

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

平成23年11月16日

海岸における津波対策検討委員会

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災においては、東北地方太平洋沿岸を中心に、甚大な被害が発生した。海岸堤防等の海岸保全施設も多くが被災しており、津波・高潮等による二次災害の防止や、被災地の復興のためにも、海岸堤防等の復旧を速やかに進めることが極めて重要な状況である。

一方、震災を受けて開催された中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震・津波対策に関する専門調査会」（以下、「専門調査会」という。）より、平成23年6月26日に中間とりまとめ及びそれに伴う提言が公表され、また、9月28日には報告が公表されている。これらの中で、今後は、比較的頻度の高い一定程度の津波に対して海岸保全施設等の整備を進めていくこと及び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、整備していくことが示された。そのため、海岸堤防等の復旧にあたっては、この考え方に基づいて進めていく必要がある。

海岸堤防等の復旧においては、まず、設計対象の海岸保全施設に到達するおそれが大きい津波として定められた設計津波の高さ（以下、「設計津波の水位」という。）を踏まえて海岸管理者が海岸堤防等の天端高を定めることとなる。さらに、海岸堤防等の構造を決めていくこととなる。

この際、設計津波の水位については、専門調査会の提言に基づく考え方を導入する必要がある。また、海岸堤防等の構造を決める際には、津波の越流に対して施設の効果が粘り強く発揮できる構造を具体的に検討し、可能なものについては採用していく必要がある。併せて、耐震対策においても、従来からの耐震対策を引き続き進めるとともに、比較的頻度の高い一定程度の津波を生じさせる地震を想定した照査及び必要な対策を実施していく必要がある。

本委員会では、これらの内容について検討を重ねてきた。本提言は、委員会における検討を踏まえ、大震災からの復興を目指す被災地における海岸堤防等の復旧が速やかに進むよう、必要な内容を取りまとめるものである。

2. 設計津波の水位の設定方法

2.1. 設計津波の水位の設定方法

専門調査会の提言では、海岸堤防等の設計に用いる設計津波の水位は、比較的頻度の高い一定程度の津波高を用いることとされており、今次津波による広域的で甚大な被害を踏まえると、海岸堤防の高さを決定するにあたっての統一的な考え方を国において示すことが求められる。すなわち、個別の海岸ごとではなく、同一の津波外力を設定しうると判断される一連の海岸線において、一定の安全水準を確保するための統一的な考え方を国において示す必要がある。これを受けて、海岸管理者において堤防等の天端高については適切に定める必要がある。

設計津波の水位は、沿岸域を「湾の形状や山付け等の自然条件」等から勘案して、一連のまとまりのある海岸線に分割したものである地域海岸ごとに、以下の手順に従って設定するとよい。

2.1.1. 過去に発生した津波の実績津波高さの整理

過去に発生した津波の実績津波高さは、各機関により実施された痕跡高調査並びに歴史記録及び文献等に津波による痕跡高の記録が残されているものを用い、以下の方法で整理することが望ましい。なお、過去の痕跡高の記録を整理する際には、できるだけ海岸線付近における記録を用いるべきである。また、津波が海岸堤防等の前面で反射するなどして重複波の形態を示すものについては、重複波として区分しておくべきである。

- ① 痕跡高調査については、土木学会海岸工学委員会における現地調査マニュアル等に基づき行われたものや、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる現地調査結果として登録してあるデータ等、信頼性を踏まえた津波高さをを用いるべきである。
- ② 歴史記録及び文献等の資料を使用する際は、中央防災会議等において過去に整理した津波高さや、「日本被害津波総覧」（渡辺偉夫、東京大学出版会、1985）等の公表資料、地方整備局、都道府県及び気象庁等の調査結果等公的な調査資料を用いるべきである。
- ③ 歴史記録及び文献等に地震発生の記録はあるが、津波による痕跡高の記録が無い場合は、津波堆積物等の調査結果から浸水範囲等を明らかにしたうえで、可能な範囲でシミュレーション等により津波高さを推定すべきである。

2.1.2. シミュレーションによる津波高さの算定

過去に発生した津波の実績津波高さについて、海岸線付近における痕跡高など、設計津波の水位を設定するための十分なデータが得られないときは、過去に発生した地震による津波高さのシミュレーションを行ってデータを補完すべきである。その際、中央防災会議等におけるシミュレーション結果が公表されているものについては、当該結果を活用するとよい。

