

ハード対策とソフト対策を組み合わせた総合的な津波対策

1. 研究・活動のアウトライン

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

		研究の背景・経緯・概要	
出来事・社会の変化	<ul style="list-style-type: none"> ○2004年 インド洋大津波(東南アジア～南アジアの沿岸で甚大な津波災害) ○2010年 チリ地震津波(南米沿岸で甚大な津波災害) 	<ul style="list-style-type: none"> ○2011年 東北地方太平洋沖地震(青森県～千葉県の沿岸で甚大な津波災害) 	
国土交通省の動き	<ul style="list-style-type: none"> ○2004年 「海岸保全施設の技術上の基準」(省令、局長通知)・海岸保全施設の所要性能等を規定 ○2004年 「津波・高潮ハザードマップマニュアル」(内閣府・国交省・農水省)・津波・高潮のハザードマップの作成方法 ○2005年 「津波対策検討委員会 提言」・事前から事後にわたりハード整備およびソフト対策をあわせて展開し、被害の最小化を目指すという考え方へ転換 	<ul style="list-style-type: none"> ○2011年 「平成23年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」(海岸における津波対策検討委員会提言)・設計に用いる設計津波の設定方法及び天端高の設定方法 ・粘り強く効果を発揮する海岸堤防等の構造 ・設計対象の津波を生じさせる地震を踏まえた耐震対策の考え方 ○2011年 緊急提言「津波防災まちづくりの考え方」(社整審計画部会)・ハード・ソフトの施策を総動員させる「多重防御」による津波防災・減災対策 ○2012年 「津波浸水想定の設定の手引き」(国交省)・津波防災地域づくりのための津波浸水想定の方法 	
	第1期(東日本大震災以前の研究)	第2期(東日本大震災をふまえた研究)	
ハード対策の研究	<ul style="list-style-type: none"> ○2004年 津波波力に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> ○2011年 設計津波の設定方法 ○2011年 津波防護施設の構造に関する研究 ○2011～2014年 津波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究 ○2012年～ 【研究成果】粘り強い構造による海岸堤防の復旧 ○2012年～ 海岸堤防の耐震照査に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> ○2014～2016年 自然・地域インフラに関する研究 ○2016～2017年 津波防護施設の候補箇所の抽出手法に関する研究
ソフト対策の研究	<ul style="list-style-type: none"> ○2005～2006年 破堤等を考慮した津波浸水計算に関する研究 ○2007～2009年 津波避難促進施策に関する研究 	<ul style="list-style-type: none"> ○2011年 津波浸水想定に関する研究 ○2012年 【研究成果】津波浸水想定の設定の手引き 	

◆第1期：東日本大震災以前の研究

【背景と課題】 2004年にインドネシア・スマトラ島付近で発生した地震は、インド洋沿岸において巨大津波を発生させ、沿岸の各国で甚大な被害が生じた。また、2010年にチリ沖で発生した地震による津波は、南米の太平洋沿岸において甚大な被害を発生させたほか、北海道から沖縄県までの広範囲に大津波警報や津波警報が発表され、100万人以上を対象に避難指示・勧告が発令され、一部で家屋が浸水するなど、日本においても影響があった。このような巨大津波が日本においても将来生じる恐れがあることから、津波対策の充実が求められた。

【研究概要と主な成果】 津波に対して海岸堤防を適切に設計するため、津波により海岸堤防に作用する波力を大規模水理模型実験により評価した。また、海岸堤防の破堤等を考慮して津波浸水シミュレーションを行う手法を開発した。さらに、住民の避難判断力、地域防災力、行政の避難支援力の向上を通じて津波による人的被害の大幅な軽減を図るため、釧路市の消防本部及び自主防災会との連携の下、津波警報発令時の住民の避難意思決定における各要因の影響を定量的に評価し、その要因に対応する避難促進施策の効果を明らかにし、その結果をふまえて避難促進施策の具体的な進め方を提案した。これらの成果は、東日本大震災以前には社会実装に至らなかったが、東日本大震災以後の研究の礎となり、粘り強い海岸堤防や津波浸水想定の設定の手引き等の東日本大震災直後の成果に繋がった。

