

特集：津波防災地域づくりを支える技術の展開

津波による海岸堤防の被災の分析 ～粘り強くする方向性を見いだすための被災分析～

渡邊国広* 諏訪義雄** 加藤史訓*** 藤田光一****

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波（以下、今次津波）で多くの海岸保全施設が被災したことを受けて、「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく」とする方針が中央防災会議等から示されたり。「粘り強い」とは、海岸保全施設が破壊・倒壊するまでの時間を少しでも長くする、あるいは、施設が全壊に至る可能性を少しでも減らすことである。これによって、避難に使える時間を確保する、第2波以降の被害を軽減する、迅速な復旧を可能とすることで二次災害のリスクや復旧費用を低減するなどの効果が期待される²⁾。

著者らは施設を粘り強い構造とするための具体的な方向性を見いだすために、青森県から千葉県にかけての海岸保全施設の被災状況、構造諸元と津波外力の関係を分析した。本稿ではそのうち、三面張り構造の海岸堤防についての結果の一部を紹介する。

2. 現地調査で確認された被災形態

海岸の堤防は用地に制約がある場合を除けば、土砂を盛って構築した堤体の表法、天端、裏法をコンクリートで被覆した三面張り構造が主流となっている（図-1）。これは、1953年に知多半島付近を襲った台風13号による被災を踏まえて、高波による越波を多少受けても堤体土が流出しないように導入されたものである。

今次津波の直後に実施した現地調査では、堤防を越えた水流によって、裏法尻と呼ばれる堤防背後の地盤が洗掘された例が多数確認され（写真-1）、裏法尻の洗掘による支持基盤の喪失が裏法被覆工の流出、堤体土の流失を経て堤防の倒壊に

つながったと推察された（図-2）。

そのため、海岸堤防を粘り強くするためには裏法尻の洗掘を防ぐことが重要であり、裏法尻の保護や裏法尻に衝突する水流の減勢などが有効と考えられた。本研究ではこの仮説に基づいて被災事例を分析した。

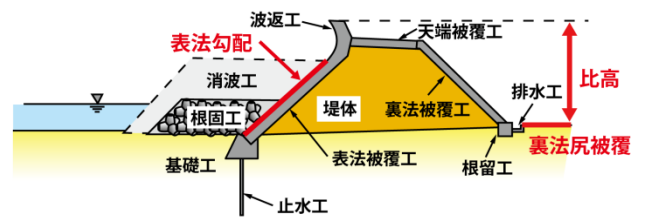


図-1 三面張り構造の海岸堤防の基本的な構造



写真-1 裏法尻部における洗掘の状況
(宮城県岩沼市蒲崎海岸)

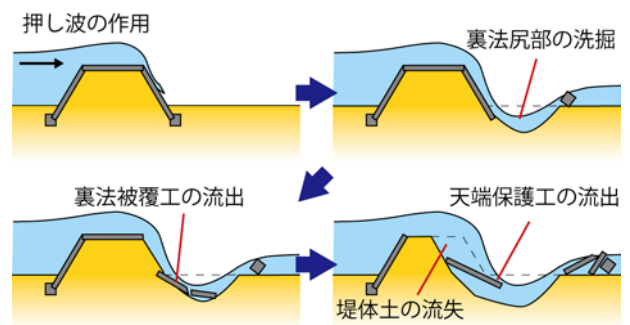


図-2 裏法尻部からの破壊過程

3. 津波による被災事例の分析

3.1 被災データの整理

海岸保全施設は行政上の1海岸(図3中の○○地区区海岸)の中でも構造が一樣でない場合があるので、海岸を施設構造によってさらに細分した一連区間（図-3中の区間1,2）で被災データを整理した。

Analysis of damage to coastal dikes by tsunamis accompanying the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

具体的な被災状況については、各県の海岸管理者による被災箇所や被災延長等の調査結果を空中写真・衛星画像によって確認・補足計測し、施設延長や構造は施設台帳から得た。三面張り構造の堤防では、写真-2のように被覆工が全て流出し、盛土も残っていない状態を全壊とし、写真-1のように被覆工が一部流失した状態、または被覆工が全て流失しても堤体土が残っている状態を半壊とし、細分した一連区間について全壊、半壊それぞれの被災延長を求めた。津波外力の強さは、越流水深で評価し、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ³⁾によって調査された近傍における津波浸水高の速報値から地震に伴う地盤沈下後の施設天端高を差し引いて求めた。