なお、中央防災会議や地震調査研究推進本部等において、発生の可能性が高いとされた想定地震がある場合には、当該地震による津波高さのシミュレーションを用いて設計津波の水位を設定するためのデータとすることができる。

今後、中央防災会議等において検討が進み、過去に発生した地震の地震動推定における規模や対象範囲の見直し等が行われた場合（マグニチュードや連動型発生等の大きな地震）は、そのシミュレーションによる津波高さも必要に応じて検討に加え、適宜見直すべきである。

2.1.3. 設計津波の水位の設定

地域海岸ごとに、2.1.1 及び 2.1.2 により収集、整理した津波高さから、施設整備の費用、構造物の耐用年数などを考慮して、一定の頻度（数十年から百数十年に一度程度）で到達すると想定される津波の集合を選定し、これを対象に、隣接する海岸管理者間で十分調整を図ったうえで、設計津波の水位を設定すべきである。その際、重複波以外の津波高

さについては海岸堤防等によるせり上がりが含まれていないため、最新の計算手法等を用い、海岸堤防等の位置において、十分な高さの海岸堤防が設置されていると仮定し、津波が海岸堤防を乗り越えて堤内地側へ侵入しないことを計算条件として、海岸堤防によるせり上がりを考慮した津波高さをシミュレーションにより算定する必要がある。

2.2. 海岸堤防等の天端高

海岸堤防等の天端高は、設計津波の水位または高潮による水位を前提として定める必要がある。なお、その際には、海岸の機能の多様性への配慮、環境保全、周辺景観との調和、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等についても総合的に考慮すべきである。また、設計津波の水位の設定に当たっては、当該地域海岸に流入する河川についても整合的な津波対策が必要であるため、河川管理者と連携し、調整を図る必要があるほか、港湾及び漁港の利用者への配慮にも努める必要がある。

3. 海岸堤防等の粘り強い構造

3.1. 「粘り強い構造」の考え方

専門調査会の報告で示された「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」の考え方を受け、本提言においては、海岸堤防等の復旧等において選択肢となり得る構造上の工夫や弱点の補強方法を具体化する。

「粘り強い構造」の基本的な考え方は、設計対象の津波高を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合であっても、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、施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らすといった減災効果を目指した構造上の工夫を施すことである。なお、越流した場合においても破壊、倒壊しないことや、最大クラスの津波にも耐えることを目指した技術開発は着実に進めるべきである。

海岸堤防等の「粘り強い構造」により施設の効果が粘り強く発揮された場合には、浸水までの時間を遅らせることにより避難のためのリードタイムを長くすること等の効果、浸水量が減ることにより浸水面積や浸水深を低減し、浸水被害を軽減する効果、第2波以降の被害を軽減する効果等が期待される。さらに、施設が全壊に至らず、一部残存した場合には、迅速な復旧が可能となり二次災害のリスクが減る効果や、復旧費用を低減する効果が期待される。また、今次津波においては、堤防が残存した箇所では侵食が殆ど見られなかった事例も確認されており、海岸地形を保全する効果も期待される。

ここでは、今次津波の越流等による海岸堤防等の被災状況の分析等を踏まえた被災メカニズムの想定とこれによって弱点となることが明らかになった箇所をもとに、設計津波の水位を超え、海岸堤防等の天端を越流した場合に施設の効果を粘り強く発揮する上で有効と考えられる構造上の工夫等を整理する。これをもとに、海岸堤防等の復旧等において、用地や資機材の制約等の条件を勘案しつつ、復旧に要する費用、海岸の環境や景観、利用

に及ぼす影響を考慮して可能なものについて活用するとよい。

なお、既存の海岸堤防等については、これまでも一定の機能を発揮してきたものである。被災地以外においては、今後の更新の時期に合わせて、以下の整理を踏まえた改良等を検討するとよい。

なお、引き続き検討が必要な項目は、今後の課題として示す。

3.2. 津波越流による堤防破壊メカニズムの推定と構造上の工夫の方向性

以下に、天端保護工、表法被覆工、裏法被覆工、裏法尻部、波返工等の施設の部位ごとに津波による被災メカニズムと構造上の工夫を整理する。

なお、津波による被災過程においては、複数の被災形態が複合的に発生することも多いと考えられることから、特定の対策工法のみ限定せず、複数工法を組み合わせた強化を図るべきである。

3.2.1. 裏法尻部、裏法勾配

来襲した津波の水流が海岸堤防を越流した後、裏法を流下し流速が速くなった状態で裏法尻部の地面等に衝突することにより洗掘が起これ、これをきっかけに裏法被覆工等の損壊、流失を引き起こす被災形態が考えられる。（参考資料・図1参照）

