造を直接的に把握できるものではない、すなわち、本調査 はボーリング調査、土壌断面観察等に代わるものではなく、ボーリング調査、土壌断面観察等を補完するもので ある.

(2)予備調査

予備調査は,過去にがけ崩れが発生した斜面(以下,「参照斜面」と呼ぶ)において実施する.がけ崩れ発生 直後であるほうが望ましく,がけ崩れ発生後に対策工等が実施されておらず,崩壊すべり面が露出している箇所 で実施する.

崩壊地内で 3~5 点程度,崩壊地外で 3~5 点程度実施する.崩壊地内の実施点は崩壊土砂の堆積域は避け,崩壊すべり面が露出している地点で実施する.一方,崩壊地外は崩壊の縁から 2~5m 以内で実施することとする.

まず、参照斜面の崩壊地外における貫入抵抗値及びその変動の鉛直分布から、土層を区分するなどして、地 下構造の特徴を把握する(図 5.2-1).

次に、参照斜面の崩壊地内の調査結果から、すべり残っている土層構造の特徴を把握し、すべり面の位置が 崩壊地外のどの区分に相当したかを明らかにする.

(3)本調査

調査対象斜面において貫入試験を実施する.本調 査は,斜面規模等を考慮して 5~10m 間隔で格子状 に実施する.

(4)調査結果の整理

まず,調査対象斜面の貫入試験結果より明らかになった土層構造が,参照斜面の崩壊地外の土層構造と概ね一致する特徴を有することを確認する.調査対象斜面の貫入試験結果より明らかになった土層構造が,参照斜面の崩壊地外の土層構造と概ね一致する特徴を有することが確認された場合,参照斜面の結果に準じて, 土層を区分する. その上で,参照斜面の調査整理結果を基にすべり面の生じると考えられる部位を特定し,崩壊する可能性がある層厚を推定する.



図 5.2-1 貫入試験結果に基づく土層の分類例

5.2.2 対象物の被災度評価

1) 建築物

平成13年には、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が施行され、土石 流等によって建築物の損壊が生じ住民等の身体に危害が生じるおそれのある土地の区域において一定の開発 行為の制限や建築物の構造が規制されるようになった.このような開発行為の制限や建築物の構造の規制をす るにあたっては、がけ崩れなどの土砂移動により建築物の損壊の恐れのある範囲を特定する必要がある.これま で、がけ崩れの土砂の到達範囲に関しては、実績データに基づく統計的研究(門間ら、1999 など)や物理的な 崩壊土砂の運動機構に準拠した方法(宮本、2002 など)などの手法が提案されてきた.一方、全国にある膨大 な危険箇所において、がけ崩れによる土砂移動により建築物の損壊の恐れのある範囲を設定するに当たっては、 「手法の簡易さ」と「精度の高さ」を併せ持つ必要がある.このような観点から、「土砂災害警戒区域等における土 砂災害防止対策の推進に関する法律施行令第2条第2号の規定に基づき国土交通大臣が定める方法等を定 める告示」(平成13年3月28日国土交通省告示第332号)(以下、「告示」という)がなされ、現在、土砂災害警 戒区域・特別警戒区域図が作成されつつある.そこで、ここでは、平成15年度に発生したがけ崩れ災害の事例 に対し、告示に基づきがけ崩れによる家屋の被災範囲を推定し、同手法を用いる上での留意点等の整理を行 った結果(小山内ら、2005b)を報告する.

家屋被災範囲を設定するにあたって検討する力(急傾斜地の崩壊により建築物に作用する力)は、土石等の 移動により建築物に作用すると想定される力(以下「移動による力」という)と土石等の堆積によって生ずる力(以 下「堆積による力」という)の2つである.この2つの力のうち、いずれか1つでも、建築物が住民等の生命又は身 体に著しい危害が生ずるおそれのある破損を生ずることなく崩壊土砂の移動又は堆積による力に耐えることの できる力(以下、「建築物の耐力」)を上回る区域を「家屋被災範囲」とする.

がけ崩れによる家屋被災範囲の設定は以下の(1)~(7)のとおりである.

- (1) 地形の把握
- (2) 想定される崩壊による土石等の移動の高さ、堆積幅を設定する.
- (3) 想定される急傾斜地の崩壊による土石等の土質定数を設定する.
- (4) がけ下端からの距離と移動による力および堆積による力の関係の算出
- (5) 移動による力が建築物の耐力を上回る土地の範囲の設定
- (6) 堆積による力が建築物の耐力を上回る土地の範囲の設定
- (7) (5), (6)に基づく,「家屋被災範囲」の設定

(4)の移動の力は、急傾斜地の崩壊土砂の移動による力(F_{sm})[kN/m²]は、次の式に従い計算する.

$$F_{sm} = \rho_m g h_{sm} \left[\left\{ \frac{b_u}{a} \left(1 - \exp(-2aH / h_{sm} \sin \theta_u) \right) \cos^2(\theta_u - \theta_d) \right\} \exp(-2ax / h_{sm}) + \frac{b_d}{a} \left(1 - \exp(-2ax / h_{sm}) \right) \right]$$
(1)
$$a = \frac{2}{(\sigma - 1)c + 1} f_b$$
(2)
$$b = \cos \theta \left\{ \tan \theta - \frac{(\sigma - 1)c}{(\sigma - 1)c + 1} \tan \phi \right\}$$
(3)

ここで、 b_u 、 b_d :式3の θ にそれぞれ θ_u 、 θ_d を代入した値, x:急傾斜地下端からの距離[m], H:急傾斜地の高さ [m]、 h_{sm} :移動の高さ[m]、 θ_u :急傾斜の傾斜度、 θ_d :急傾斜地下端から平坦部の傾斜度、 ρ_m :土石等の密度 [t/m3]、g:重力加速度[m/s²]、 σ :土石等の比重、c:土石等の容積濃度、f_b:土石等の流体抵抗係数、 ϕ :土石 等の内部摩擦角とする.

また,急傾斜地の崩壊に伴う土石等の堆積により建築物に作用すると想定される力の大きさ(Fsa)[kN/m²]は,

次の式に従い計算する.

$$F_{sa} = \frac{\gamma \, h \cos^2 \phi}{\cos \delta \, \left\{1 + \sqrt{\sin \left(\phi + \delta\right) \sin \phi \, / \cos \delta}\right\}^2} \tag{4}$$

h:急傾斜地の崩壊に伴う土石等の堆積高さ[m], γ :急傾斜地の崩壊に伴う土石等の単位体積重量(ただし γ = ρ_{mg} と表せる)[kN/m³], δ :建築物の壁面摩擦角[°]

一方,移動の力に対する通常の建築物の耐力(P₁)[kN/m²]は,次の式に従い計算する.

$$\mathsf{P}_{1} = \frac{35.3}{\mathsf{H}_{1}(5.6 - \mathsf{H}_{1})} \tag{5}$$

H₁:急傾斜地の崩壊に伴う土石等の移動により力が通常の建築物に作用する場合の土石等の高さ[m],また, 堆積の力に対する通常の建築物の耐力(W₁)[kN/m²]は,次の式に従い計算する.

$$W_1 = \frac{106.0}{H_2(8.4 - H_2)}$$
(6)

H₂:急傾斜地の崩壊に伴う土石等の堆積により力が通常の建築物に作用する場合の土石等の高さ[m]である.

次に,同手法に基づきがけ崩れによる家屋の被災範囲を推定し,同手法を用いる上での留意点等の整理することを目的で,平成15年5月から11月に,大分県,宮崎県,福岡県,山口県,宮城県で発生したがけ崩れ災害のうち,15事例について検討する(表5.2-1).なお,今回検討した箇所はいずれも待受け擁壁など,崩壊土砂を流下過程に影響を及ぼす施設がない箇所である.

