2017年度(第53回)水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-B-6

海岸防災のための海岸堤防の維持管理

国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室長

加藤史訓

土木学会 水工学委員会・海岸工学委員会 2017 年 8 月

海岸防災のための海岸堤防の維持管理

Maintenance of Coastal Dike for Coastal Disaster Prevention

加藤史訓 Fuminori KATO

1. はじめに

わが国の海岸は、その背後地に人口、資産、社会資本等が集積するとともに、台風や低気圧による高潮や高波、地震による津波、沿岸での土砂収支の不均衡による侵食にさらされてきた。そのような脅威に対し、海岸法に基づく海岸事業 (海岸保全施設の設置など)、津波防災地域づくりに関する法律に基づく津波ハザードマップの作成や避難施設の確保など、水防法に基づく高潮ハザードマップの作成など、さまざまなハード対策およびソフト対策が実施されている。

海岸堤防は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波および波浪から防護することや、陸域の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。2011年3月の東日本大震災などの近年の海岸災害においても、海岸堤防は設計対象の高潮や津波に対して所要の機能を発揮してきた。一方、老朽化した施設が急増している中で海岸法が2014年に改正され、海岸の防護に支障を及ぼさないように、海岸堤防を良好な状態に保つように維持、修繕することを求める規定が追加された。

水工学に関する夏期研修会の過去の講義集においても、海岸防災や海岸堤防の維持管理について論じられてきた. 首藤(2016)は、近代以前から東日本大震災までの高潮・津波対策の変遷を整理し、防潮堤がその効果を発揮するまでその機能や強度を維持する必要があることを指摘している. 青木(2013)は、沿岸域の防災減災対策を科学技術や社会技術を総合化した技術として捉えるべきであると指摘している. また、横田(2015)は、海岸構造物の維持管理上の特徴をふまえ、そのライフサイクルマネジメントを構成する技術について紹介している.

本稿では、東日本大震災以降の基準改訂等も考慮して、海岸防災における海岸保全施設の役割をふまえ、海岸堤防の機能、現状、被災機構を整理した上で、海岸堤防の維持管理のあり方について論じる。なお、海岸堤防とは**図** -1 のように原地盤を嵩上げして建設される構造物を指し、コンクリート直立型の構造も含むものである。

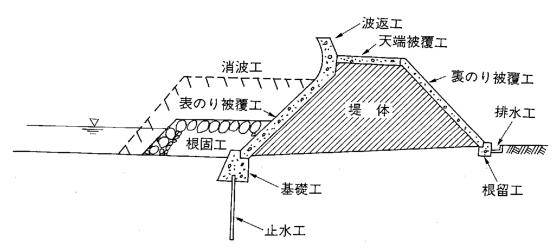


図-1 海岸堤防の各部分の名称(海岸保全施設技術研究会編, 2004)

2. 海岸防災の変遷と海岸保全施設の役割

海岸防災は津波と高潮(高波を含む)を対象とするが、これまで両者を分けて対策が考えられてきた.本章では、 海岸防災のさまざまな対策の位置づけの変遷をふまえて、海岸防災における海岸保全施設の役割を整理する.

2. 1 津波に対する海岸防災の変遷

2. 1. 1 地域防災計画における津波対策強化の手引き

1998 年に関係省庁が策定した「地域防災計画における津波対策強化の手引き」は、津波防災施設、津波防災の観点からのまちづくり、防災体制の3分野の対策を有機的に組み合わせた総合的な津波防災対策を講じるとした初めての指針である。この中では、対象津波は当該沿岸地域の既往最大の津波を基本とするものの、津波を伴う地震の発生の可能性が指摘されている地域では、現在の知見により想定し得る最大規模の地震津波を検討し、既往最大津波との比較検討を行った上で、沿岸津波水位の大きい方を対象津波として設定することとされていた。

津波防災施設は陸域への津波の侵入を防止することを目的とした施設を指し、防潮堤(海岸堤防)、津波防波堤、 津波水門、河川堤防、防潮林、防浪ビルが例示されている。また、津波防災施設の整備水準はまちづくりや防災体 制と組み合わせて総合的に検討し、必ずしも対象津波に対応する水準をとるとは限らないとされている。このほ か、防災施設の耐震化・耐浪化に充分に配慮すること、老朽化によって機能を損なわないように竣工後の維持・管 理を充分に行うことなどが定められている。

津波防災の観点からのまちづくりでは、津波に強い土地利用の推進と臨海部の土地利用特性に応じた施設等の安全性向上が謳われている。津波に強い土地利用の推進については、安全な地区への土地利用の誘導、「防浪地区」および「緩衝地区」の考え方の導入、防災上必要な防潮林・旧堤の保全が指摘されている。臨海部の土地利用特性に応じた施設等の安全性向上については、建築物の耐浪化、危険物対策、ライフライン機能等の安全性向上が挙げられている。

防災体制については,防災組織の整備,予報等の伝達や情報通信体制,避難,防災知識の普及,津波防災訓練, 応急体制などが規定されている.

2. 1. 2 社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会の緊急提言

東日本大震災における甚大な津波災害を受けて、社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会は、2011年7月に津波防災まちづくりの考え方について緊急提言を行った。その概要は以下の通りである。

- ・津波災害に対しては、今回のような大規模な津波災害が発生した場合でも、なんとしても人命を守るという考え 方に基づき、ハード・ソフト施策の適切な組み合わせにより、減災(人命を守りつつ、被害を出来る限り軽減する) のための対策を実施する.
- ・このうち、海岸保全施設等の構造物による防災対策については、社会経済的な観点を十分に考慮し、比較的頻度 の高い一定程度の津波レベルを想定して、人命・財産や種々の産業・経済活動を守り、国土を保全することを目標 とする.
- ・以下のような新たな発想による津波防災まちづくりのための施策を計画的、総合的に推進する仕組みを構築する.
- 1)地域ごとの特性を踏まえ、ハード・ソフトの施策を柔軟に組み合わせ、総動員させる「多重防御」の発想による津波防災・減災対策。
- 2) 従来の、海岸保全施設等の「線」による防御から、「面」の発想により、河川、道路や、土地利用規制等を組み合わせたまちづくりの中での津波防災・減災対策.
- 3) 避難が迅速かつ安全に行われるための、実効性のある対策.
- 4) 地域住民の生活基盤となっている産業や都市機能,コミュニティ・商店街,さらには歴史・文化・伝統などを生かしつつ,津波のリスクと共存することで,地域の再生・活性化を目指す.