このような被災形態に対しては、まず、裏法尻部に保護工を設置すること等により被覆し、洗掘を防止することが有効であると考えられる。さらに、裏法尻部の被覆に加え、裏法を緩勾配化することにより、水流を減勢させ、裏法尻部における衝撃を抑えることも洗掘防止効果を高めることが期待される。

なお、今次津波を受けた海岸堤防において、裏法尻部が被覆されており、裏法の勾配が緩い堤防においては、施設が完全に流失する全壊までは至りにくいという傾向が見られた。（参考資料・図4参照）

3.2.2. 天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工

津波の水流が海岸堤防等を越流する際、天端部、裏法部で高速になることにより、天端保護工、裏法被覆工が流失する被災形態や、堤体土が被覆工の隙間から吸い出される被災形態が想定される。（参考資料・図2参照）

引き波の越流においても天端部、表法部で高流速が発生することにより同様の被災形態が想定される。また、天端部に波返工がある場合には、波返工を乗り越え落下する水流が天端保護工に衝突し損傷を引き起こすことも考えられる。

このような被災形態に対しては、天端保護工や裏法被覆工、表法被覆工を厚くする工法、部材間を連結し剥離しにくくする工法等を採用することにより、重量や強度を確保することが有効と考えられる。

3.2.3. 波返工

波返工は、波やしぶきが堤内側に入り込むのを防ぐことを主な目的として設置されていることから、設計津波の水位を超える津波の波圧が作用することにより、波返工の陸側へ

の倒壊等を引き起こす被災形態が想定される（参考資料・図3参照）。また、引き波の波圧の作用による波返工の海側への倒壊も想定される。

このような被災形態に対し、海岸堤防の設計外力を高潮でなく津波とする場合は、波返工が倒壊しやすい構造であることを考慮して、天端まで盛土構造とすることも検討すべきである。波返工を採用する場合には、強い波圧への耐力を向上するために、配筋による補強を施すことが有効であると考えられる。

なお、今次津波を受けた海岸堤防等において、波返工に配筋されていた施設では、配筋のなかった施設に比べ、押し波による波返工の倒壊等が発生しにくいという傾向が見られた。（参考資料・図5参照）

4. 耐震対策に関する留意事項

4.1. 従来の耐震対策

阪神淡路大震災を受け、地震動に対する新たな耐震対策として、地震動レベルの考え方が導入された。海岸保全施設の耐震設計では、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）に対し構造の安全及び天端高の維持が必要とされている。また、背後地の重要度等に基づきより高い耐震性能が必要とされる海岸保全施設については、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）に対して生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとされている。

なお、液状化の影響を考慮し、必要な液状化対策又は構造断面の対応を実施するものとされている。

4.2. 海岸堤防等の防護対象となる規模の津波を生じさせる地震に対する耐震対策

今回、設計津波に関する新たな考え方の導入に伴い、海岸堤防等の防護対象となる規模の津波を生じさせる地震により、津波到達前に機能を損なわないよう耐震対策を実施する必要がある。当該地震が、レベル1地震動以下の強度の場合には、技術上の基準に従い、構造の安全及び天端高の維持が必要である。当該地震がレベル1地震動を超える強度の場合においても、生じる被害が軽微であり、かつ、地震後に来襲する津波に対して構造の安全及び天端高を維持することが必要である。

海岸堤防等の天端高は、地震発生の際、主に、地殻変動に伴う地盤沈下と、地盤の液状化による堤体の沈下の影響を受ける。このため、これらに対する耐震対策を実施することにより、地震後においても必要な天端高を維持しなければならない。

4.2.1. 地殻変動に伴う地盤沈下への対策

海岸堤防等の防護対象となる規模の津波を生じさせる地震の発生に伴う断層運動により、広域にわたって地殻変動に伴う地盤沈下が予測される場合には、当該地震の発生後に堤高

が不足しないように、海岸堤防等の天端高に、地盤沈下の予測量をあらかじめ加えておく必要がある。地震の断層運動による地盤の沈下量は、当該地震を再現する断層モデルにより算定される値を用いて設定するとよい。

4.2.2. 液状化による堤体の沈下への対策

海岸堤防等の防護対象となる規模の津波を生じさせる地震に伴い地盤の液状化が予測される場合には、必要な液状化対策を実施する必要がある。なお、液状化が生じる場合においても、設計津波に対する施設の構造の安全が確保される場合には、液状化による沈下の予測量をあらかじめ天端高さに加えておく対策も考えられる。