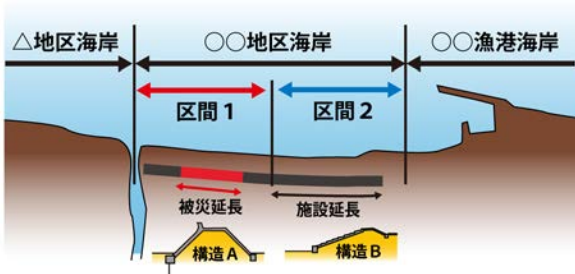


図-3 分析単位とする一連区間の模式図



写真-2 全壊した三面張り構造の海岸堤防 (宮城県岩沼市二ノ倉海岸)

3.2 被災データを扱うにあたっての留意点

まず被災データ全体の特徴を理解するために、細分した一連区間（計1,322区間）の中で、越流があった三面張り構造の海岸堤防の全てを取り出した。区間数は257であり、1区間の延長は3m～3,756mの間に分布し、総延長は100.5kmとなった。越流水深を7カテゴリ（2m未満、2-4m、4-6m、6-8m、8-12m、12-16m、16-20m）に分けて、カテゴリごとに区間延長と被災延長を合計して被災延長率を求めた結果を図-4（上段）に示す。越流水深12mを越えるデータは少ないものの、

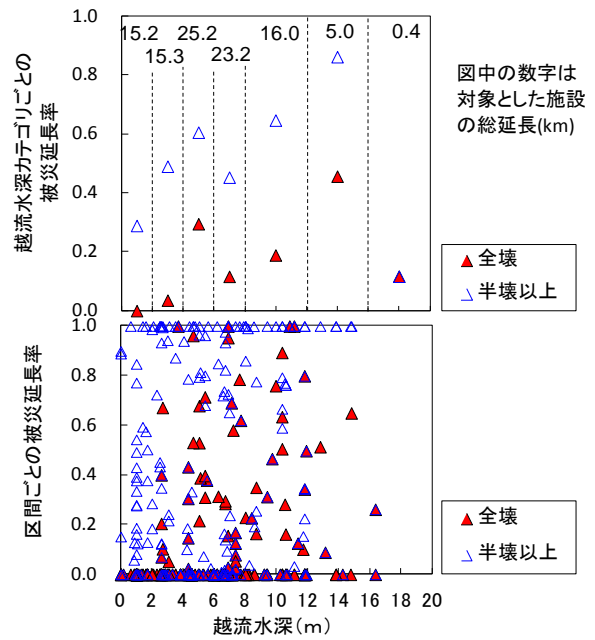


図-4 越流水深と被災延長率の関係

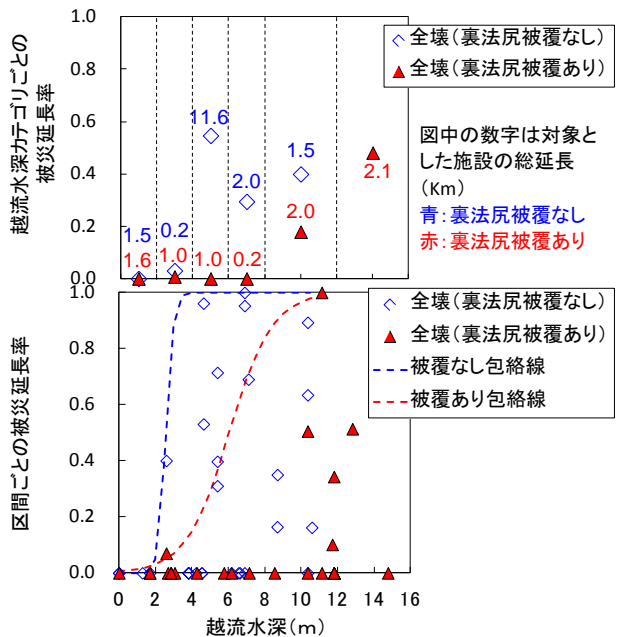


図-5 裏法尻被覆の有無による被災状況の違い

表-1 検討対象とした区間の条件

検討対象	検討対象以外の要素		
	裏法尻被覆	比高	表法勾配
裏法尻被覆の有無	-	3m以上	2割未満
比高	無し	-	2割未満
表法勾配	無し	3m以上	-

越流水深が大きいほど被災延長率（施設延長に対する被災延長の割合）が大きくなる傾向が確認できた。しかし個々の区間についての被災延長率を越流水深によるカテゴリ分けをせずに全てプロットした図-4（下段）を見ると、同じ越流水深に対しても、被災延長率は大きくばらついていた。例えば、約3mの越流水深で全壊の被災延長率が