これらの提言は、「津波防災地域づくりに関する法律」等に反映された、津波防災地域づくりとその中で都道府県が設定する津波浸水想定については、諏訪(2016b)や国土交通省ほか(2012)が詳しい。

2. 1. 3 「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」の報告

中央防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」は、今後の地震・津波対策の方向性を示す報告を 2011 年 9 月に行った。その要点は以下の通りである。

- ・今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に二つのレベルの津波を想定する必要がある。一つは、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定する津波である。もう一つは、防波堤など構造物によって津波の内陸への浸入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波である。
- ・住民等の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要である。また、様々な手段が総合化・一体化されて津波対策として効果を発揮するためには、地域防災計画、都市計画などの関連する各種計画の有機的な連関が確保される仕組みの確立が必要である。
- ・海岸保全施設等については、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必要である.

2. 1. 4 「海岸における津波対策検討委員会」の提言

海岸省庁が設置した「海岸における津波対策検討委員会」は、2011 年 11 月に「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」をとりまとめた。その要点は以下の通りで ある。

- ・海岸保全施設の設計に用いる設計津波の水位は、地域海岸ごとに、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、隣接する海岸管理者間で十分調整を図ったうえで設定する.
- ・「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.
- ・津波越流による裏法尻部の洗掘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に対しては,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.
- ・高速流により、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に対しては、被 覆工を厚くする工法や、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.
- ・津波の波圧により波返工が倒壊する被災形態に対し、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。
- ・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.

2. 2 高潮に対する海岸防災の変遷

2. 2. 1 地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル

1999 年の台風第 18 号による八代海沿岸等での高潮災害を受けて、2001 年に関係省庁が策定した「地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル」では、高潮防災施設の整備、高潮防災の観点からの地域づくり、警戒・避難を中心とする防災体制の強化の3つの観点から防災対策を講じることとされている。この中では、既往最大の潮位偏差と、想定される最大規模の台風により起こされる潮位偏差を比較し、より大きい方を対象高潮の潮位偏差として用いることとされている。

高潮防災施設は高潮の陸域への侵入を阻止する事を目的とするもので、堤防・護岸・胸壁、高潮防波堤、離岸堤、砂浜、水門、河川堤防等が挙げられている。また、津波対策強化の手引きと同様に、まちづくりおよび防災体制と組み合わせた総合的な対策の一環として整備水準を定めること、高潮・波浪により破壊されないように充分に配慮すること、竣工後の維持・管理を充分に行うこととされている。

高潮防災の観点からの地域づくりや防災体制については、津波対策強化の手引きと同様の項目が挙げられている。このほか、高潮ハザードマップの作成や住民への普及について記載されている。

この手引きを受ける形で「津波・高潮ハザードマップマニュアル」が2004年に策定された.

2. 2. 2 ゼロメートル地帯の高潮対策検討会

2005 年のハリケーンカトリーナによる米国での高潮災害を受けて国土交通省が設置した「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」は、2006 年に提言をまとめている。その概要は以下の通りである。

- ・これまでの高潮計画に沿って浸水を防止するための万全の対策として、高潮防護施設の着実な整備及び信頼性の確保、平時の管理体制の強化を図る.
- ・大規模浸水を想定した被害最小化対策として、二線堤等による浸入水の制御や速やかな排水による浸水区域の最小化、浸水時でも被害に遭いにくい住まい方への転換、迅速かつ確実な避難・救援の実現、迅速な救援・復旧・復興を考慮した施設機能の維持等を図る.

2. 2. 3 高波災害対策検討委員会

2008年2月の富山湾沿岸の高波災害を受けて国土交通省が設置した「高波災害対策検討委員会」は、同年8月に今後の対策の基本的方向をとりまとめている。その概要は、以下の通りである。

- ・被災した下新川海岸では、下新川海岸の計画波高、周期を見直しつつ、今回被災した箇所等においては、嵩上げなど堤防の改築、排水関連施設の改良、沖合消波施設の新設など、即効性のある対策に取り組む。また、海岸侵食・越波対策として人家連担地区の前面における沖合施設等の整備とともに、海岸への土砂供給の増大により海岸侵食を緩和するため、流域の源頭部から海岸までの一貫した総合的土砂管理を推進する。さらに、定期的かつ高波浪来襲後に、巡視、点検や空洞化調査等の堤体調査を行い、その結果を的確に公表し、高波災害に対する住民意識の風化防止や維持管理の重要性に対する理解促進に努める。
- ・国の直轄海岸など国民経済上重大な損害を生ずるおそれがある海岸においては、国土交通大臣による水防警報海岸の指定に新たに着手するとともに、都道府県知事による水防警報海岸の指定拡大を推進する.
- ・地域の実情を踏まえ、必要に応じて高波による浸水を想定したハザードマップの作成、公表や避難訓練の実施を支援する。また、過去の被災の経験が地域の人々の間で継承されていなかったことを踏まえ、地域における海岸災害体験の継承、海岸の防災知識の蓄積・普及に必要な分かりやすい教材等を作成し、高波など海岸災害への意識向上を図る。

2. 2. 4 新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会

2014年10月に国土交通省が設置した「新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会」は、2015年1月に「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」をとりまとめている。その中では、津波対策と同様に、洪水、高潮についても最大規模の外力を想定し、ソフト対策に重点をおいて対応するという考え方が示され、最大クラスの洪水・内水・高潮等に関する浸水想定及びハザードマップを作成し、公表する必要があるとされている。また、災害リスクを踏まえた住まい方への転換も謳われている。

これを受けて、2015 年 5 月に水防法が改正され、想定し得る最大規模の高潮により浸水が想定される区域を高潮浸水想定区域として都道府県知事が指定し、関係市町村長が高潮ハザードマップの作成及び配布等を講じるものとされた。高潮浸水想定の設定方法については、関係省庁による手引きが策定された(農林水産省ほか、2015)。

2. 3 海岸防災における海岸保全施設の役割

前節で述べたように、海岸防災は、津波、高潮とも、さまざまなハード対策およびソフト対策を含んでいる.以下では、代表的なハード対策である海岸堤防を中心とした海岸保全施設に絞って、海岸防災における役割を整理する.