4.3. 東北地方太平洋沖地震による地盤の沈下

東北地方太平洋沖地震においては、断層運動による地殻変動等により広域にわたる地盤沈下が生じた。地盤沈下が生じた地域においては、津波や高潮に対する安全度が低下していることから、関係機関と排水対策の調整を進めるとともに、海岸堤防等の被災の有無にかかわらず、最低限、従前の高さまでの復旧を速やかに実施すべきである。

5. さらなる検討に向けて

本提言は、海岸堤防等の復旧が速やかに進むために必要な内容を取りまとめるものである。しかしながら、「3. 海岸堤防等の粘り強い構造」に述べた海岸堤防等の構造や被災のメカニズムの他にも、模型実験の実施等、今後検討を行うことによりさらなる知見が期待できるものもあるため、これらについて以下に示す。

5.1. 海岸堤防等に関する工法

以下の各項目は、「粘り強い構造」の方向性として可能性があると考えられるが、引き続き検討を行うことが期待されるものである。

5.1.1. 堤防断面の拡大

一部の区間であったとしても、堤防断面を拡大することにより、堤防を越流した場合でも残存する部分が多くなる、あるいは一定程度の時間は耐えるといった効果が期待できる。海岸保全施設単独で実施することだけでなく、盛土を伴う道路や海岸防災林など他事業と連携することにより断面の拡大を図ることも検討するとよい。

海岸堤防の天端幅を拡大する場合の効果の程度については、さらなる検討が期待される。また、この場合には、十分な締固め等、堤体盛土自体の耐力強化を併せて実施すべきである。

5.1.2. 陸側への盛土による比高の縮小

一部の区間であったとしても、海岸堤防の陸側へ盛土を行うことにより、比高を縮小することができる。これにより、越流水の水流を減勢することが考えられる。なお、裏法の緩勾配化や裏法尻保護工の設置等、同様に用地を必要とする工法と比較した場合の効果等について今後さらなる検証が必要である。

5.1.3. 表法尻部、表法勾配

津波が沖合から陸域方向へと進行する押し波により裏法尻部が被災する場合と同様、津波の水流が陸域から沖合方向へ戻っていく引き波が海岸堤防等を越流する場合においても表法尻部が洗掘されることをきっかけに表法被覆工等の損壊、流失を引き起こす被災形態が考えられる。

このような被災形態に対しては、まず、表法尻部に消波工を設置すること等により保護し、洗掘を防止することが考えられる。また、表法を緩勾配化することにより、水流を減勢させ、表法尻部における衝撃を抑えることも洗掘防止効果を高めることが期待される。

ただし、引き波は地形等の条件により、水流が集中しやすい限られた箇所や、押し波により既に施設が被災している箇所等から抜けていくことが多いと考えられるため、引き波の特性と合わせた対策工法の検討が期待される。

5.1.4. 天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工の揚圧力対策

堤体が津波の越流水の中で没水状態となった際に、堤体内の残留空気等により作用する天端被覆工等への揚圧力等による被災も考えられる。これに対しては、堤体内に空気が残留しにくくすること、天端被覆工等の厚さを増し十分な質量とすること等にも留意し、構造を決定するとよいと考えられるが、詳細なメカニズムや具体的な工法については、さらなる検討が待たれる。

5.1.5. 護岸背後の地盤

「3.2.1. 裏法尻部、裏法勾配」においては、海岸堤防の裏法尻部への保護工の設置等について述べた。一方、護岸についても、津波の水流による背後地盤の洗掘をきっかけとした被災が考えられる。このため、護岸の背後地盤の洗掘防止対策についても検討する必要がある。

5.2. 胸壁及び陸閘

ここまで、海岸堤防及び護岸に絞って議論を進めてきたが、その他に、胸壁、陸閘に関する今後の検討課題についても以下に述べる。

なお、胸壁や陸閘について「粘り強い構造」とするための補強ポイントを示すには至っていないが、災害復旧等を実施するにあたっては、以下の点について考慮するとよい。

5.2.1. 胸壁

胸壁は、海岸線に漁港や港湾等の施設が存在し、利用の面から海岸線付近に堤防、護岸

等を設置することが困難な場合において設置される海岸保全施設であり、一般的に水際線から控えて内陸部に設置されることが多い。そもそも漁港や港湾等は前面水域が防波堤で防護されている箇所が多く、航路や泊地を確保するため前面の水深が比較的深いため、今回の東日本大震災においても、海岸堤防や護岸と比較して、胸壁本体が倒壊に至った事例が極めて少ない。その原因も、単純に押し波や引き波による津波の衝撃による倒壊ではなく、胸壁前後の洗掘が見られていることから押し波や引き波で発生した胸壁前後の激しい流れによる基礎の洗掘が主要因と考えられる。