◆第2期：東日本大震災をふまえた研究

【背景と課題】 2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、青森県から千葉県にかけての太平洋沿岸で津波が海岸堤防を越え、沿岸部では甚大な被害が生じた（図-1）。このような巨大津波に対し、ハード対策とソフト対策を総動員する「多重防御」の考え方が打ち出されるとともに、海岸堤防等は比較的頻度が高い津波を対象に設計するものの、設計津波を超える津波に対して粘り強く減災効果を発揮する構造を海岸堤防に導入することが求められた。

【研究概要と主な成果】 津波が越流しても海岸堤防が粘り強く効果を発揮する構造について、本省及び東北地方整備局との連携により、大型水理模型実験も行い検討した。その成果は、仙台湾南部海岸等での災害復旧に反映されるとともに、海岸保全施設の技術上の基準への反映を通じて全国の海岸事業において使われている（図-2）。また、津波防災地域づくりに関する法律に基づく都道府県による津波浸水想定の設定を支援するため、第1期の研究成果を発展させ、最大クラスの津波が悪条件で来襲する条件で津波浸水シミュレーションを行う手法を「津波浸水想定の設定の手引き」としてまとめた。さらに、海岸堤防を越えて津波が侵入する場合における砂丘等が有する減災効果とその発揮限界の評価方法及び津波防災地域づくりにおける活用方法について検討した。その結果、砂丘等の減災効果をふまえた津波浸水計算やその結果に基づく減災対策の検討ができるようになった。



図-1 東日本大震災で被災した仙台湾南部海岸の堤防



図-2 復旧された仙台湾南部海岸の堤防

2. 主な研究成果

◆東日本大震災以前の研究（第1期）

・津波波力に関する研究

津波により海岸堤防に作用する波力を大規模水理模型実験（図-3）により評価した。その結果、海岸堤防の表法では津波の先端が衝突する瞬間に大きな波圧が局所的に発生する場合があること、その波圧は最大水深の静水圧の4倍以上に達していたことなどが明らかになった¹⁾。

・破堤等を考慮した津波浸水計算に関する研究

地震動による海岸堤防の沈下や津波の掃流力による海岸堤防の破堤等を考慮した背後地被害の想定手法を開発した。具体的には、海岸堤防の耐震性をふまえた地震動による海岸堤防の沈下を仮定した上で、津波の浸水計算と同時並行で行った津波の掃流力による海岸堤防周辺の地形変化計算で得られる侵食深をもとに海岸堤防の破堤を判定し、それ以降の浸水計算は海岸堤防がない条件で行った（図-4）。その結果、海岸堤防の減災効果が実態と同様に考慮できるようになり、津波の浸水範囲がより精度良く想定できるようになった¹⁾。

・津波避難促進施策に関する研究

2006年の千島列島沖地震津波等を対象に、津波警報発令時の住民の避難意思決定における各要因の影響を定量的に評価し、その要因に対応する避難促進施策の効果を明らかにし、その結果をふまえて避難促進施策の具体的な進め方を提案した^{2),3)}。具体的には、釧路市民を対象とした質問紙調査の結果の分析により得られた、2006年の千島列島沖地震時の避難意思決定要因間の関係（図-5）をもとに、避難意図を高める方