2. 3. 1 設計値以下の外力に対する海岸保全施設の役割

次章で述べるように、海岸保全施設は設計対象の潮位、波浪、津波に対して所定の機能を有していなければならない。海岸堤防については、高潮に対しては離岸堤や砂浜などの面的防護の効果を考慮して波の実質部分の侵入を阻止する高さを、津波に対しては越流しない高さを確保することで、海水の侵入を防止する機能を確保できる。また、海岸保全施設の巡視や点検により損傷等があることが把握しされた時には、適切な維持又は修繕が図られるよう必要な措置を講じられなければならない。以上のような設計と維持管理により、設計値以下の外力に対して海岸保全施設は背後地の被害を防止する効果が期待される。

実際,東日本大震災の際に津波が堤防を越えなかった岩手県普代村太田名部海岸などでは,背後地の家屋には被害が生じなかった.

2. 3. 2 設計値を上回る外力に対する海岸保全施設の役割

最大クラスの津波および高潮に対してはソフト対策を中心に対応することとされているが、海岸保全施設の役割は皆無ではない。海岸堤防等の海岸保全施設は、潮位等の外力が設計値を超えるまでは背後地の被害を確実に防止し、外力が設計値を超えても「粘り強い構造」により即時の破壊を免れることで、海水の侵入防止や越波の減少などの機能が一定時間維持され、その結果として背後地の浸水被害を軽減する効果が期待される。

たとえば、田島ら (2013) は、福島県勿来海岸および宮城県仙南地域を対象に海岸堤防の減災効果の検証を行い、 津波に対して一定の高さを有する海岸堤防があることで浸水域が減少することを明らかにしている。また、渡辺ら (2015) は、仙台湾南部海岸を対象に津波浸水計算を行い、堤防の破堤遅れ時間や残存率によって浸水域が変わる ことを示している。堤防の破壊遅れに寄与する「粘り強い構造」に関しては、加藤ら (2014) が、三面張り海岸堤 防の代表的な被災機構に着目し、津波越流に対して粘り強く減災効果を発揮するための裏法尻の基礎工や裏法被 覆工等の工夫を提案している。その結果は仙台湾南部海岸での堤防復旧に反映されている。

ただし、海岸保全施設の安全性は設計対象の外力に対して確保されることから、設計値を上回る外力に対して海 岸保全施設が壊れないことを保証できない.このため、最大クラスの外力に対する津波浸水想定や高潮浸水想定で は、海岸堤防等は外力が設計値に達した時点で破壊される条件で浸水計算が行われている.

3. 海岸堤防の機能、現状、被災機構

本章では、技術基準に定められた海岸堤防の機能や設置状況、近年の被災実態等とともに、その代表的な被災機構を説明する.

3. 1 海岸堤防の機能

2015 年に改正された海岸省庁関係局長等通知「海岸保全施設の技術上の基準について」では、海岸堤防の機能は以下のように定められている.

堤防は、設計高潮位の海水若しくは設計波又は設計津波の作用に対して、高潮若しくは津波による海水の侵入 を防止する機能、波浪による越波を減少させる機能、若しくは海水による侵食を防止する機能のいずれかの機 能又は全ての機能を有するものとする.

これらの機能に加え,当該堤防の背後地の状況等を考慮して,設計高潮位を超える潮位の海水若しくは設計波 を超える波浪又は設計津波を超える津波の作用に対して,当該堤防の損傷等を軽減する機能を有するものとす る. 「高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能」,「波浪による越波を減少させる機能」,「海水による侵食を防止する機能」は改訂前から定められていたものであり,設計高潮位,設計波,設計津波を対象としている.一方,「当該堤防の損傷等を軽減する機能」は、新たに追加されたものであり,設計高潮位を超える潮位,設計波を超える波浪,設計津波を超える津波を対象としている.

また、堤防の所要性能(目的達成性能および安全性能)は、以下のように定められている。

堤防は、所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとする。また、堤防は、設計高潮位以下の潮位の海水、設計波、設計津波、設計の対象とする地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする。 さらに、設計高潮位を超える潮位の海水及び設計波を超える波浪並びに設計津波を超える津波の作用に対して、背後地の状況等を考慮して、当該堤防の損傷等を軽減する構造とするものとする。

堤防の設置目的を達成するための性能は、原則として天端高、表法勾配、天端幅、裏法勾配、根固工の型式、幅及び厚さ、樹林の樹種並びに盛土の幅及び厚さの組合せにより評価するものとする.

性能の照査に当たっては、当該海岸における設計潮位、設計波、設計津波等を適切に設定し、波のうちあげ高若しくは越波流量又は設計津波の水位(堤防によるせり上がりを考慮した津波高さ)が所定の値(うちあげ高にあっては天端高、越波流量にあっては許容越波流量、設計津波の水位にあっては地震後の天端高)を上回らないことを確認するものとする.

また、当該堤防における設計高潮位を超える潮位の海水若しくは設計波を超える波浪又は設計津波を超える 津波の作用に対する所定の性能の照査に当たっては、堤防の損傷等を軽減する機能を有していることを確認す るものとする.