よって、胸壁に関する対策としては、胸壁を越流することにより胸壁背後に流れ落ちた速い流れによる洗掘及び吸い出しから基礎を保護することが重要である。

また、胸壁前後が舗装されていなかった箇所については、胸壁前後を舗装して、基礎地盤を地表に晒さない対策をとることが考えられるが、舗装された箇所の被害も少なからず見られることからさらなる対策の検討が必要である。

これらは基礎の洗掘防止対策として、用地や資機材にかかる費用等を勘案しつつ、実施されることが望ましい対策である。

上記のほか、胸壁においてフーチング形式を採用し、基礎が洗掘されても倒れにくい構造とすることや、胸壁背後の腹付として盛土を施すことなども考えられるが、これらについては、今後も模型実験等で引き続き新たな検証が必要となるものである。

一方、平面配置上、津波の集中しやすい角部となっている箇所で倒壊している事例もみられた。津波によって越流した海水等は、引き波により海に戻されるが、胸壁の構造が弱い箇所や、地盤高の低い箇所、防護ラインが途切れている箇所から集中的に排水されるため、排水対策が重要である。胸壁等の強度を保持しつつ、海水の排水をスムーズに行うことができるような技術開発については、引き続き検討を行うことが必要である。

5.2.2. 陸閘

陸閘は基礎が頑丈でありその枠組部分の被災は少ないが、扉体が壊れることが多い。また、扉体は堤体の海側に設置される構造となるため、押し波に対しては強いものの、引き波により被災することが多かったと見られる。陸閘の被災しやすさは、胸壁と同様に津波を受ける向きにより影響を受けるが、一方で利便性を優先した場合は津波を正面から受ける位置になることも多いと考えられる。設置に際しては、防災面と利用面の双方を考慮し、配置を決定すると良い。

なお、引き波による被災は、次の押し波が到来した場合に、津波による浸水から背後地を防護できなくなる一方、排水の役割を果たすものでもあるため、双方の影響や効果を検討する必要がある。

6. おわりに

本提言は、被災地における海岸堤防等の復旧を速やかに進める上で必要な内容を取りまとめたものである。従って、被災地の海岸管理者においては、本提言を参考とし、周辺環

境、生態系、景観*、利用などにも配慮して速やかな災害復旧に努めるとともに、国は、引き続き技術的支援を継続すべきである。

また、被災メカニズムや構造に関する新たな知見が得られるよう実験等を含む検討を引き続き進め、さらなる海岸堤防等の改善に努めていくべきであり、今後、海岸保全基本方針や海岸保全施設の技術上の基準等の改訂も視野に入れつつ検討する必要がある。

今回の提言では、海岸保全の第一線となる海岸堤防を重点的に議論したが、さらに、最大クラスの津波に対する減災対策、水門や陸閘などの自動化・遠隔操作化、ハザードマップの整備など、総合的な津波対策について、今回の津波被害を踏まえて多方面にわたる検討が必要である。

今回の東日本大震災は、従来の海岸事業に様々な課題を与えることとなった。今後、幅広い観点から大震災の検証を進めることにより、海岸事業における技術開発が進められていくことを期待する。

* 東日本大震災により被災した海岸堤防等の復旧における景観への配慮に関する参考資料として、国土交通省水管理・国土保全局から平成23年11月11日付で公表された「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き」がある。

(別添)

海岸における津波対策検討委員会 委員名簿

(委員)

磯部	雅彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
今村	文彦	東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター 教授
佐藤	慎司	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授
高橋	智幸	関西大学社会安全学部 教授
中野	晋	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授
平石	哲也	京都大学防災研究所 教授
藤間	功司	防衛大学校システム工学群建設環境工学科 教授

(行政関係者)

東大野	潤一	岩手県農林水産部長
若林	治男	岩手県県土整備部長
千葉	宇京	宮城県農林水産部長
橋本	潔	宮城県土木部長
鈴木	義仁	福島県農林水産部長
原	利弘	福島県土木部長
堀畑	正純	農林水産省東北農政局整備部長
田上	澄雄	国土交通省東北地方整備局河川部長
津田	修一	国土交通省東北地方整備局港湾空港部長
丹治	肇	(独) 農研機構農村工学研究所水利工学研究領域上席研究員
中山	哲巖	(独) 水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部長
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
高橋	重雄	(独) 港湾空港技術研究所 理事長