箇所 番号	箇所名	都道府県	市町村	斜面高 (m)	斜面勾配 (°)	土壌のタイプ
1	長良	大分県	佐伯市	22	50	砂質粗粒砂
2	下隈谷	宮崎県	日南市	15	55	細粒分質砂
3	麦川上	山口県	美祢市	31	30	粘性土質砂質礫
4	旭が丘	福岡県	赤池町	9	33	砂質粘性土
5	安垣1	福岡県	穂波町	13	42	粘性土まじり礫質砂
6	安垣2	福岡県	穂波町	22	50	粘性土まじり礫質砂
7	高尾	福岡県	赤池町	22	41	砂質粘性土
8	大谷2丁目	福岡県	北九州市	7	35	砂質細粒土
9	立岩	福岡県	飯塚市	19	38	粘性土質砂
10	西丸山	福岡県	穂波町	14	33	砂質土
11	津原1	福岡県	飯塚市	10	41	粘性土質礫質砂
12	津原2	福岡県	飯塚市	13.5	37	粘性土質礫質砂
13	小泊	宮城県	雄勝町	17	51	砂まじり細粒分質礫
14	鰒取	宮城県	北上町	90	45	(注1)
15	梅垣	大分県	鶴見町	28	36	細粒分質礫質砂
(注1)) 土壌調査	は実施して	いない			

表5.2-1 検討箇所一覧

土質定数,崩壊地形状,崩壊発生位置に関する入力変数の設定手法の異なる 3 ケースにより,家屋被災範 囲の設定を実施した.はじめに,ケース1では,地形に関する調査結果のみを用いて家屋被災範囲を設定する 場合を想定した.次に,ケース 2 において,地形調査および土層構造,崩壊深,土質に関する調査結果に基づ き設定するケースを想定した.最後に,現時点ではあらかじめ崩壊地形状,崩壊の高さを精度良く予測すること は困難ではあるが,崩壊地形状,崩壊発生位置が予測できると仮定し,土質定数,崩壊地形状,崩壊発生位置 に関する調査結果に基づき設定する場合をケース 3 で検討した.すなわち,ケース 3 の設定を崩壊発生前にあ らかじめ実施するのは現時点では不可能であると思われが,家屋被災範囲の設定に関する調査方法の課題を 検討する目的で実施した.各ケースの変数の設定手法および値を表 5.2-2 にまとめた.表 5.2-2 に示したように, いずれのケースにおいても斜面勾配は実測値を用いた.

項目	記号	単位	ケース1	ケース2	ケース3
計算高さ	Н	m	斜面高	斜面高	崩壊高
斜面勾配	θu	0	実測値	実測値	実測値
土石等の密度	ρm	t/m ³	1.80	実測値	実測値
重力加速度	g	m/s²	9.80	9.80	9.80
土石等の比重	σ	t/m ³	2.60	実測値	実測値
土石等の容積濃度	с	—	0.50	0.50	0.50
土石等の流体抵抗係数	fb	—	0.025	0.025	0.025
土石等の内部摩擦角	φ	o	30	実測値	実測値
移動の高さ	hsm	m	1.00	実測値	<u>実測値</u>

表 5.2-2 各検討ケースの係数の決定手法

移動の高さにおける実測値とは、「実測した」最大崩壊深を用いて算出したことを 意味する

また, 堆積による力によって決まる家屋被災範囲設定に用いる崩壊土量は土砂災害防止に関する基礎調査 の手引き』(砂防フロンティア整備推進機構 2001 年)に示されている値を用いた. このとき, 本研究で用いたい ずれの箇所においてもケース 1~3 の全てのケースにおいて堆積による力により求まる家屋被災範囲より, 移動 の力による家屋被災範囲の方が広かった.

ここでは、ケースごとに設定した「家屋被災範囲」と実際に被災した家屋の関係を検討する目的で、①「家屋 被災範囲」の中で被災した家屋、②「家屋被災範囲」の外で被災した家屋、③「家屋被災範囲」の中で被災しな かった家屋、の数を整理した.また、家屋の被災の有無は家屋の構造等にも依存するため、ここでは崩壊土砂 の到達の有無も「家屋被災範囲」の設定手法の精度を検討する指標として用いることとし、④「家屋被災範囲」の 中で土砂が到達した家屋、⑤「家屋被災範囲」の外で土砂が到達した家屋、⑥「家屋被災範囲」の中で土砂が 到達しなかった家屋、についても算出した.

さらに、「家屋被災範囲」の設定手法の精度を検討するために、寺田・水野(2003)に従い、以下の項目につい て算出した.

被災家屋包含率 ={家屋被災範囲内にある被災した家屋の戸数①}/{被災した家屋の総数①+②}

無被災家屋率 ={家屋被災範囲内にある被災しなかった家屋の戸数③}/{家屋被災範囲内の家屋の総 数①+③}

土砂到達家屋包含率 ={家屋被災範囲内にある土砂が到達した家屋の戸数 ④}/{土砂が到達した家屋の総数 ④+⑤}

非土砂到達家屋率 ={家屋被災範囲の中で土砂が到達しなかった家屋の戸数 ⑥}/{家屋被災範囲内の家屋の総数 ④+⑥}

なお、家屋の「被災」とは、土砂により全壊、半壊、一部損壊のいずれかの被害が生じることとし、「土砂が到 達した家屋」とは、「被災家屋」に家屋壁面に土砂は作用したが、全壊、半壊、一部損壊に相当するような被害 が生じなかった家屋を加えた家屋と定義する.

次に表 5.2-3 に各ケースの被災家屋包含率, 無被災家屋率, 土砂到達家屋包含率, 非土砂到達家屋率を示 した. ケース1 では, 被災家屋包含率は 93%, 無被災家屋率 7%で極めて良好な結果が得られた. また, 被災 家屋包含率はケース2, 3 のいずれにおいても, ケース1と変わらず被災家屋包含率は 93%と高かった. 一方, 無被災家屋率はケース 2, 3 で 35%とケース1 に比べて大きく, ケース1のほうが優れているという結果が得られ た. この結果は, UU 試験を用いて土石の内部摩擦角を用いた場合において, 無被災家屋率が 75%と高くなっ たことに起因している. 表 5.2-3 各ケースの被災家屋包含率, 無被災家屋率, 土砂到達家屋包含率, 非土砂到達家屋率

ケース	箇所数	被災家屋 包含率	無被災 家屋率	土砂到達家 屋包含率	非土砂到 達家屋率
ケース1	15	0.93	0.07	0.87	0.07
ケース2	15	0.93	0.35	0.87	0.35
CD試験	10	0.88	0.13	0.78	0.13
UU試験	3	1.00	0.75	1.00	0.75
ケース3	15	0.93	0.35	0.87	0.35
CD試験	10	0.88	0.13	0.78	0.13
<u>UU試験</u>	3	1.00	0.75	1.00	0.75

以上の結果をまとめると以下のようになる.

1. 告示に示されている手法と地形調査結果により、がけ崩れにより家屋が被災するか否かを良好に表現できる.

2. 崩壊深及び土質に関する入力変数の設定手法の違いが被災家屋包含率(被災した家屋の総数のう

ち,家屋被災範囲内にある家屋の割合)に及ぼす影響は見られなかった.

3. CD 試験により求めた土石の内部摩擦角を用いた場合,実際に家屋が被災した範囲とほぼ等しく家屋 被災範囲は設定され,無被災家屋率(家屋被災範囲内にある家屋のうち被災しなかった家屋の割合)は 13%であった.一方,UU 試験により求めた土石の内部摩擦角の測定結果を用いると家屋被災範囲は実 際に家屋が被災した範囲と比べて広く設定され,無被災家屋率は75%と大きくなった.このことから,土質 試験を実施する場合,CD試験を実施することが望ましいと考えられる.

4. 崩壊発生位置の予測精度向上は、家屋被災範囲の家屋数という観点から見ると、家屋被災範囲の設定結果の精度向上に及ぼす影響は小さい.

以上 1~4 の結果から,告示に示されている手法と地形調査結果により,崩壊深および土質に関する入力変数 は経験的な値を用いても,がけ崩れによる建築物のリスク評価が可能であると結論づけられた. 2) 擁壁

平成13年の国土交通省告示第332号(以 下,「告示」)において,崩壊土砂(以下,「崩 土」)が衝突する際に構造物に作用する荷重 の算定方法が定められ,待受け式擁壁の設 計においても崩土が衝突する際の擁壁の安 定性を考慮する場合が出てきている (全国 地すべり・がけ崩れ協議会, 2004).現行の 手法は、代表断面における静的な力の釣り 合いに基づくものであり, 崩土が衝突する際 に構造物に作用する荷重の空間的ばらつき や地盤の変形等は十分に考慮されてはい ない. そのため, 擁壁基礎地盤の良し悪し など十分に評価することができない要素が ある. そこで, 今回, がけ崩れが発生した斜 面において実態調査を行い, 擁壁の変位, 基礎地盤の状況に関する調査を実施した. その上で,組合せ荷重を受ける地盤の変形 を考慮し, 擁壁の3方向(鉛直, 水平, 回 転)の変位が計算できる数値解析手法の有 効性を検証し, 擁壁の被災予測手法について検討した.