照査手法は、信頼性のある適切な手法を用いるものとする.

堤防は、波力、地震力、土圧等の作用に対して安全な構造とするものとするとともに透水をできるだけ抑制し得るものとする。安全性能の照査では、信頼性のある適切な手法を用いるものとする。

ただし、構造の細目については実績のある適切な例を参考にして設定することができるものとする.

「高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能」および「波浪による越波を減少させる機能」を発揮するには、設計潮位および設計波のもとでのうちあげ高等や設計津波の水位が所定の値を上回らないように、天端高、表法勾配、天端幅、裏法勾配を適切に設定する必要がある。その際、うちあげ高であれば天端高を、越波流量であれば許容越波流量を、設計津波の水位であれば地震後の天端高を上回らないことを確認するものである。このため、特に天端高は堤防の機能と密接に関係している。

また、「当該堤防の損傷等を軽減する構造」は「海岸における津波対策検討委員会」が提言した「粘り強い構造」に対応するものである.

天端高の確保は、構造の安全にも関わる。台形断面の盛土の三面を被覆した堤防(いわゆる三面張り堤防)の場合、実績のある適切な例を参考にして構造細目の諸元を決定されるため、堤体の安全性が問題になることは少ない。うちあげ高は規則波による実験の結果に基づいた式で算定されることが多く、その算定結果を用いて天端高が設定された堤防は設計波であっても越波が生じる。一方、合田(1970)が示した許容越波流量は、伊勢湾台風時の被災事例から設定したものである。これらはいずれも力学的に構造の安全を照査した結果ではないため、その構造の安全は天端高が低下すると確保されない恐れがある。

以上のように、海岸堤防が所定の機能を発揮する上で必要な天端高を確保することが重要であることから、維持管理においては特に天端高の変化に注意する必要がある。また、海岸堤防の機能は設計対象の外力に対して安全な構造でなければ発揮できないので、維持管理においては構造にも留意する必要がある。

3.2 海岸堤防の現状

図-2 は、海岸統計に示されている全国の海岸保全施設の各施設の延長を時系列で示したものである。海岸堤防の延長は、1960年時点では約1,700kmであるが、1972年以降においては約3,000kmでほぼ横ばいになっている。 堤防の整備が進められた大規模な事業を例示すると、1959年の伊勢湾台風の災害後に実施された伊勢湾等高潮対策事業は1964年に、1960年のチリ地震津波の災害後の津波対策事業は1967年に完成している。海岸堤防の延長の変化はこれらの事業の進捗が反映されたものである。

図-3 は、全国の海岸堤防について、築後 50 年以上、築後 50 年未満、築年数不明の割合を示したものである。 築後 50 年以上の施設は 2010 年時点では 7%であるが、2020 年には 22%、2030 年には 37%と急増することが予想 されている。また、築年数不明の施設が全体の 1/3 を占めており、海岸堤防の老朽化が上記の予想より速く進行す る恐れがある。

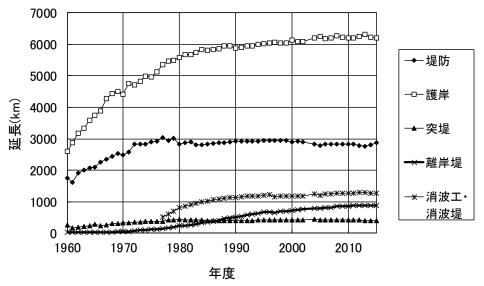
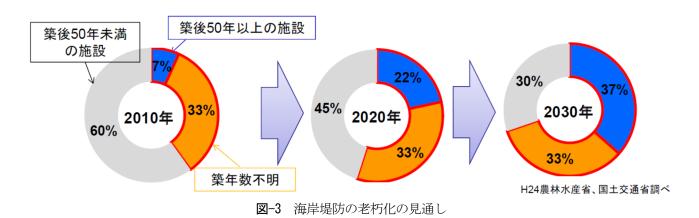


図-2 海岸保全施設の延長の変化



3.3 海岸堤防の被災実態

近年の海岸堤防等の被災事例を紹介し、その事例から維持管理において留意すべき点を整理する.

3. 3. 1 海岸堤防・護岸の被災実態に関する全国調査

水管理・国土保全局所管海岸における 1999~2009 年の海岸堤防・護岸の被災事例(堤防 56 事例,護岸 265 事例)の整理結果(加藤ら, 2011)を紹介する.

(1) 被災した海岸の状況

図-4 に、被災した海岸堤防・護岸前面の海岸地形をタイプ別に分類した結果を示す。これによると、被災した ほとんどの海岸堤防・護岸は長い直線状の海岸であり 224 件が該当した。ついでポケットビーチでの被災が多く、36 件の事例があった。

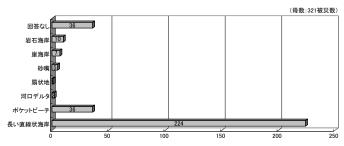


図-4 海岸地形別の被災箇所数

図-5 は、海岸堤防・護岸が被災した海岸における長期的な汀線の変化傾向を集計した結果を示している.これによると、全体の約60%にあたる192件で汀線は後退傾向にあったが、一方、48件(15%)は長期的に汀線が安定傾向であるにも関わらず被災している.