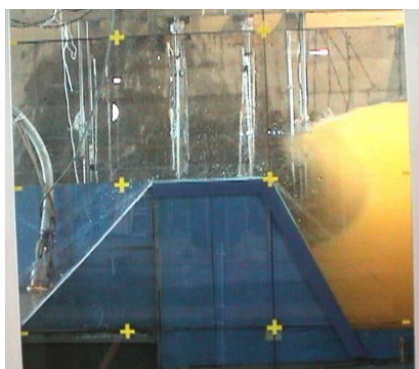


図-3 津波波力に関する実験

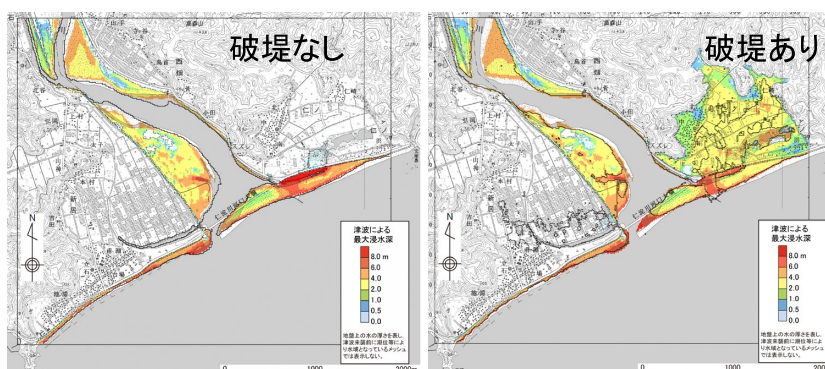


図-4 破堤の考慮の有無による浸水深の違い

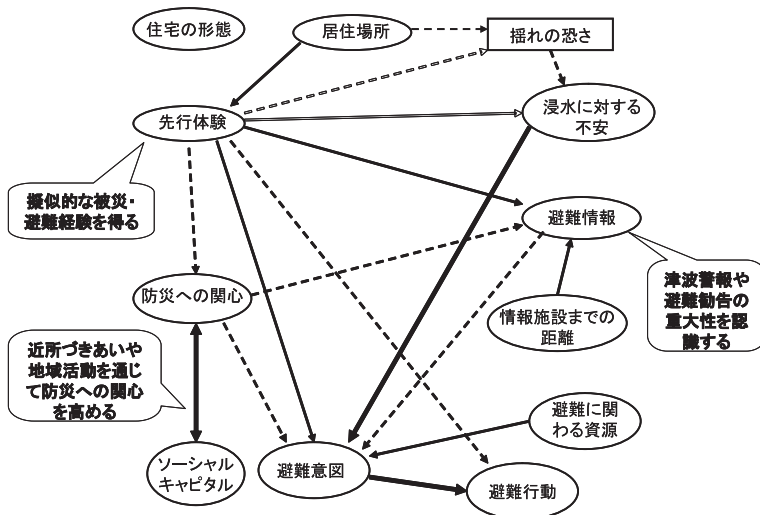


図-5 避難意思決定要因とワークショップの重点事項

策として「津波警報や避難勧告の重大性を認識する」、「擬似的な避難経験を得る」、「近所つきあいや地域活動を通じて防災への関心を高める」の3点を提案し、これらを考慮したワークショップの開催によりその効果を確認した。

◆東日本大震災をふまえた研究（第2期）

・津波に対して粘り強い海岸堤防に関する研究

津波が越流しても海岸堤防が粘り強く効果を発揮する構造について、大型水理模型実験も行い検討した^{4),7)}。越流した津波による海岸堤防の陸側での洗掘が堤防被災のきっかけになることに対しては、裏法尻に保護工を設置し洗掘を抑制することが有効であることを確認した(図-6の①)。また、津波の越流による裏法肩での圧力低下や堤体内の圧力上昇が被覆工を不安定化させることに対しては、裏法肩と天端が一体化した被覆工を設置し、その被覆工には空気穴を設けることが有効であることを確認した(図-6の②)。さらに、津波越流時の裏法での高流速が裏法被覆工を流出させることに対しては、裏法被覆工の厚さを確保して吸い出しを抑制するとともに被覆ブロックの形状工夫により不陸発生を抑制することが有効であることを確認した(図-6の③)。

このほか、設計対象の地震動が生じても海岸堤防が必要な高さを確保できるよう、海岸堤防の耐震性能の考え方と照査手順を整理した⁵⁾。新たに照査対象になった、設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能の照査方針・照査基準については、表-1のように整理した。