ここでは,静岡市小坂赤坂地区の調査事例を詳述する (図 5.2-2).図 5.2-3 には,擁壁の変形状況について示した. 目地①では擁壁背面の天端において,水平方向に 20 mm, 鉛直方向 18 mm のずれが,目地③においては,水平方向 に 32 mm, 鉛直方向 12 mm のずれが生じていた(図 5.2-3). 一方,目地②では,変状はなかった.また,擁壁④は崩土が 作用せず変位していないことから,擁壁②及び③は一体とし て変位した結果,目地①,③にずれが生じたと考えられる. また,目地①,③とも,擁壁前面の地表付近にはずれが見ら れなかったことから,擁壁前面地表付近を中心とする回転変 位(前方への傾動)が卓越していると考えられる.





図 5.2-3 小坂赤坂地区で発生した がけ崩れによる擁壁変位状況



図 5.2-4 小坂赤坂地区で発生した がけ崩れによる擁壁変位状況

本研究では、Yoshida (1993) によって示された手法を 用いた.地盤の応力-ひずみ関係は双曲線モデルを用 いた.地盤の要素は水平方向,鉛直方向の長さが 30~ 50cm となるように設定した.地盤と擁壁背面の境界面は, 擁壁が変位することにより過度の引っ張り応力が作用す ることを防ぐため,擁壁と土の剥離を考慮したケース(以 下,「分離」)としないケース(以下,「拘束」)について計 算した.数値積分の積分間隔は 0.01 秒とした.非線形 解析手法には増分間は増分前の接線剛性の線形解析 を行い,非線形挙動により発生する不釣合力は次のス テップに持ち越すとした Newton 法を用いた.解析はピ ーク荷重を静的に加えたケース(静的解析)と荷重の時

間変化を考慮した動的解析を実施した.なお,静的解析は擁壁と土は間は剥離を考慮している.動的解析 では,計算の安定性を確保するために,剛性比例型の Rayleigh 減衰 ($\alpha = 0, \beta = 0.005$)を用いた.

計算に用いる地盤の材料特性に関するパラメータは両地区とも, 擁壁前面の既存地盤において採取した土 に対する試験結果を用いた.内部摩擦角,粘着力の測定に当たっては,採取した撹乱試料を,不撹乱試料 (100cc)で求めた密度と等しくなるように再構成したサンプルを用いた.また,粘性土地盤である小坂赤坂地区 ではUU試験で求めた.また,動的解析においては,崩壊土砂が擁壁に作用する荷重は,0.5秒でピーク荷重 に達し,1秒後に再び荷重が0となる三角形分布を仮定した.

図 5.2-4 には、ピーク荷重と擁壁天端の最大変位量の関係を示した. 図に示したように、いずれの計算条件であっても、ピーク荷重が 100kN/m² 以下のときでは擁壁は 2 cm以下のわずかな変形が生じる結果となった. また、この領域では擁壁と土の剥離を考慮したケースの動的解析 (FEM-D 分離)と静的解析 (FEM-S)との差は極めて小さかった. 一方、擁壁と土の剥離を考慮しないケースの動的解析 (図中の FEM-D 拘束)では、他の 2 ケースに比べて変位が顕著に小さかった. また、ピーク荷重が 100kN/m²を超えると、静的解析により求めた変位量が荷重の増大に対して急激に増加し、静的解析が動的解析より顕著に大きくなる結果が得られた. ここで、実際の被災状況調査結果と比較してみる. 擁壁と土の剥離を考慮したケースの動的及び静的解析の計算結果はピーク荷重が地形調査と告示式(式 1)から求めた 40~60kN/m² のとき、天端で 0.5~1cm であり(図 5.2-4)、概ね実際の変位量(2~3cm)と一致していた. すなわち、変位量が小さい領域では地盤の応力ひずみ関係を双曲線モデルで近似した FEM で変位量が再現できた.

静的な力の釣り合いで安定性を評価してみると、崩土が衝突時に擁壁に作用する力が 28kN/m² 以上の 荷重で不安定となる.また、文献¹⁾では、擁壁の安定計算に用いる崩土が擁壁衝突時に擁壁に作用する力 は、「崩壊土砂による衝撃力が擁壁に作用した場合、擁壁の変位(回転変位、水平変位)や崩壊土砂の作 用深さが擁壁の延長に対して一様でないなどのことにより単位長さ当たりに作用する衝撃力が緩和されると 考えられる.」とし、告示式から求まる崩土の移動の力(F_{sm})に衝撃力緩和係数(0.5)をかけた値を用いるとし ている.これに従うと、崩土の移動の力および擁壁に作用する力は 58、29kN/m² となり、擁壁に作用する力 (29kN/m²)と擁壁が不安定になる力(28kN/m²)はほぼ等しく擁壁が微小に変位した結果と矛盾しない.これ らのことは、「崩壊土砂による衝撃力が擁壁に作用した場合、擁壁の変位や崩壊土砂の作用深さが擁壁の 延長に対して一様でないなどのことにより単位長さ当たりに作用する衝撃力が緩和されると考えられる.」とし た同計算事例¹⁾の考え方を支持するものであり、同手法で擁壁のリスク評価が出来ると結論づけられる.

119

5.3 地震動に関する災害と対策

平成16年10月の新潟県中越地震においては、多くの斜面崩壊が発生し、被害が生じた.また、中央防災会議において切迫性の高い東海地震発生時の斜面崩壊による被害予測が行われている.地震による土砂災害を 軽減するために、地震時の山腹斜面を対象とした精度の良い崩壊危険度評価手法が必要とされている.これまで提案されてきた地震時の斜面崩壊予測手法は以下の2つに大別される.

① 有限要素法などを用いて3次元動的振動解析を基本とする方法(例えば, Ashford et al., 1997)

② 既往地震時の崩壊実績から,地形等の要素と崩壊地分布の関係に基づく経験的手法(例えば,松岡ら,1995)

①の手法は、物理的な解析手法に準拠しているため、被災事例がない地域や異なる特徴を有する地震動波 形による崩壊危険度評価に用いることができる可能性が高いが、地下情報が十分に得られない、広範囲に計算 を実施する場合、モデル作成の手間や計算時間が膨大になることなど、実務面では依然として課題がある.

一方,②の手法は、GIS の技術の進歩などにより、実用可能性は高いと考えられる.しかし、既存の崩壊分布 実績を基に作成された手法が、他地域、または異なる特徴を有する地震動波形に有効であるかという手法の汎 用性を検討する必要性があるがこれまで行われてきていない.また、①の手法においても、現時点では山地斜 面に適用する場合、地下情報等が十分に得られないため、地震時の崩壊実績に基づくパラメータの同定が必 要となるのが現状である.このことは、これらの手法に関しても、手法の汎用性について検討する必要があること を示している.

そこで,今回,地形など一般的に入手可能なデータを用い,過去の地震による斜面崩壊の実績データがない 場合においても,山腹斜面の地震時の崩壊危険度を評価できる実務的な手法を開発した(内田ら,2005).

1)がけ崩れ

各種地形要素, 地震動の特性値と 崩壊発生率の単相関を検討した結果, 斜面勾配, 斜面の凹凸, 地震動の最 大加速度が崩壊発生率との相関が高 いことが分かった. さらに, 斜面の凹凸 を表す指標は用いる指標違いが判別 結果に及ぼす影響は小さいが, 平均 曲率(影響範囲 20m)がわずかではあ



るが有効であることが分かった.そこで、勾配、平均曲率(影響範囲 20m)、破壊伝搬効果を考慮した最大加速度を説明変数とし、崩壊の発生・非発生を目的変数とした、判別分析を行い、判別関数式(以下、六甲式)を 導いた.

F = 0.075I - 8.9c + 0.0056a - 3.2

ここで、Fは判別得点であり、F が正のとき、崩壊発生、負のとき、崩壊非発生と予測されたことになる.また、 I は勾配(°)、c は平均曲率、a は最大加速度(cm/s²)である.六甲式で求めた判別得点と実際の崩壊発生 確率の関係を図 5.3-1 に示す、判別得点-0.5~0.5の斜面の崩壊確率は 0.05% であるのに対して、判別得点 3 以上の斜面では約 2%以上であった.つまり、判別得点 0 と比べて、判別得点 3 以上の斜面は 40 倍以上 地震時の崩壊の可能性が高い.すなわち、六甲式で求めた判別得点から相対的な斜面崩壊発生の危険度 を表すことができる.以上の結果に基づき、地震による斜面崩壊発生の危険度を 5 段階(判別得点 - 3.0~ -1.5(崩壊発生率約 0.001%以下)、-1.5~-0.5(約 0.03%以下)、-0.5~0.5(約 0.1%以下)、0.5~1.0 (約 0.2%以下)、1.0~10(約 0.2%以上))に分類し、図示したものを図 5.3-2 に示した.