図-6 は、最近(5~10 年間程度)の汀線の変化傾向について、図-5 と同様に整理したものである。長期的な汀線変化とほぼ同様の傾向であり、全体の約 60%にあたる 193 件で汀線は後退傾向にあり、66 件(21%)は最近の汀線は安定傾向であった。一方、2 件は最近(5~10 年間程度)の汀線は前進傾向にあったが、海岸堤防・護岸は被災している。

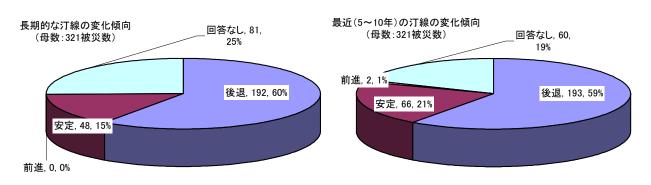


図-5 長期的な汀線の変化傾向

図-6 最近(5~10年)の汀線の変化傾向

図-7 は、被災した海岸堤防・護岸前面の砂浜幅を整理したものである。これによると、砂浜幅が 1m 以下の海岸で被災事例が最も多く、全体の約3割の被災事例を占めていた。また、砂浜幅が10~30mでも多くの被災事例が確認されるが、砂浜幅が50mよりも長くなると、著しく被災数が減少する。なお、10m以上の砂浜幅を有する海岸では被災事例が極めて少ないという報告(大河原ら、1983)があるが、この調査では砂浜幅が10m以上の場合であっても多くの被災事例が報告されていた。

図-8 は、被災した海岸堤防・護岸が設置された場所での前浜勾配を整理したものである。これによると、前浜 勾配が 1/40~1/50 程度の場合で最も被災事例が多く、次いで 1/10 以下、1/50~1/100、1/20~1/30、1/10~1/20 の順であった。一般に前浜勾配が急なほど砕波帯が岸側となり、波のエネルギーが減衰しにくいまま来襲した波浪が海岸堤防・護岸に到達するため、被災の可能性が高くなることが想像される。しかし、この調査結果では、前浜 勾配が 1/50 程度と緩くても多くの被災事例が報告されており、前浜勾配と被災事例の間に明瞭な関係を見られない。

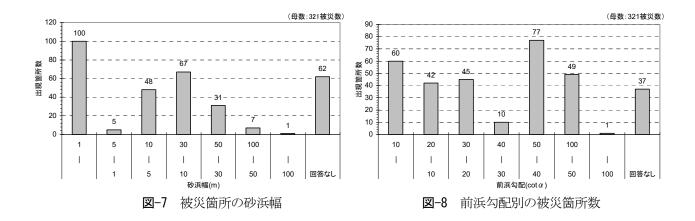


図-9 は、被災した海岸堤防・護岸が設置された場所での被災時の最大侵食量(汀線後退幅)を整理したものである。これによると、最大侵食量が10m未満の場合に77件が報告されており、最大侵食量が10m以上の各区分では約20件程度が報告されている。しかし、最大侵食量が把握されていない事例が多く、被災時の最大侵食量と被災事例との間にも明瞭な関係を見出すことができなかった。

図-10 は、被災した海岸堤防・護岸が設置された場所での最近の汀線変化量を整理したものである。汀線変化量は $0.5 \sim 1 \text{m}/\text{年}$ が最も多く報告されており、侵食傾向の海岸での被災が多い傾向が認められる。

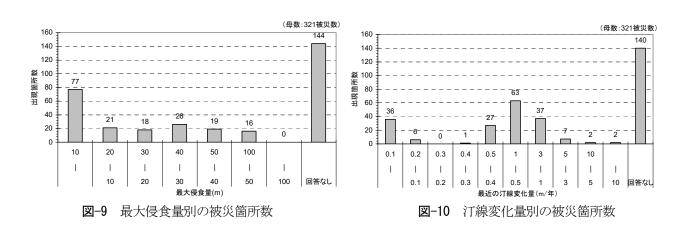


図-11 は、被災した海岸堤防・護岸の設置位置での底質区分を集計したものである。「美しい海辺を守る災害復旧ガイドライン(案)」(社団法人全国防災協会、2001)の海岸災害実態調査表では、記入者が「砂・礫・岩」の中から該当するものを選択するが、その妥当性を被験者により回答された「汀線付近の中央粒径」に基づいて精査した。被災事例が最も多かったのは、砂地盤に設置された海岸堤防・護岸であり、全体の約8割の259件の被災があった。礫や岩はそれぞれ17件および18件であり、全体の5%程度であった。

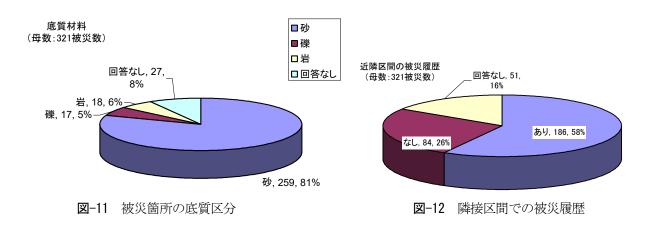


図-12 は、被災した海岸堤防・護岸の隣接区間での被災履歴を整理した結果を示す.これによると、約6割はこれまでに隣接区間で被災を受けている.

図-13 は、海岸堤防・護岸の海側に設置された沖合消波施設および前面消波施設の内訳を整理したものである. ここで、沖合消波施設は離岸堤や人工リーフを、前面消波施設とは消波工や消波堤のことを示している.また、沖合・前面施設の複合は、海岸堤防・護岸の海側に消波工もしくは消波堤が設置されており、さらに沖合に離岸堤もしくは人工リーフが設置されていた状況である.これによると、沖合消波施設・前面消波施設が設置されていたが、海岸堤防・護岸が被災したのは107件で、そのうち91件は前面消波施設のみであった.一方、沖合消波施設のみを設置していたのは107件のうち15件であり、沖合消波施設および前面消波施設の両方を設置していた場合に被災したのは1被災だけであった.