(事務局)

小林	浩史	農林水産省農村振興局整備部防災課長
本田	直久	水産庁漁港漁場整備部防災漁村課長
五十嵐	崇博	国土交通省水管理・国土保全局海岸室長
丸山	隆英	国土交通省港湾局海岸・防災課長

(参考資料)

図1. 裏法尻部の洗掘をきっかけとする被災 (イメージ)

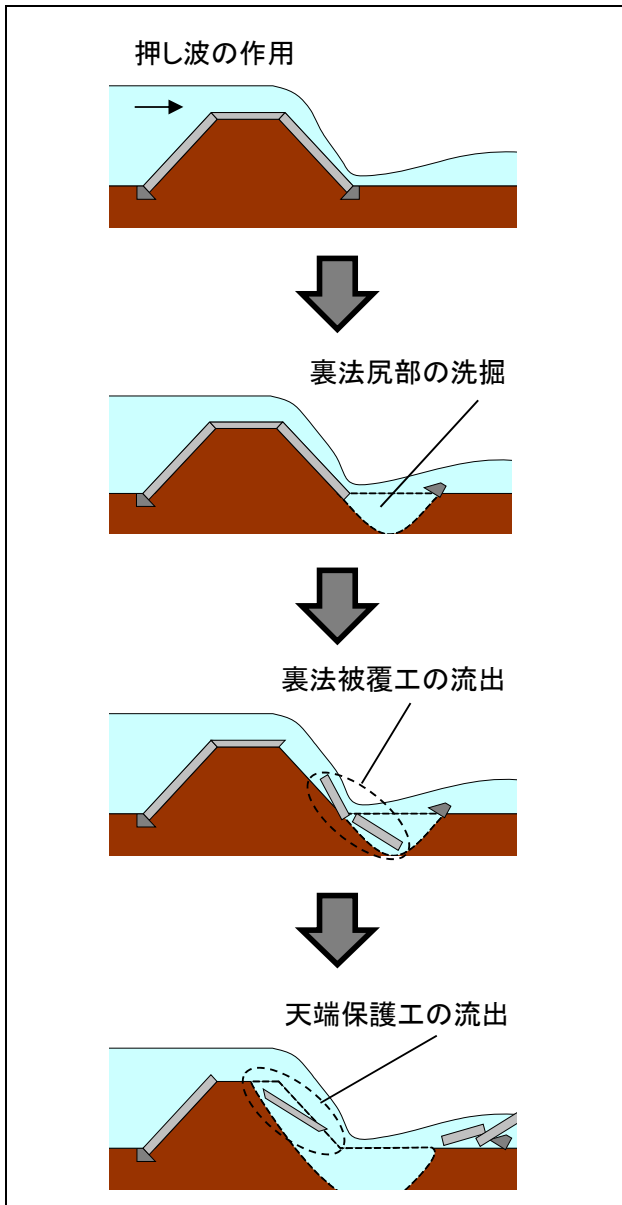


図2. 天端保護工、裏法被覆工等の流失をきっかけとする被災 (イメージ)