さらに,六甲式を①1997年3月の鹿児島県北西部地震,②2000年7月神津島地震の2地震の崩壊分布 実績を用いて手法の汎用性を確認した.その結果,地質,地震によって,判別得点が同じであっても,崩壊 発生率が異なることが分かるが,鹿児島県北西部,神津島の両地震では,六甲式を用い,正の判別得点-崩壊発生率関係を得られ,六甲式により地震による斜面の相対的な崩壊危険度評価が出来ることが分かっ た(図 5.3-3).

2) 地すべり

平成 16 年新潟県中越地震では、これまで検討した 3 つの地震ではほとんど見られなかった崩壊土量 10°m³



図 5.3-3 (a) 鹿児島県北西部、(b) 神津島における判別得点 - 崩壊発生率関係



図 5.3-2 六甲山地の地震による斜面崩壊危険度評価図

以上の規模の大きい崩壊・地すべりが多発した.そこで,大規模崩壊・地すべりに対する 1)で示した手法の有効性について検討した. なお,判読の際に,概ね崩壊した土塊の 50%以上が元の形状を保ったまま,崩壊発 生域内に残っていて,かつ発生源の平均傾 斜が 30°未満のものを地すべり,それ以外 のものを斜面崩壊として区分した.

図 5.3-4 に, 基礎式で算出した各得点に対 する崩壊面積率に占める斜面崩壊メッシュ及



図 5.3-4 崩壊形態ごとの判別得点と崩壊面積率の関係

び地すべりメッシュの割合を算出した結果を示した. F と地すべりメッシュが各得点の全メッシュに占める割合の 間には顕著な相関が見られず,わずかではあるが点数が小さいほど地すべりメッシュのある割合が高くなった. 一方,Fと斜面崩壊メッシュの割合の間には顕著な正の相関が見られた.すなわち,がけ崩れ・表層崩壊には六 甲式は有効であるものの,地すべりに対してはそのまま用いることが出来ないことが分かった.一方で,六甲式 では地すべり発生箇所を予測することはできないことが示された.中越地震の実績に基づき,地震により地すべ りが発生した場所の地形的特徴を明らかにする試みが進められている(小山内ら, 2005c).ここでの結果から, 地すべりの危険度を評価するためにはそれらの成果を活用し,新たな手法を開発する必要である.

次に崩壊土砂の到達範囲について調査結果を報告する. えびの地震(昭和43年)について「(到達距離)/ (崩壊高)」の関係を整理した結果,約80%が0.5(崩壊高の半分)未満で土砂は止まっており,「(到達距離)/ (崩壊高)」以上のがけ崩れは約5%程度であり,斜面から崩壊高と同じくらい離れると被災する確率が急に低く なることが明らかにされた(新・斜面崩壊防止工事の設計と実例(54-55頁)). 一方,雨によるがけ崩れについて は,「(到達距離)/(崩壊高)」が0.5未満のがけ崩れは全体の約約50%,1以上のがけ崩れが20%以上である. すなわち,地震に比べると雨の方が崩壊土砂の到達距離は長い.この点に関しては,昭和62年に発生した千 葉県東方沖地震に伴う斜面崩壊についても同様の報告

がなされている.

一方, 平成 15 年 7 月 26 日に最大震度 5 強以上を記録した地域の地震発生当日の降水量は 30~50 mm であった. さらに地震発生直前 2 日間(7月 24~25 日)においても, 100mm 程度の降雨があった. そこで, 宮城県が調べたがけ崩れ 92 箇所のうち, 崩土の到達距離および崩壊高さが分かっている 43 事例について(到達距離)/(崩壊高)の値を整理した(図 5.3-5).

その結果,これまでの事例同様,地震発生直前2日間 において,100mm程度の降雨があったが,約80%の降雨 で(到達距離)/(崩壊高)は0.5以下であることが分かっ た.このことは,(到達距離)/(崩壊高)は地震時前後に 降雨のなかった千葉県東方沖地震により発生した斜面崩 壊の値の範囲内であり,降雨が到達距離に与える影響は 現れていないと考えられた.



図 5.3-5 平成 15 年 7 月 26 日の宮城県北部を 震源とする地震の崩土到達範囲

5.4 被災低減のための対策

被害低減のための対策として,

- (1) 的確なハザード評価
- (2) リスク評価の高度化

があげられる. (1)的確なハザード評価としては, 簡易貫入試験を用いた崩壊深の推定, 地震による崩壊危険 度評価について本報告でしました. また, (2)リスク評価の高度化に関しては, 家屋の被災想定範囲, 擁壁の安 定性に関する評価について示した.

5.5 行政施策への対応

本報告で示した①簡易貫入試験を用いた崩壊深の推定および②家屋被災範囲の設定に関する留意事項に ついては、国土技術政策総合研究所資料としてとりまとめ、各砂防関係事務所及び各都道府県に配布した.ま た、地震に関する崩壊危険度評価に関しては、手法については同様に国土技術政策総合研究所資料としてと りまとめ、各砂防関係事務所及び各都道府県に配布した.また、今後、計算プログラムおよび活用方法につい てもとりまとめ配布していく予定である.

5.6 まとめ

以上,報告してきたように,本研究において,土砂災害に関してリスク評価・監視に関して

- ① 崩壊深推定手法
- ② 豪雨に起因するがけ崩れによる家屋被災範囲の推定手法
- ③ 豪雨に起因するがけ崩れ発生時の擁壁の安定性評価手法
- ④ 地震に起因するがけ崩れの発生危険度評価手法

の課題については整理された.また,地震に起因するがけ崩れの土砂の到達範囲は豪雨に起因するがけ崩 れに比べて小さく,豪雨に起因するがけ崩れに対する対策が行われれば,リスクは相当程度軽減されること をしめした.

しかしながら, 今後, 被害推定に基づく土砂災害の軽減の方策を立てるにあたっては, いくつかの課題が 残されている. 例えば, 以下のような項目があげられる.

- ① 崩壊土量等の推定手法の確立などハザードの評価技術の向上
- ② 発生確率ー崩壊規模関係のようなハザードの確率評価
- ③ 崩壊の免疫性などを考慮した中長期のリスク評価
- ④ 社会状況,市状況の変化を考慮してリスク評価
- ⑤ 対策工法のリスク低減効果の定量化

参考文献

- Ashford SA., Sitar N., Lysmer J., Deng N.: Topographic effects on the seismic response of steep slopes, Bulletin of the Seismological Society of America, vol.87, pp.701-710, 1997
- 松岡昌志・翠川三郎:国土数値情報を利用した地震時斜面崩壊危険度予測,日本建築学会構造系論文報告集, 474巻, pp.59-66, 1995
- 門間敬一・千田容嗣・海老原和重(1999)がけ崩れ災害の実態、土木研究所資料、3651号.
- 宮本邦明(2002)土塊の運動の2次元数値シミュレーション,砂防学会誌, vol.55, no.2, 5-13.
- 砂防フロンティア整備推進機構(2001)土砂災害防止に関する基礎調査の手引き
- 建設省河川局砂防部監修(1996)新・斜面崩壊防止対策工事の設計と実例,社団法人 全国治水砂防協会, 302p.
- 小山内信智・内田太郎・曽我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一(2005a)簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層 厚推定に関する研究国土技術政策総合研究所資料, No.261.
- 小山内信智・内田太郎・曽我部匡敏・寺田秀樹(2005b)がけ崩れによる家屋被災範囲の設定手法に関する研 究国土技術政策総合研究所資料, No.225.
- 小山内信智・栗原淳一・藤澤和範・花岡正明(2005c)地震に起因する土砂災害対策の現状と課題 土木技術 資料
- 寺田秀樹・水野秀明(2003)土石流による家屋被災範囲の設定手法に関する研究,国土技術政策総合研究所 資料, No.70, 146p.
- 内田太郎・片岡正次郎・岩男忠明・松尾 修・寺田秀樹・中野泰雄・杉浦信男・小山内信智(2004):地震による 斜面崩壊危険度評価手法に関する研究 国土技術政策総合研究所資料 No.204 91pp
- Ysohida, N. (1993) : STADAS, Report Soil Dynamics Group, The University of British Columbia. 1993
- 全国地すべりがけ崩れ対策協議会(2004):崩壊土砂による衝撃力と崩壊土砂量を考慮した待受け擁壁の設計 計算事例

6. 災害時における空港の防災機能に関する研究

6.1 はじめに

近年,地震の発生や台風の上陸など,世界的にも大規模な自然災害が頻発している.南北に長い島国であ る我が国においては,これら自然災害の影響を受けやすい特性を有しており,道路や鉄道などの交通基盤施設 が被災して長期間にわたり社会生活に甚大な影響が及ぶことも少なくない.空港について見ると,1964 年の新 潟地震時の新潟空港における大規模な液状化の発生等の数例を除けば,これまで自然災害の影響により機能 停止を余儀なくされたことはほとんどなく,却って 2004 年の新潟県中越地震の際の新潟空港のように,被災地 への救援活動の拠点としての機能,さらには途絶した他の交通輸送手段の代替機能を果たしているといえる.