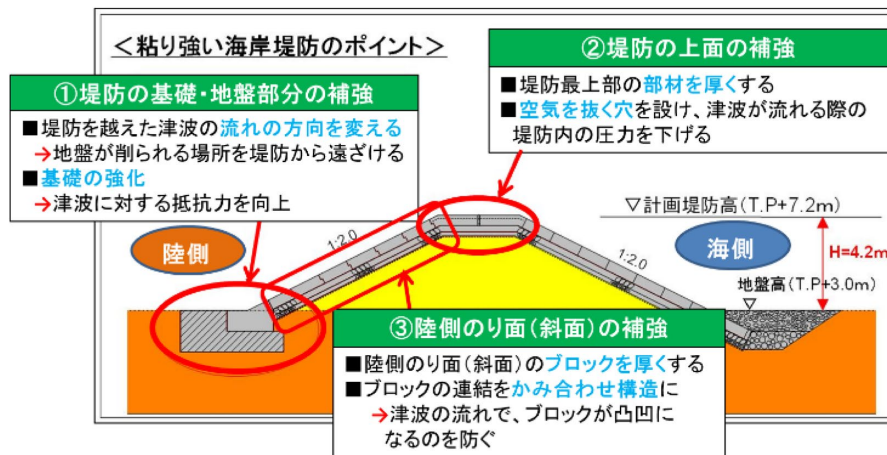


図-6 粘り強い海岸堤防のポイント

表-1 設計津波を生じさせる地震の地震動に対する耐震性能の照査方針・照査基準

	安全性能	目的達成性能
照査方針	地震後に来襲する津波（設計津波）に対して所要の構造の安全を確保	地震後に来襲する津波（設計津波）に対して海岸堤防の機能を損なわない
照査基準	・ 右記の天端高が設計津波の水位以下の高さであることの確認をもって、津波に対する海岸堤防の安定性を確認したとみなす。	・ 天端高は海水の侵入を防ぐように設定されることから、地震による沈下後にも設計津波の水位以上の高さに天端高があることを確認する。
	・ 波返工を有する構造の場合は、波返工や連続する表法被覆工、基礎工、根固工が地震後も津波の作用に対抗できる構造であることを確認する。	・ 波返工を有する構造の場合は、地震後の波返工の被災による海水侵入を防ぐため、地震後の波返工の変位が当該波返工の厚さ等から設定される許容値以内に収まることを確認する。

・津波防災地域づくりに関する研究

津波防災地域づくりに関する法律に基づく津波浸水想定（図-7は表示イメージ）の設定のため、最大クラスの津波が悪条件で来襲する条件で津波浸水シミュレーションを行う手法をまとめた「津波浸水想定の設定の手引き⁹⁾」を本省水管理・国土保全局海岸室とともに公表した。また、津波防災地域づくり法に基づく津波災害警戒区域の設定において必要となる基準水位（建築物等によるせき上げを考慮した浸水深、図-8）を津波浸水シミュレーションの結果（時系列の浸水深と流速）から求める方法をまとめた⁴⁾。さらに、津波防災地域づくり法に定められた津波防護施設の技術上の基準の策定のため、津波防護施設の構造上の要件や候補箇所の抽出手法について整理した^{4),8)}。

・自然・地域インフラに関する研究

海岸堤防を越えて津波が侵入する場合における砂丘等が有する減災効果とその発揮限界の評価のため、実地盤を用いた大型模型実験により、津波浸水シミュレーションで得られる時系列の浸水深及び流速から砂丘等の地形変化を容易に予測できる手法（図-9）や砂丘等の減災効果の保全・改良方法を整理した。その結果、