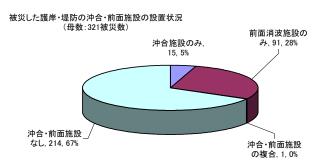


図-13 沖合・前面消波施設の設置状況

(2) 被災した堤防・護岸の形式

図-14 は、被災した海岸堤防・護岸を表法面の勾配により区分したものである。直立堤防・護岸は法面勾配が垂直から1割未満までのもの、傾斜堤防・護岸は法面勾配が1割から3割未満までのもの、緩傾斜堤防・護岸は3割以上のものとして区分した。最も被災事例が多かったのは緩傾斜堤防・護岸であり、全体の約半数に当たる171件であった。ついで、直立堤防・護岸が89件であり、傾斜堤防・護岸が59件であった。このことから、緩傾斜堤防・護岸の被災事例が圧倒的に多いことが明らかとなった。

図-15 は、被災した海岸堤防・護岸をその構造形式により分類したものである。被災事例が最も多かったのはコンクリートブロック式の 159 件であり、全体の約半分を占めていた。次いで、扶壁式が 112 件、重力式が 21 件、コンクリート被覆式が 15 件であった。コンクリートブロック式とコンクリート被覆式は緩傾斜堤防・護岸に多く採用されている構造形式であり、被災の多かった緩傾斜堤防・護岸の中でも、特にコンクリートブロック式の被災が顕著であることが明らかとなった。

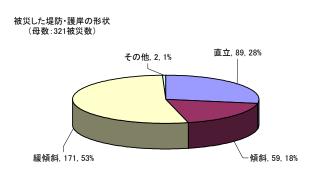


図-14 被災した堤防・護岸の形状

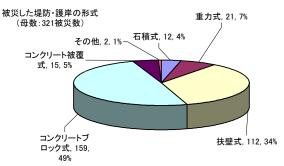
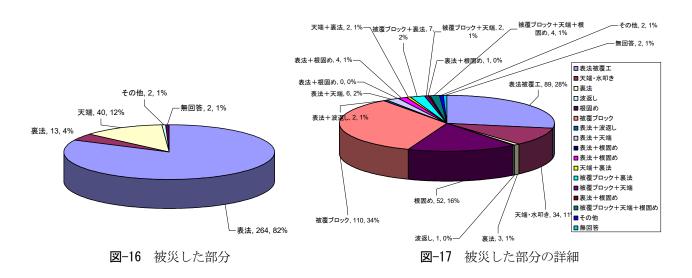


図-15 被災した堤防・護岸の構造

(3) 被災した部分

図-16 および図-17 は、海岸堤防・護岸の被災部分を示している。図-16 は海岸堤防・護岸の表法面、裏法面および堤防天端について区分し集計した結果であり、図-17 はそれらをさらに細かく整理したものである。

図-16 によると、海岸堤防・護岸の被災は、表法が圧倒的に多く、全体の約82%にあたる264件であった. 一方、天端や裏法の被災は、それぞれ全体の40件および13件であった. また、図-17によると、表法面の264被災数のうち、表法被覆工のみが被災したのは89件であり、表法面の基部に設置されている根固工が被災した事例は52件、表法の被覆ブロックが被災した事例は110件、表法面と波返工が同時に被災した事例は2件、表法面と天端のいずれも被災した事例は6件、表法面と根固工が被災した事例は4件であった.



(4) 被災形態

図-18 は、被災した全ての海岸堤防・護岸を対象に、被災に至るまでに確認された(もしくは推察された)被災 形態を整理したものである. ここでの被災形態は、海岸災害実態調査表で示されていた被災形態で〇印のついていたものを集計した結果である. 被災形態で最も多かったものは海底地盤の低下であり、次いで、堤体の崩壊、天端 法枠の破壊・陥没、表法・堤体の亀裂損傷であった. 海底地盤の低下には、長期的に進行する海岸侵食と高波浪時の局所洗掘の両者が含まれていると考えられる.

図-19 は、各被災事例の海岸災害実態調査表に記載されていたイベントツリーにおいて時間的に最も早い要因を 読み取り、それを集計したものである。被災に至る初期の状態で最も多かったのは、海底地盤の低下であり、全体 の約9割を占めていた。このことから、海岸堤防・護岸の被災において、海底地盤の低下が起点となっている事例 が多いことが改めて確認された。

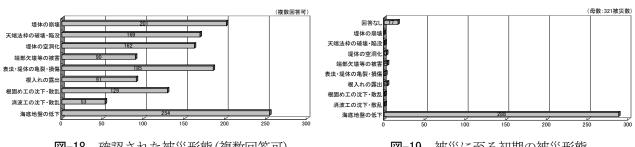


図-18 確認された被災形態(複数回答可)

図-19 被災に至る初期の被災形態

(5)被災パターンの分類

被災を受けた海岸場防・護岸の主な被災パターンは、図-20 のように 13 パターンに分類された。直立場などの

自立構造型では、堤体の滑動、転倒のほか、パラペットの倒壊や天端の損傷がある。被覆構造型では、法先の洗掘により表法被覆工の下部が滑り出して被災するパターンのほか、天端の陥没や表法被覆工の曲げ破壊などのパターンがある。もっとも被災事例が多いコンクリートブロック被覆型については、野口ら(2000)の分類である上部、中部、下部の被災のほか、天端の陥没も存在することがわかった。これらのほか、被覆工の破壊に至らなかったものの基礎工や捨石が被災した事例や、地震によって破壊された事例も存在した。

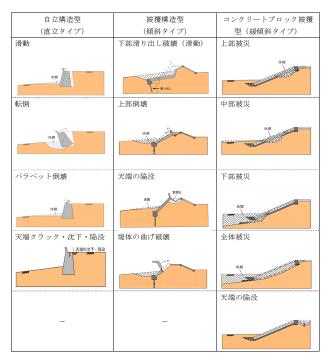


図-20 海岸堤防・護岸の被災パターン

3.3.2 高知県菜生海岸での被災

2004年10月20日,土佐湾沿岸に来襲した台風23号の激しい高波により,高知県室戸市の菜生海岸において海岸堤防が約30mにわたって倒壊し、越波等により背後の家屋13戸が被災し、3名の方が亡くなった(**写真-1**).この災害の原因究明とこの災害の教訓を踏まえた取り組みを検討課題とした「菜生海岸災害調査検討委員会」の報告では、以下のようなことが指摘されている.