自然災害の頻発化や大規模化が懸念される状況の中で、今後とも空港の施設自身が被災しないことが重要 であるのはもちろんのこと、航空輸送の高速性を活用して空港が被災地支援の拠点として存分に機能を発揮で きるようにすることが望まれることから、本章においては、そのために空港において確保しておかなければならな い機能を整理するとともに、現在の全国の空港における機能具備の実態と課題について整理する.

6.2 近年の災害発生時に空港において行われた支援活動

6.2.1 阪神·淡路大震災

1995年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震は,神戸市周辺を中心として都市機能・交通機能に壊滅的な被害を及ぼし,5万名を超す死者・負傷者をはじめ,約30万名の避難者を出す大惨事をもたらした.この阪神・淡路大震災の際,被災地に近い大阪国際空港・関西国際空港・八尾空港における被災はいずれも軽微な 規模にとどまり,これらの空港は被災者の救急搬送や被災地への応援物資の輸送,人員の輸送拠点として重要な役割を果たした.

災害発生後においては、交通渋滞、道路の寸断等のため自動車による迅速な傷病者の搬送や応援物資の 輸送が困難な状況であったことから、輸送手段としてはヘリコプターが多く活用された.消防や自治体が所有す るヘリコプターによる救急搬送は、発災以降延べ102回(搬送人員116人)行われ、物資輸送については延べ 827回(水・弁当等約305トン、医薬品約20トン)、多い日で1日80回以上の輸送が行われている.その他の活 動としては、救助隊員、医師、看護婦等の人員輸送が延べ255回、交代要員の派遣等の支援活動によるもの 延べ66回等があり、全体の延べ飛行回数は1,583回、延べ機数460機で、総飛行時間は1,032時間となっ ている.

そのほかに,陸・海・空各自衛隊や民間が所有するヘリコプターによる緊急輸送も,延べ機数で4千数百機に も及ぶ大きな規模で行なわれている.

6.2.2 新潟県中越地震

2004 年 10 月 23 日夕刻に発生した新潟県中越地震は,瞬間的に兵庫県南部地震を超える規模の地震動を 観測し,死傷者数は5千名弱,避難者数も10万名余に及んだ.また,走行中の上越新幹線が脱線したのをはじ め,鉄道在来線や高速道路・一般道路の亀裂や陥没等が相次ぎ,陸上交通が遮断された.

この際にも,施設に深刻な被災がなかった新潟空港が防災拠点としての機能を発揮し,自衛隊機等による緊 急輸送の拠点となったほか,翌日から東京(羽田)との間に臨時航空便が就航して,73 日間で約 213 千人の旅 客を代替輸送した(新幹線需要の約 17%に相当).

125

6.3 災害時において空港に求められる防災機能

6.3.1 ヘリコプターを活用した救急・支援活動

大規模な災害が発生した際の空港は,発災直後における人命に関わる救急輸送や被災地への緊急支援物 資・人員輸送の際に極めて重要な役割を果たしうる施設である.空港自身が大きく被災しない状況にあっては, 国内外の他地域からの支援活動の受け入れは平常時と同規模の航空機材を用いて行うことが可能であるが, 被災地周辺の鉄道・道路網が機能麻痺している場合には,空港から先への輸送手段として学校のグラウンド等 一定規模の空地があれば離着陸が可能なヘリコプターが大きな威力を発揮する.また,空港の基本施設が被 災を受け,通常の航空機の発着が困難となった場合においても,空港内にヘリポートやヘリパッドあるいはそれ に準ずるオープンスペースが確保されていれば,ヘリコプターを活用した国内外の他地域からの支援活動の受 け入れは可能である.

6.3.2 空港の支援活動可能範囲

災害発生後直ちに必要となる輸送活動は,重 篤な傷病者の医療機関等への緊急輸送である と考えられる.ドクターヘリの巡航速度を約 200km/hと設定して計算すると、ドクターヘリの医 師による初期治療の目標時間とされる15分で到 達可能な距離は、概ね基地から半径 50km の範 囲となる.このことから、災害発生時の初動体制 として被災地の近隣空港から効果的な救急活動 が可能な範囲を半径 50km 圏内と設定する.

図 6.3-2 は, 現在民間航空の用に供され ている空港(共用飛行場を含む)を中心と する半径 50km の範囲を地図上に示したも のである. この図を見ると, 空港が比較的 密に分布している近畿地方以西の地域は, 概ね全域が空港からの効果的な救急活動 が可能な範囲内にあることになる.

一方,中部・甲信越地方の山岳地域や 近畿・東北・北海道の一部で範囲外となる 地域が存在するが,活動の拠点として自 衛隊の飛行場及び公共用へリポートを含 めると,救急活動可能範囲はかなり広がる こととなる.



図 6.3-1 ドクターヘリ (http://www.geocities.co.jp/Technopolis/7233/hokusou.htm



図 6.3-2 空港から半径 50km 以内の圏域

なお,被災地への物資・人員の輸送等の支援活動の可能範囲については,時間的な制約条件を緩和して空 港を中心とする半径 100km 以内のエリアと考えれば,ほぼ全国がカバーされるような形で空港が分布しているこ とがわかっている.

6.3.3 オープンスペースとしての機能

空港は,旅客や貨物を輸送する航空機 を安全に離着陸させる空間であり,そのた めに平坦で広大な用地が確保されている. 即ち,空港内には,陸上で航空機が走行 する空間以外にも広大なオープンスペー スが存在しており,空港近隣での災害発 生時においては,航空機の安全運航に支 障を来たさない範囲でこのオープンスペ ースを有効活用することが期待される.

具体的には,一定の区域をヘリコプタ ーの場外離着陸場として活用することや, 緊急輸送された支援資機材・物資の一時



図 6.3-3 災害時における空港の支援機能のイメージ

集積場所として活用すること、さらには、旅客ターミナルビル等においては近隣被災者の一時収容や支援部隊 の休息の場所として活用することなどが考えられ、そのような側面からも空港の防災機能を評価することができ る.

6.4 空港における防災機能の現状

災害発生時において空港が果たしうる役割は潜在的に大きなものであると言えるが、実際にそのポテンシャルを活かすためには、空港における防災機能の現状を把握し、課題を極力解消しておくことが必要である.

以下において、平成16年度に全国の空港(共用飛行場を含む)管理者の協力を得て実施したアンケート調査の結果を基に、空港における防災機能の現状を整理する.

6.4.1 空港自身の防災性能

アンケート調査により空港における災害対策の実施状況を調べたところ, 地震対策について「実施済み」と回答した空港は全体の約1割で, 臨海部の空港における津波対策・高潮対策については, 3~4 空港が「実施済み」と回答したに止まった.

本調査では、被災危険性の判定の有無についての質問を設けていないため明言はできないが、概して空港 における災害対策は進展しているとは言い難い.過去に大地震などにより甚大な被害を受けた空港はないもの の、将来において空港自体が被災して、期待される支援機能を発揮できないケースも考えられるため、防災性 能の診断を各空港において早急に実施し、必要な対策が適切に実施されることが望まれる.

6.4.2 ヘリコプターの有効活用

大規模災害発生時に空港がヘリコプターを有効活用した救急・支援活動の拠点たりうる条件として,前述した 空港の分布的側面のほかに考えられる主なものにつき,アンケート調査結果を基にして現状を整理する. 1)空港におけるヘリコプター機材配備

ヘリコプターによる救急・支援活動の前提は,非常時に機材がすぐに使える状態にあること,すなわち,空港 において常時機材が配備されていることである.

アンケート調査において,消防や警察,海保,自治体等行政機関が保有するヘリ機材の配備状況を調べたと ころ,配備されている空港の比率は約45%と半数をやや下回っており,地域的な分布では,空港の分布の疎密 に対応した偏りが見られる結果となった.