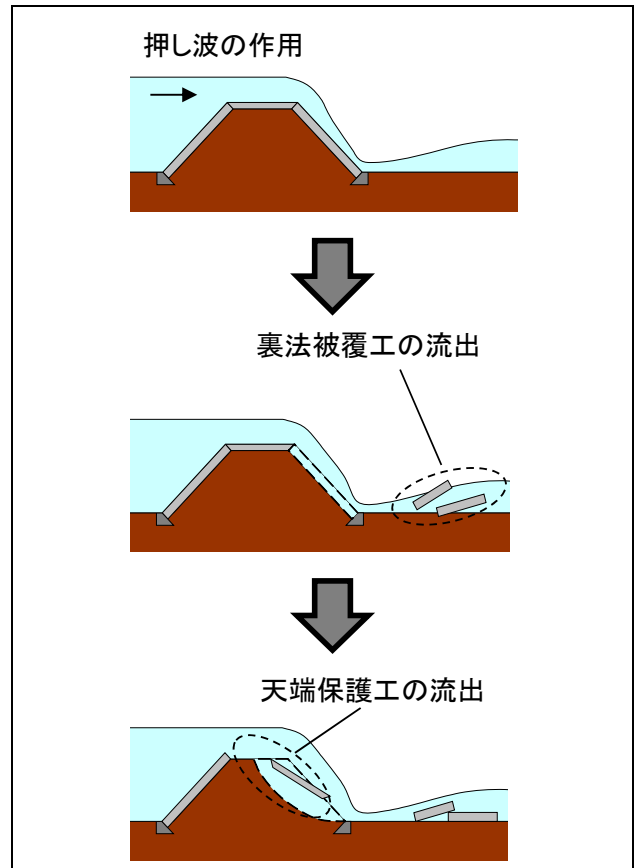


図3. 波返工の倒壊 (イメージ)

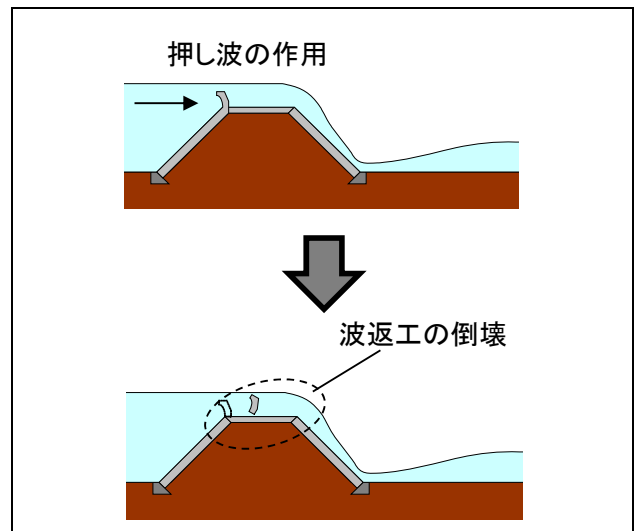
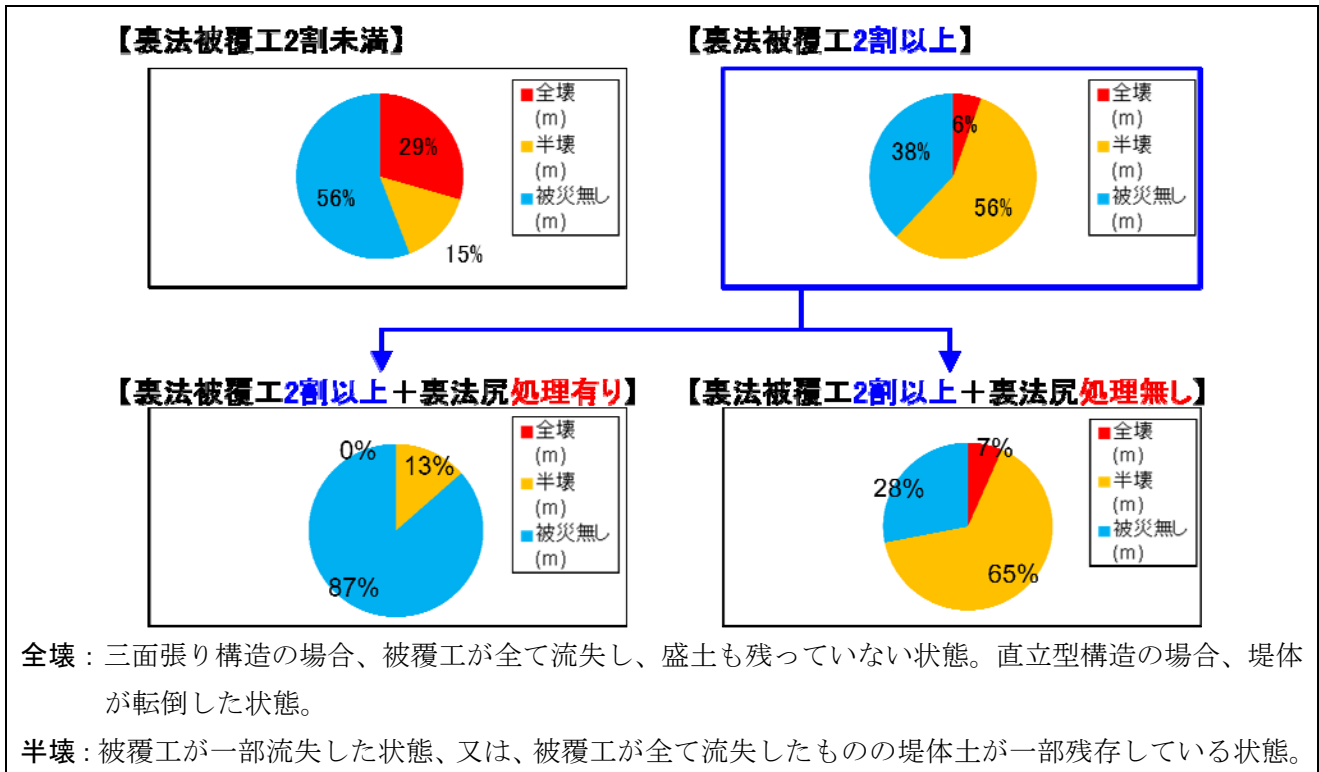