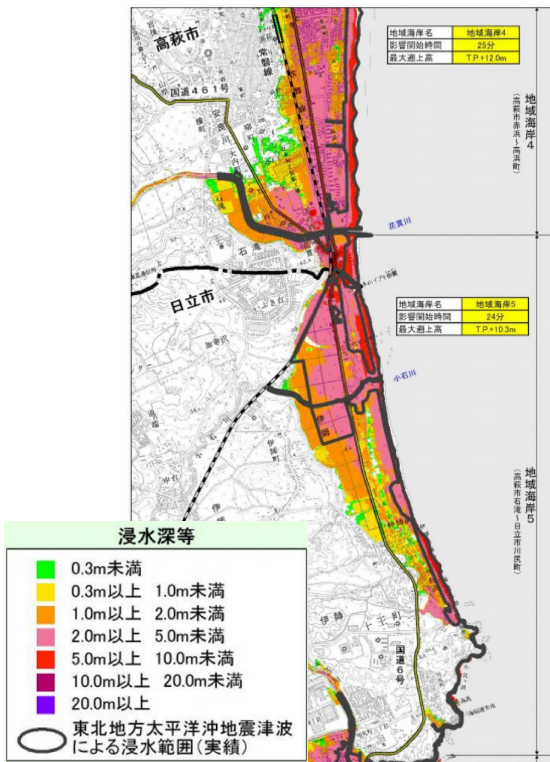


図-7 津波浸水想定を表示イメージ

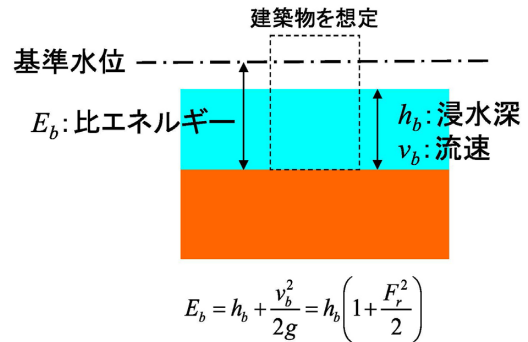


図-8 基準水位の定義

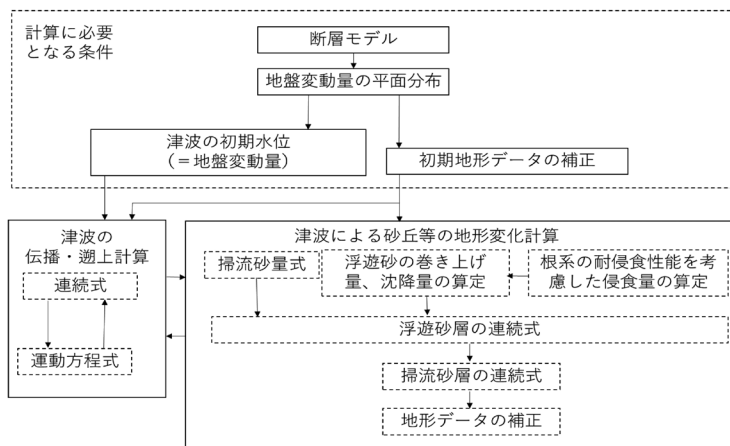


図-9 砂丘等の減災効果の評価に用いる津波浸水シミュレーションのフロー

砂丘等の地表付近の根の分布密度に応じた砂丘等の侵食が予測できるようになり、砂丘等の減災効果をふまえた津波浸水計算やその結果に基づく減災対策の検討ができるようになった^{4),6)}。

3. 関係する報告書・技術資料一覧

- 1) 国総研資料 第 485 号「公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案）」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0485.htm>
- 2) 国総研資料 第 568 号「高潮・津波からの避難に関する調査」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0568.htm>
- 3) 国総研資料 第 622 号「2010 年チリ地震津波からの避難に関する調査」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0622.htm>
- 4) 国総研プロジェクト研究報告 第 52 号「津波からの多重防御・減災システムに関する研究」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/kpr/prn0052.htm>
- 5) 国総研資料 第 977 号「海岸堤防（盛土を含む構造）の耐震性能照査に関する技術資料」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0977.htm>
- 6) 国総研資料 第 986 号「津波防災地域づくりにおける自然・地域インフラの活用に関する技術資料」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0986.htm>
- 7) 国総研資料 第 1035 号「津波越流に対する海岸堤防の粘り強い構造の要点」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1035.htm>
- 8) 国総研資料 第 1074 号「指定津波防護施設の候補及び津波防護施設の整備候補箇所の抽出に関する技術資料」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1074.htm>
- 9) 津波浸水想定の設定の手引き ver2.10
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kaigan/tsunamishinsui_manual.pdf

4. 今後の展望

発生が切迫している南海トラフ巨大地震の津波が来襲すると予想されている地域を中心に、津波のハード対策が急速に進められている。一方、海岸堤防の高さについては、景観や日常生活への影響、費用対効果等の観点からさまざまな議論がある。ソフト対策も含めた対策効果の総合的な評価手法やその結果を活用したハード対策の規模や優先順位の決定手法について、引き続き検討していく必要がある。