この行政保有ヘリ配備空港の分布に公共用ヘリポート及び自衛隊 基地の配置図を重ね、それぞれを中心とする半径50kmの円を描くと、 救急活動の可能範囲は概ね全国をカバーできることとなっているが、 範囲外となる一部の地域については、ヘリ機材の配備あるいは近隣 空港との連携強化等の対策が望まれる.また、沖縄本島及び石垣島 周辺を除く全国の離島は概ね空白域となっていることから、ヘリ機材 配備等の対策検討が望ましいと考えられる.

2)空港においてヘリコプターが離着陸・駐機できる場所

災害発生時においても、空港の基本施設が正常に使える状態にお いては、固定翼機による通常の航空輸送を阻害することなくヘリコプタ ーの機動力を活用することが、救急・支援活動にとってより効率的であ る. そのため、ヘリコプターの離着陸・駐機のための施設が整備されて いることが好ましいが、アンケート調査の結果では、ヘリパッドが整備さ れている空港の比率は約 29%、ヘリスポットについては約 41%に止ま った. 従って、ヘリ機材が配備されていても必ずしもヘリパッドやヘリス ポットがあるわけではない. その逆に、ヘリ機材は常備していないもの の、非常時にそれを近隣空港から調達できれば直ちに効果的な救急・ 支援活動を開始可能な空港もいくつか見られる.



図 6.4-1 行政保有ヘリの配備





3)空港におけるヘリコプターへの給油施設

ヘリコプターがその基地となる空港と被災地の間をピストン運航する場合,空港で燃料補給が可能か否かが 重要であるが,アンケート調査の結果では,ガソリン燃料及びケロシン燃料とも,給油可能な空港の割合は約半 分であり,ヘリ機材配備空港ではほとんどすべてが給油設備を保有している.

しかし,離島部においてはヘリ機材も離着陸施設も給油施設も有しない箇所が多く見られ,災害の危険度に 応じて,近隣空港との連携強化等の対策を検討する必要性があると考えられる.

6.4.3 オープンスペースとしての機能

アンケートによると、空港内及び空港周辺において救援物資を仮置きで きるオープンスペースは約75%の空港で存在する.一方、旅客ターミナル ビルなどの空港施設内に、被災者の収容や救援部隊の休憩等のために開 放可能なスペースを有すると回答した空港の割合は約32%であった.すな わち、非常時の物資集積場としての機能は現状でも十分発揮できると評価 されるが、人的支援の場としての機能にはまだ課題を抱えた状態と言える.



6.5 今後の課題

大規模災害が発生した際の応急対応の計画を,各自治体は地域防災

計画という形で整理し、まとめている。その中で空港については、空港施設の被災時における早急な復旧という ことのほか、広域災害発生時の空路からの支援物資の受け入れ拠点としての役割を謳っている例も多く、防災 上空港が果たしうる機能への期待は大きいと考えられる。しかし、実際にヘリコプターを活用した緊急輸送を効 率的に実施できるための条件整備が十分でないところも部分的には存在し、施設や装備面での課題について は、可能な範囲で速やかに対策を講じていくことが望まれる。 ー方ソフト面としては、災害時の救急・支援活動が求められる際に、現場が迅速かつ的確に行動できるように するための対策が必要である.そのためには定期的な訓練の実施が有効であり、併せて空港管理者において 救急・支援活動への対応方法をマニュアル化しておくことが望まれる.

7. 地域の総合防災性に関する研究

7.1 はじめに

自然災害外力(ハザード)に関する不確定性が大 きいことから、外力の発生確率や再現期間を確率論 的に扱ったリスク評価が行われるようになっている。近 年、国の機関や自治体から公表されている洪水ハザ ードマップや防災科学技術研究所から公表されてい る確率論的地震動予測地図は、それぞれ洪水に伴う 浸水深や地震動強さの発生確率や再現期間を明示 しており、確率論的リスク評価の推進に貢献している。 個別の自然災害に関するリスク評価手法関しては、 ハザード評価手法を含め多くの研究や実務への応用 が進められている状況である。一方、日本の多くの地 域は、台風、豪雨、豪雪、地震、火山噴火など異なる 災害に襲われることが多く、適切な事前・事後の防災 対策を立案するためには、異種の自然災害(以下で はマルチハザードと呼ぶ)に対するリスク評価手法に 関する検討を進める必要があるものと考える。

本研究では、これまでの個別の自然災害に関するリ スク評価手法に関する成果を活用することにより、地 震、洪水、高潮のマルチハザードに関するリスク評価 の試算を行うとともに、その結果を踏まえて地域の防 災性能評価マニュアル(案)の提案を行った。

7.2 マルチハザード・リスク評価方法の提案

本研究で対象とするハザードは、地震災害(構造物の被害、火災、津波)、洪水、高潮災害(高潮に伴う水害)等とし、地域における自然災害の実状を考慮し適宜検討対象とするものとする。



図 7.2-2 異なる災害を統合したリスクカーブの算定例(地震 災害と洪水の死亡者数の統合)

7.2.1 個別災害に対するリスク評価

個別災害のリスク評価では、リスクカーブ¹⁾を用いるものとする。リスクカーブは、図 7.2-1 に示すように、様々な 規模の損失の可能性を年超過確率(1年間にその損失以上の損失が発生する確率)で示したものであり、年間 損失期待値は対象地域で起こりうる損失の全ての可能性を考慮した、いわば損失の平均的情報に相当する。リ スクカーブと年間損失期待値の関係は、リスクカーブと縦軸・横軸で囲まれた面積が年間損失期待値となる。

7.2.2 マルチハザードに対するリスク評価

マルチハザードのリスク評価では、個々の災害に対してリスクカーブを算出し、異種の災害を統合したマルチ ハザードのリスクカーブを求めることとする。マルチハザードのリスクカーブは、個別災害の直接損失や間接損失 の確率分布を評価し、これらを重ね合わせた損失の 確率分布を求めて算定することができる。異なる災害 を統合したリスクカーブの算定例を、図 7.2-2 に示す。 これにより、マルチハザードの年間損失期待値だけで なく、統合したリスクカーブの形状からリスクの特徴を 把握することができる。

7.3 マルチハザード・リスクの評価例

対象とする個別災害は地震、洪水、高潮の3種類 とし、洪水災害に関しては地域内を流れる一つの河 川のみを評価対象とした。また、リスク評価では、直接 損失として人的損失(死者数)、建物被害額(建物が 損傷・倒壊・焼失などした場合の被害額)、間接損失 として生活支障者数を評価対象とした。

各災害のハザード及び損失評価を行う際の評価単 位は、50mメッシュ単位とし、再現期間は30年に1回、 50年に1回、100年に1回の3種類とした。



図 7.3-1 地震ハザードマップの算定結果(上段:30年に 1回,中段:50年に1回,下段:100年に1回)

7.3.1 基礎データ

基礎データのうち、基盤データとなる地図について

は、国土地理院の数値地図 2500 と総務省統計局の町丁・字等境界データを用いることとした²⁾。人ロデータに ついては、平成 12 年度の国勢調査結果をメッシュ単位に集計した「地域メッシュ統計」と呼ばれる 500m メッシュ 単位に集計された統計データの公開データを使用した。建物データについては、1km メッシュの建物棟数デー タを用いることとし、自治体による住宅・土地統計調査結果を加味して、建築年代の分類を行った。標高データ は、国土地理院が作成した 50m メッシュ標高データを用いた。

7.3.2 個別災害に対するリスク評価

1) 地震

地震ハザードマップの作成では、地震発生の非定常性を考慮した工学的基盤での最大速度を算定し、これ に最大速度に関する表層地盤増幅率を乗じることによって地表面最大速度のハザードマップを作成した。地表 面における最大速度の計算結果を図 7.3-1 に示す。

算出した地表面最大速度のハザードマップを基に、リスク評価を行った。これらのうち、火災に関係する項目と、 人的損失に関係する項目は、地震が発生する季節や時間帯、風速を設定する必要があるため、これらの条件を 「春・秋」、「昼 12 時」、「7m/s」と仮定した。リスク評価は、基本的に中央防災会議「地震被害想定支援マニュア ル」³⁾を参考にしている。建物被害額は、メッシュごとに木造・非木造建物の震動被害棟数、液状化による被害 棟数、地震後火災による焼失棟数を求め、これに1棟当たりの損失額を乗じることによって算定した。人的損失 は、メッシュごとの木造・非木造建物の全壊率、焼失棟数にそれぞれの滞留人口を乗じることにより算定した。生 活支障者数は、メッシュごとの災害発生時の避難率に人口を乗じることによって算定した。