- ・1964~1966年に築造された菜生海岸の堤防は、被災前(2004年9月13日)に海岸管理者が実施した施設点検では、ひび割れなどの異常は確認されていなかった。
- ・台風の接近により、潮位が上昇するとともに、高波が形成されて菜生海岸に来襲し、その規模は国内観測史上最大の波(ナウファス室津波浪観測所での有義波高 13.5m)として、当海岸の計画波高を大きく越えた.
- ・堤防倒壊部の砂浜は、もともと周囲に比べ浜幅が狭い海岸地形であったため、波当たりが相対的に強かったと想定される.
- ・波が堤防を大きく越え、結果として、パラペット部には鉄筋の引張耐力を越える強い波圧が作用し、堤防とパラペットのコンクリート打ち継ぎ目より、天端被覆工とともに一気に倒壊・流失したと考えられる(図-21).

3. 3. 3 下新川海岸での被災

2008年2月24日,低気圧による激しい高波により,富山県黒部市,入善町及び朝日町の下新川海岸において海岸堤防が倒壊するとともに,越波等による住家の破壊や浸水被害等が発生した.高波や越波の発生メカニズムや下新川海岸における対策などを検討することを目的とした「高波災害対策検討委員会」は、その「中間取りまとめ」において以下のようなことを指摘している.

- ・日本海北部のうねりが発達しながら富山湾に南下し、富山湾特有の海底谷等起伏に富んだ海底地形により、局所的に高波が集中. 観測された有義波高及び有義波周期は、下新川海岸の計画波浪を超過.
- ・激しい侵食により砂浜が欠けた状況の下で、高波が来襲し、海岸堤防ののり先が激しく洗掘され、堤体の空洞化が急激に進行し、一部の海岸堤防が倒壊(写真-2).
- ・前面の砂浜が著しく侵食した海岸において、堤防基礎からの吸い出し等による堤防・護岸の陥没、倒壊等の災害が頻発している。前面の砂浜があるという前提で設計・施工された堤防等は、波浪が直接堤防に来襲することを想定しておらず、放置しておくと倒壊等のおそれがある。

被災後の調査では、基礎前面の洗掘や基礎矢板の損傷のほか、延長約17kmのうち約4kmで対策が必要な空洞が 堤防の被覆工と堤体土との間で確認され、この高波により空洞化が進行したことが委員会で報告されている.



写真-1 菜生海岸の被災直後の状況 (出典:河川局海岸室資料)

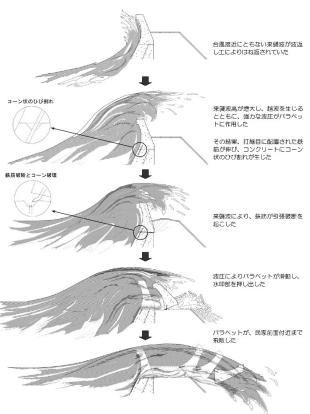


図-21 菜生海岸の堤防倒壊メカニズム (菜生海岸災害調査検討委員会; 2005)



写真-2 海岸堤防の倒壊状況(下新川海岸神子沢地区)

3. 3. 4 被災事例の教訓

菜生海岸,下新川海岸とも,設計対象を超える外力による被災であり,堤防の老朽化が原因ではない.しかし,両海岸とも堤防海側の砂浜が狭く,高波浪時に波力や洗掘が大きくなりやすい地形条件である。また,全国的にも侵食傾向の砂浜海岸での事例が多いこと,海底地盤の低下が堤防被災の起点となっている事例が多いことが確認されている。以上のことから,海岸堤防の維持管理においては,堤防自体の変状だけでなく,堤防海側の砂浜の侵食状況に注意し,必要に応じて侵食対策の実施を検討する必要があると考えられる。

3. 4 堤防の老朽化事例

伊勢湾西南海岸(三重県の櫛田川河口〜宮川河口,延長約11.1km)は1953年の台風13号により甚大な被害を受け、三重県から災害復旧の工事を受託した建設省により無筋コンクリートの三面張り堤防が1956年までに整備され、その後も三重県により工事が進められた結果、1963年に海岸堤防は完成した。その後、被覆コンクリートの劣化など海岸堤防の老朽化が進んだことから、1993年から直轄海岸保全施設整備事業で海岸堤防の老朽化対策等が行われることになった(2014年終了)。老朽化対策が事業化の一因となった先行事例であり、海岸堤防の老朽化判定マニュアルを独自にとりまとめるなど先駆的な取り組みがなされた。本稿では、その事業の中で行われた海岸堤防の変状実態調査の結果(藤田ら;2002、三重河川国道事務所;2004)を紹介する。

- ・変状は、表法面が 260 箇所、パラペットが 86 箇所、堤防天端道路が 86 箇所、裏法面が 12 箇所で確認された、 変状の形態はクラックが 65%を占め、次いで摩耗が 25%、はく離が 6%、段差が 2%、沈下が 2%であった.
- ・地中レーダ探査およびコアリングにより空洞化調査を行った結果,18 箇所で空洞が確認された.砂浜幅が小さいと空洞,ひび割れ幅,摩擦深さが大きくなる傾向が見られた.
- ・松名瀬工区では、2003 年 11 月に表法面を開削したところ、深さ 0.5m, 法長 4.3m, 幅 1.6m の空洞が確認された (写真-3). 同箇所では 1992 年度の開削調査で深さ 0.4m, 法長 2.7m, 幅 4.6m の空洞が確認されていたことから、時間の経過とともに空洞化が進行していることが明らかになった.