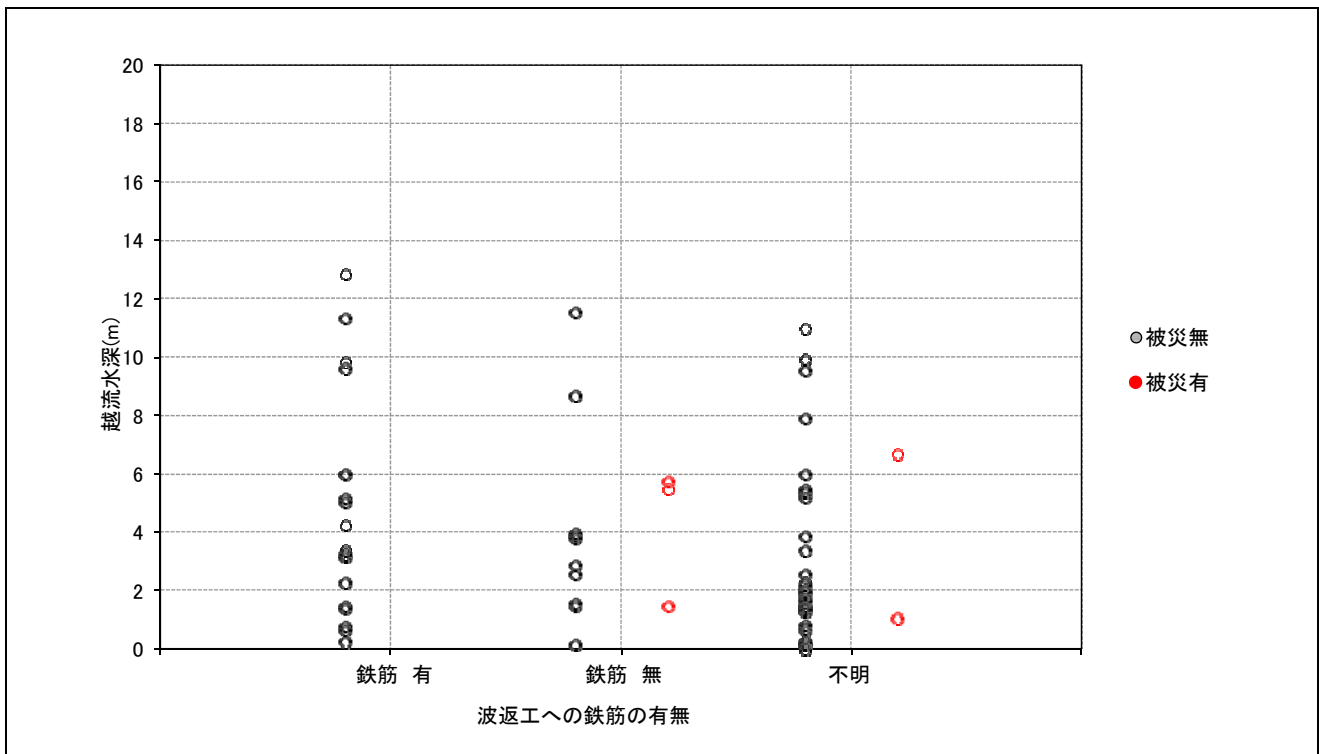
図4. 裏法勾配及び裏法尻被覆の有無による全壊に至った海岸堤防の延長の違い



【出典】平成23年9月、農林水産省・国土交通省調べ

(青森県から千葉県の太平洋沿岸地域における今次津波による海岸保全施設の被災状況を、海岸管理者の協力のもと調査)

図5. 波返工への配筋の有無による被災箇所数の違い



【出典】平成23年9月、農林水産省・国土交通省調べ (図4と同様)