図 7.3-2 100 年に1回の地震による損失評価結果(上段: 建物被害額,中段:人的損失,下段:生活支障 者数)



図 7.3-3 地震による年間損失期待値(上段:建物被害額, 中段:人的損失,下段:生活支障者数)



図 7.3-4 洪水ハザードマップの算定結果(上段から 30, 50, 100 年に1回)

100年に1回の地震に対する建物被害額、人的損失、生活支障者数の算出結果を図 7.3-2 に示し、それぞれの項目の年間損失期待値分布を図 7.3-3 に示す。

2) 洪水

洪水ハザードマップ(浸水深マップ)に関しては、 別途、実施された氾濫シミュレーションの結果に基づ き、GISを用いて各メッシュの浸水深として評価するこ ととした。洪水ハザードマップを図 7.3-4 に示す。

洪水ハザードマップを基にリスク評価を行っている が、建物被害額の評価は治水経済調査マニュアル (案)を参考にした。まず、建物被害額は、メッシュごと に木造及び非木造建物の浸水深別被害率を求め、 これに建物棟数と評価額を乗じることによって算出し た。人的損失に関しては、メッシュごとの木造及び非 木造建物の浸水深別被害率から算出した。また、生 活支障者数は、床上浸水深となる建物棟数に滞留人 ロを乗じることによって算出した。100年に1回の洪水 に対する建物被害額、人的損失、生活支障者数の算 出結果を図 7.3-5 に示し、それぞれの項目の年間損



図 7.3-5 100 年に1回の洪水による損失評価結果(上段: 建物被害額,中段:人的損失,下段:生活支障 者数)



失期待値分布を図 7.3-6 に示す。



図 7.3-6 洪水による年間損失期待値(上段:建物被害額, 中段:人的損失,下段:生活支障者数)

3) 高潮

高潮ハザードマップは、RiskLink^{®4)}の確率台風モ デルにより対象地域代表地点の風向、風速、気圧を 求めた後、これらの評価結果を用いて潮位偏差を算 定した。次に、モデル化した天文潮位に算定した潮 位偏差を足し合わせて最高潮位を計算し、対象地域 の代表地点における最高潮位を 50m メッシュごとに 算定した。最後に、50m メッシュごとの標高と最高潮 位の差分を求めて、高潮による浸水深を算定した。高 潮ハザードマップを、GIS を用いて図化したものを図 7.3-7 に示す。





図 7.3-9 高潮による年間損失期待値(上段:建物被害額, 中段:人的損失,下段:生活支障者数)

表 7.3-1 リスク評価結果一覧

災害	再現期間	建物被害額 (億円)	人的損失 (人)	生活支障者数 (千人)
地震 リスク	30 年	369.9	0.0	0.0
	50 年	539.3	0.0	3.9
	100 年	1588.0	18.9	34.4
	年間損失	32.5	0.28	0.56
	期待	(6.7%)	(5.7%)	(1.6%)
洪水 リスク	30 年	9,025.4	96.4	667.8
	50 年	9,845.8	113.7	686.3
	100 年	11, 292. 6	143.3	750.6
	年間損失	344.4	4.1	23.7
	期待	(70.9%)	(82.3%)	(66.4%)
高潮 リスク	30 年	2,446.2	0.0	331.5
	50 年	2,874.7	7.9	335.7
	100 年	3,911.4	33.9	355.2
	年間損失	108.5	0.6	11.5
	期待	(22.4%)	(12.0%)	(32.1%)
マルチ ハザー ド・リ	年間損失 期待	485. 5	5.0	35.7
スク				

()は、マルチハザード・リスクに占める個別災害の割合を示す.



建物被害額、人的損失、生活支障者数の算出結果を 図 7.3-8 に示し、それぞれの項目の年間損失期待値分布 を図 7.3-9 に示す。

7.3.3 マルチハザードに対するリスク評価

前項で示した地震、洪水、高潮の個別災害に関する、 各再現期間の建物被害、人的損失、生活支障者数に関 する損失と年間損失期待値、及び3つの災害を統合して 求めたマルチハザードに関する年間損失期待値を表 7.3-1 に示す。また、表 7.3-1 のデータから建物被害額、 人的損失、生活支障者数のリスクカーブを作成した一例 を図 7.3-10 に示す。さらに、マルチハザードに関する建 物被害額、人的損失、生活支障者数のリスクカーブから 年間損失期待値を算出した結果を図 7.3-11~図 7.3-13 に示す。

上記の結果によれば、建物被害額、人的損失、生活支

障者数のどの項目についても、洪水による損失が最 も大きく、地震が最も小さいことが分かる。また、地震、 洪水、高潮災害の建物被害額と人的損失に関しては、 50年に1回程度の災害を境に損失が増加する傾向 にある。

リスク要因別の比較では、生活支障者数は災害規 模の再現期間の違いによる影響が比較的少なく、地 震に比べて洪水や高潮で多くの影響が出ることが明 らかとなった。また、人的損失に関しては、100年に1 回程度の規模の災害では、地震・高潮に関して洪水 のリスクが大きいことが明らかになった。

7.4 行政施策への反映

上述した研究成果を基に、地域の防災性能評価マ ニュアル(案)を提案した。本マニュアル(案)は、マル チハザードに対する地域の総合防災性能評価手法 を用いて、地域に大きな影響を及ぼす災害の抽出、 複数の災害に対する効率的な防災事業の推進のた めの優先順位付け等の支援に活用することが可能で ある。本マニュアル(案)の主要な目次を表 7.4-1 に示 す。

【参考文献】

- 草野・小林・兼森・川合・日吉:リスクマネジメント入 門-リスクマネージメントの発想,土木学会誌, 2000年7月.
- 総務省統計局:統計GISプラザ, http://gisplaza.stat.go.jp/GISPlaza/.
- 中央防災会議:地震被害想定支援マニュアル, http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm.
- Risk Management Solutions, Inc.; The RMS® Japan Typhoon Model,

http://www.rms.com/catastrophe/models/japan.asp #WS.



図 7.3-11 マルチハサート に対する 建物被害額の年間損失期待値







図 7.3-13 マルチハザート に対する 生活支障者数の年間損失期待値

表 7.4-1 地域の防災性能評価マニュアル(案)目次構成

5. 総合防災性評価

8. まとめと課題

本研究では、下記に示す2つの成果目標を設定した。

I. 各種災害による被害軽減のための要素技術の研究・開発

Ⅱ. 都市防災性能の総合的評価に関する研究

Iでは、各種の自然災害(水害、地震災害、土砂災害等)ごとにハザード評価から被害 軽減までの一連の流れの中で、被害想定・被害軽減対策等の要素技術を検討し、各成果目 標に対して十分な検討が行われ、当初の成果目標を概ね達成できたものと考えられる。

一方、IIでは、地震、水害、土砂災害等の各種自然災害に対する地域の脆弱性・防災性 を共通の尺度で評価するための「地域の防災性評価マニュアル(案)」を提案した。ここで の評価例として、地震動と洪水による家屋の被害想定をしており、地域の防災性評価の観 点からは、成果目標を達成しているといえる。しかしながら、都市地域・都市施設におけ る防災性評価(都市特有の課題、都市地域での複合災害の考え方)については十分な議論 まで至らず、成果目標の達成度は低い結果となった。これは、現在のところ、災害毎また は施設毎に得られているハザード・リスク評価手法を、複雑な都市システムに適用するた めの手法が確立されていないことが主たる原因と考えられる。

また、プロジェクト研究としての「総合化」といった観点から見ると、十分な結果とは ならなかった。その原因として、対象とした現象が広範にわたり、しかも解明レベルに精 粗があったこと、「総合化」に関する共通認識が必ずしも醸成されていなかったこと等が 主たる原因と考えられる。

今後とも引き続き、都市域における複合的な災害に対する総合的な防災性能評価手法に 関する取り組みが必要である。また、それらの災害に対する総合的な評価のニーズや災害 の波及的な被害の評価手法等についても検討を継続することが必要である。
所外論文等一覧

①水害(雨水)関連研究

・水草浩一,廣木謙三:下水道を考慮した都市域氾濫解析モデルに関する一考察,土木学会第59回 年次学術講演会講演概要集,Ⅱ-050,2004.9

・水草浩一:今進められる内水対策-技術の開発・調査の動向-,日本下水道新聞,(株)日本水 道新聞社,6,2004.8.31

・水草浩一,三輪準二,金木誠:下水道と考慮した都市域における氾濫シミュレーション技術 (PWRIモデル)の開発,土木学会第57回年次学術講演会講演概要集,II-567,2002.9