100%（全ての堤防が全壊）となる区間がある一方で、10mを越える越流水深でも全く全壊がなかった区間も存在した。これは越流の継続時間や背後地の条件、施設の詳細構造等、揃えきれない条件が多数含まれるうえに、堤防の破壊現象が確率事象であることに起因する。構造による被災状況の違いについての平均的な傾向を見るには図-4上段の整理が適するが、各区間におけるばらつき大きさも防災計画上重要な情報であるので、以降では2つの図を併記していくこととする。

以下では、このようなデータを分析することで得られた、粘り強い施設構造とするための方向性を検討する上で有用な3例について紹介する。

3.3 裏法尻被覆の有無による被災状況の違い

裏法尻を被覆して保護することの効果を確認するために、58区間24.9kmについて裏法尻被覆の有無の違いに着目して整理した。この区間は、本稿で紹介する他の2要素の効果の影響を受けないように表-1に示す条件で絞り込んだものである。

その結果、越流水深12m未満では裏法尻が何らかの形で被覆されていた方が全壊となる被災延長率が低いことがわかった（図-5上段）。区間ごとに見た場合にもその傾向は明らかであり（図-5下段）、半壊以上について同様の整理をした場合も、この傾向は同じであった。

ここで被覆ありと分類された区間は、被覆幅4m未満が延長で約7割を占める。これは津波に

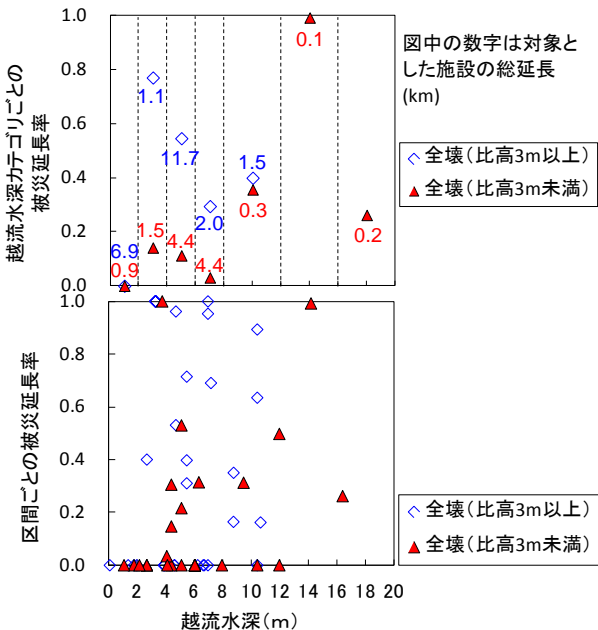


図-6 背後地盤との比高による被災状況の違い

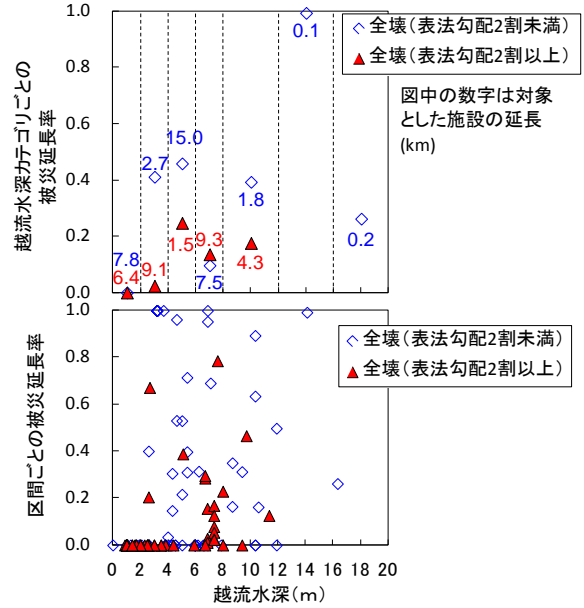


図-7 表法勾配による被災状況の違い（全壊）

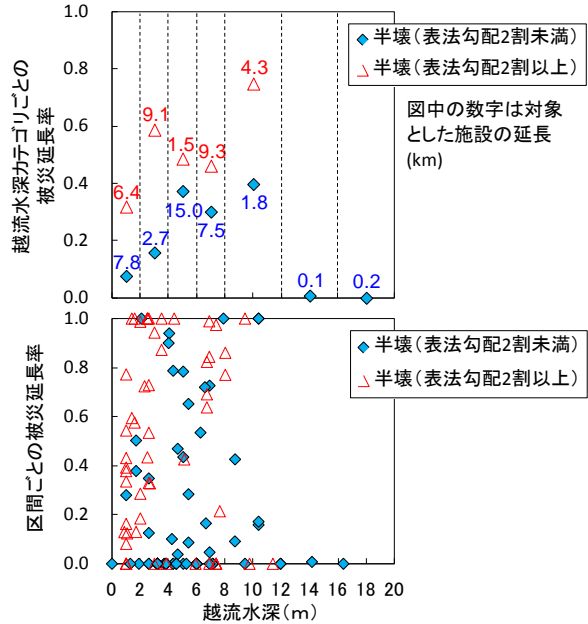


図-8 表法勾配による被災状況の違い（半壊）

よって形成される洗掘の幅に比べればはるかに小規模のものであるが、洗掘が起こる地点を堤体から遠ざけることで効果が発揮されたものと考えられた。本結果は、限られた範囲の被覆であっても、堤防が全壊もしくは半壊しにくくなることを示す。

3.4 背後地盤との比高による被災状況の違い

裏法尻の洗掘を抑制するには、越流が裏法尻に衝突する際の流速を低減させることも重要であり、天端から背後地までの比高を小さくする対策が挙げられる。そこで、三面張り構造の海岸堤防のうち表-1の条件で選定した72区間35.1kmを対象に比高の違いによる被災状況の違いを比較した。

越流水深2～12mでは、比高3m以上の堤防のほ

うが3m未満の堤防に比べて全壊した延長の割合が大きかった(図-6)。この傾向は半壊以上を対象とした比較でも同様であった。

今次津波で被災した海岸堤防はいずれも被災前よりも天端高を高くして復旧される。越流が発生する確率や越流水深が小さくなる反面、比高の増大によるトレードオフにも留意する必要がある。

3.5 表法勾配の違いによる被災状況の違い

裏法尻が被覆されていない三面張り構造の海岸堤防131区間65.8kmについて、表法勾配の違いによる被災延長率の違いを全壊に着目して整理したところ、越流水深2~6m及び8~12mでは表法勾配が2割以上のほうが2割未満に比べて被災延長率は低かった(図-7)。しかし半壊のみ(半壊したが全壊には至らなかった)に着目すると、表法勾配が2割以上の場合にはむしろ被災延長率が高くなるという逆の結果となった(図-8)。

表法勾配2割以上で全壊が少なかったのは、表法の緩勾配化が津波による外力を低減させたわけではなく、堤体自体が大きくなることで堤体土が全て流失して全壊に至るまでの時間が長くなったためと考えられた。ただし、表法勾配がさらに緩くなった場合には、越流の状況が変わる可能性があるため、どの程度の勾配が最適であるかについては、実験等で確認していく必要がある。

4. 最後に

今次津波の直後には、海岸保全施設の被災を左右した要因について、現地の事例をもとに様々な見解が発表された。しかし、本研究である程度条件を揃えても、区間ごとの被災状況がばらついたように、ある海岸で有効であった構造が他の海岸でも必ず有効とは限らない。今後は、なるべく多くの事例をもとに議論していくことが求められる。

本稿では、広範囲にわたって取得された実際の

海岸堤防の被災データを分析することで得られた知見の例として、裏法尻の被覆、天端と背後地との比高の縮小が被災の軽減に寄与すること、表法の緩勾配化は半壊しても全壊に至りにくくする効果があることを示した。これらの結果は、「海岸堤防を粘り強くするには裏法尻の保護や裏法尻に衝突する水流の減勢などが有効」という仮説を裏付ける結果であったが、様々な条件が混在する現地データについて特定の要素だけに着目して分析した結果であることにも留意する必要がある。また、条件ごとのサンプル数が十分でないために検討できなかった要素も多数残されている。あくまでも強化の方向性を見出すためのものと位置づけて、条件を揃えた実験や数値計算などの結果も踏まえて具体的な裏法尻の被覆方法や被覆幅などについて検討していく必要がある。

謝 辞

本研究で扱った被災に関する資料は、東日本大震災を受けて設置された「海岸における津波対策検討委員会」における調査の一貫として収集されたものである。海岸保全施設の被災調査結果および施設台帳を提供いただいた青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県および国土交通省東北地方整備局には、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 東北地方太平洋沖を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 報告書
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinihon/houkoku.pdf>
- 2) 岡村次郎：海岸における津波対策検討委員会 提言～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について～、海岸、Vol.51、pp.92~101、2012
- 3) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ
<http://www.coastal.jp/ttjt/>

渡邊国広*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室 研究官、博士
(農学)
Dr.Kunihiko WATANABE

諏訪義雄**



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室長
Yoshio SUWA

加藤史訓***



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部海
岸研究室 主任研究官
Fuminori KATO

藤田光一****



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部長
博士(工学)
Dr.Koichi Fujita