・川口広司・末次忠司・福留康智:2004 年 7 月新潟県刈谷田川洪水・破堤氾濫流に関する研究、 水工学論文集、第 49 巻 2005

・福留康智・末次忠司・菊森佳幹・川口広司:平成 16 年 7 月新潟・刈谷田川破堤氾濫流の再現実 験と活動実態調査に関する研究、河川技術論文集、第 12 巻、2006.6

②水害(台風·高潮)関連研究

・加藤史訓・鳥居謙一・柴木秀之・鈴山勝之:確率的台風モデルを用いた潮位と越波量の確率評価,海岸工学論文集,土木学会,第50巻,pp.291-295,2003

・加藤史訓・鳥居謙一:高潮ハザードマップ作成のための氾濫危険度評価,土木技術資料,土木研 究センター, Vol.45, No.7, pp.18-23, 2003

・鳥居謙一・加藤史訓:高潮氾濫の危険度評価,国総研アニュアルレポート, No.2, pp.12-15、2003 ・加藤史訓・柴木秀之・鈴山勝之:確率的低気圧モデルを用いた越波量の確率評価,海洋開発論文 集,土木学会, Vol.20, pp.95-100, 2004

• Kato, F., and K. Torii: Risk Assessment on Storm Surge Floods, Asian and Pacific Coasts 2003, Japan Society of Civil Engineers (CD-ROM), 2004

• Kato, F., K. Torii and H. Shibaki: Extreme Statistics Analysis of Wave Overtopping Rate by A Stochastic Typhoon Model, Coastal Structures 2003, American Society of Civil Engineers, pp.520-527, 2004

・加藤史訓・福濱方哉・野口賢二:高潮による浸水被害の実態調査,海岸工学論文集,第 52 巻, pp.1321-1325、2005

・加藤史訓・福濱方哉:高潮情報システムの開発,土木技術資料,Vol.47,No.8, pp.62-67、2005 ・加藤史訓:高潮危険度評価に関する研究,国土技術政策総合研究所資料,第275巻,108p.、2005

③地震災害(津波)関連研究

• Kato, F., S. Inagaki and M. Fukuhama: Wave Force on Coastal Dike due to Tsunami, Proceedings of the 37th Joint Meeting of U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, Public Works Research Institute、2005

・加藤史訓・福濱方哉:津波遡上に及ぼす護岸の効果,土木技術資料,土木研究センター, Vol.47, No.10, pp.64-69、2005

・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,土木学会,第52巻,pp.756-760、2005

・加藤史訓・福濱方哉・大谷靖郎・今津雄吾・佐川拓也・林健太郎:マレ島における津波遡上に対 する護岸の効果検討,水工学論文集,第50巻,pp.1423-1428、2006

・加藤史訓・福濱方哉・藤井裕之・高木利光: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,海岸工学論文集,第53巻、2006(投稿中)

・熊谷兼太郎、小田勝也:港湾及び背後地域における津波被害の波及過程に係る検討,土木学会第60回年次学術講演会講演概要集2-177,pp.353-354,2005.9

・大下英治、小田勝也:大規模地震津波対策に関する考察,沿岸センター論文集 No.4, pp.13-16, 2004.9

・合川聖二郎、小田勝也:港湾における防波堤の津波防護機能に関する検討,沿岸センター論文集 No.4, pp.1-4, 2005.9

・日下部毅明,渋谷研一,片岡正次郎:津波対策立案のための津波被害想定と対策効果の評価手法 に関する一考察,土木学会地震工学研究発表会報告集,Vol.28,230,2005

• Kusakabe, T., Matsuo, O. and Kataoka, S.: Introduction of a methodology to mitigate tsunami disaster by the pre-evaluation of tsunami damage considering damage investigation of 2004 tsunami disaster in the Indian Ocean, Proc. 21st US-Japan Bridge Engineering Workshop, Technical Memorandum of PWRI, No.4009, pp.207-218, 2005

・日下部毅明,渋谷研一,片岡正次郎:津波による道路施設の被災度と経済的損失の評価手法に関する現況等の調査と基礎的検討,国土技術政策総合研究所資料,No.316,105p.,2006

・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

④地震災害(地震動)関連研究

・大谷康史,日下部毅明,村越潤:既設道路橋の耐震補強優先度評価に対するAHPの適用性の検討,既設構造物の耐震補強に関するシンポジウム論文集,1-8,2002

・真田晃宏,村越潤,吉澤勇一郎:動的解析を用いた RC 橋脚の被害関数に関する基礎的検討,土 木学会第57回年次学術講演会講演概要集,1509-1510,2002

・吉澤勇一郎,村越潤:公共土木施設の耐震性水準の設定に関する基礎的検討,土木学会第 57 回 年次学術講演会講演概要集,633-634,2002

・日下部毅明,吉澤勇一郎:災害リスクの証券化(CAT BOND)におけるリスクプレミアムに関する調査,土木学会第57回年次学術講演会講演概要集,IV-352,2003

・吉澤勇一郎,日下部毅明:道路施設の地震被害による緊急車両通行障害の損失の定量化手法に関する一検討,土木学会第57回年次学術講演会講演概要集,IV-350,2003

・真田晃宏,日下部毅明:せん断破壊を考慮した道路橋 RC 橋脚の被害関数に関する検討,土木学 会第 57 回年次学術講演会講演概要集,I-368, 2003

・日下部毅明,谷屋秀一,吉澤勇一郎:道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究,国土 技術政策総合研究所資料, No.160, 59p, 2004

・谷屋秀一,日下部毅明:道路施設に対する地震の防災投資効果の評価手法に関する研究,土木学 会第58回年次学術講演会講演概要集,第IV部門,525-526,2004

・長屋和宏,日下部毅明,片岡正次郎:即時震害予測システムへの適用を考慮した構造物被害関数 に関する基礎的研究,土木学会第58回年次学術講演会講演概要集,第I部門,1643-1644,2004.

・日下部毅明,中尾吉宏:道路橋の耐震補強優先度の実用的設定法,土木技術資料 特集, Vol. 46, No.10, pp.24-29, 2004

・松本俊輔, 片岡正次郎, 日下部毅明:地形区分を用いた地盤の特性値 TG と地盤種別の推定, 土 木学会地震工学論文集, Vol.28, 056, 2005

・日下部毅明,鶴田舞,片岡正次郎:道路行政関係の地震リスクマネージメント・危機管理の取り 組み,第7回土木学会地震災害マネジメントセミナー 地震災害のリスク管理と危機管理-ハザー ド評価からマネジメントの実践へ-, pp. 43-50, 2006

・片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部毅明: 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの 距離減衰式, 土木学会論文集 A, Vol.62, No.4, pp.740-757, 2006

・鶴田舞,日下部毅明:道路防災事業効果の評価手法の実用化に関する研究,土木学会第60回年 次学術講演会講演概要集,pp.351-352,2006

⑤地震災害(長周期地震動)関連研究

・片岡正次郎,日下部毅明,松本俊輔:やや長周期地震動の距離減衰式と増幅率の地域性,海溝型 巨大地震を考える-広帯域強震動の予測2-シンポジウム論文集, pp.13-18, 2006

⑥土砂災害(雨水、地震動)関連研究

・筋野真知子,寺田秀樹,國友優,小栗秀果,佐竹次郎,槇田裕子:丘陵地に発達した都市の災害に関する脆弱性評価についての一考察、砂防学会研究発表会概要集、364-365,2004

・國友優 寺田秀樹 中野泰雄:丘陵地に発達した都市の脆弱性評価について、土木技術資料 Vol.45 No.8、13-14, 2003

・内田太郎、國友優、寺田秀樹、小川紀一朗、松田昌之:土砂災害の規模の表現方法に関する一考察、砂防学会誌 Vol.57 No.6、51-55,2005

⑦災害時における支援機能(空港)関連研究

・石井正樹:災害時における空港の防災機能について、第6回空港技術報告会、2005.12

⑧都市防災性能の総合的評価に関する研究

・松尾修ほか:都市地域の社会基盤・施設の防災性能評価・災害軽減技術の開発、平成 15 年度国 土技術政策総合研究所発表会、2003.4

••••••

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 NILIM

No. 14 February 2007

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 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 企画部研究評価・推進課 TEL029-864-2675