写真-3 松名瀬工区における堤防空洞化の様子(三重河川国道事務所, 2004)

3.5 海岸堤防の被災機構

海岸省庁の「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、波浪による消波工がない海岸堤防の主要な変状連鎖を**図** -22 のように整理している。3. 3. 1で述べたように、海岸堤防の被災は侵食による堤防前面の海底地盤の低下が起点となっていることが多く、これは図の Step 1 が多くの被災事例で生じていることを意味する。菜生海岸の被災は、波力によって波返工の破損や天端被覆工の流失に至った事例であり、図の波力パターンに該当する。また、下新川海岸の被災は、侵食した海岸において基礎からの吸い出しによって天端被覆工の陥没に至った事例であり、図の洗掘パターンに該当する。なお、津波による海岸堤防の被災機構は諏訪(2016a)にまとめられている。

これらの変状には、経年的に進行する過程と、高波時などに一気に進行する過程があるものと考えられる。堤防の維持管理においては、この図のような被災機構をふまえ、経年的に進行している変状が被災に至る前に把握し、必要な修繕を行うことが重要である。そのためには、堤防前面の海底地盤や根固工の沈下、波返工や表法被覆工などの亀裂など、比較的把握が容易な変状を確実に把握し、計画的に修繕を進めていく必要がある。

なお、堤防前面の海底地盤の沈下を改善する機能は海岸堤防にはないので、広域的な侵食対策が必要であること は言うまでもない。

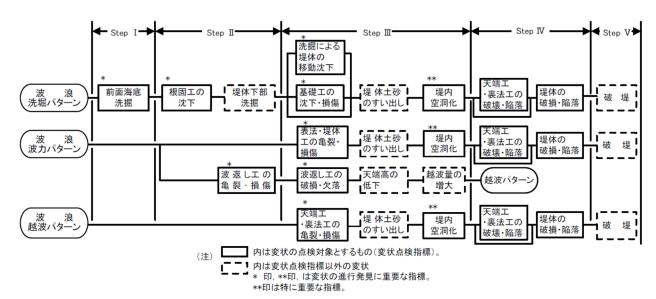


図-22 堤防(消波工なし)の主要変状連鎖(農林水産省・国土交通省,2014)

4. 海岸堤防の維持管理の現状とあり方

4. 1 海岸堤防の維持管理の現状

4. 1. 1 海岸省庁の基準類

海岸省庁は、海岸保全施設の点検及び健全度評価の標準的な要領などを示した「ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル(案)」を 2008 年に策定した。このマニュアルは、コンクリート構造の堤防、護岸等を対象に、ライフサイクルマネジメントを目指した維持管理計画の立案や対策工法などを紹介したものである。このマニュアルが策定される以前は個別の海岸での老朽化判定が行われていた(たとえば、藤田ら; 2002)が、国として初めて標準的な要領が定められた。しかし、海岸堤防の構造はさまざまであり、構造により点検すべき項目が異なる場合があることから、このマニュアルの項目に海岸管理者が独自の点検項目を追加した事例(たとえば、北村ら; 2010)もあった。

その後、国が「インフラ長寿命化基本計画」を 2013 年に策定し、その中で、各インフラの管理者は、個別施設 毎の具体の対応方針を定める計画として、個別施設毎の長寿命化計画を策定することとされた。また、2014 年の海岸法改正により、海岸管理者は海岸保全施設を良好な状態に保つよう維持・修繕すべきことが明確化された。これらを受けて、海岸省庁は、海岸堤防等の適切な維持管理を推進するための技術的助言として、「ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル(案)」を 2014 年に改訂し、「海岸保全施設維持管理マニュアル」を策定した。改訂されたマニュアルでは、以下のような海岸保全施設の特徴をふまえ、巡視を含む点検及び評価の標準的な要領とともに、ライフサイクルマネジメントの考え方に基づいた長寿命化計画の立案方法などが示されている。現在、このマニュアルを活用して、各都道府県において長寿命化計画の策定が進められている。①津波・高潮等から背後地を防護する機能の確保が重要であること。この際、環境や利用の観点についても配慮される必要があること。

- ②施設の変状は、地震、津波、高潮等の発生時に大きく進展すること。また、地形等により変状が進展しやすい箇所があること。
- ③過去の津波の教訓や気候変動に伴う海面上昇等に対する要求性能が見直され、所定の防護機能が変更され得ること.

4. 1. 2 菜生海岸被災後の全国緊急点検

全国の堤防において菜生海岸と同様な危険性を有すると想定される海岸について,2004年12月に「全国緊急点検」が行われた.少し古い結果ではあるが,海岸堤防等の維持管理の実態を示す内容が含まれていることから,その概要を紹介する.

(1) 点検対象

菜生海岸と同様の災害の再発防止に万全を期すことを目的に、パラペットが倒壊した場合、来襲した波浪が、背後地に立地する民家や公共公益施設に対して人的被害を含む甚大な被害を生じさせるおそれがある箇所が点検の対象とされた。具体的には、以下の2つの条件ともに当てはまる海岸が対象とされたが、背後地の土地利用や被災実績等から点検の必要性が判断された。

- ・後背地の地盤高が堤防・護岸の天端高より低い地区で、堤防・護岸から概ね30m以内に民家や公共施設が立地する海岸
- ・計画沖波波高が概ね 7m 以上に設定されている海岸(計画沖波波高が不明な海岸は,堤防・護岸の天端高が概ね T.P. +5m 以上の海岸)

堤防・護岸からの距離が概ね 30m 以内を点検対象とした根拠は、菜生海岸において堤防から約 20~25m 離れたブロック塀が越波してきた水塊により倒壊した実績である.一方、計画沖波波高が概ね 7m 以上を点検対象とした根拠は、外洋に面した海岸において概ね計画沖波波高は 7m 以上となっていることである。瀬戸内海沿岸については、海岸堤防が被災を受けた実例があるので、計画沖波波高の基準に関わらず点検が実施された。

(2) 点検項目

主な点検項目は以下のとおりである.

- ・堤防や護岸の築造または設計時より、現在の砂浜幅が短くなっている場合、これに対して波を減衰する対策がこれまでに講じられているかどうか
- ・点検対象海岸において、過去に被災を受けた履歴があるかどうか
- ・海岸管理者が行う維持管理の一つである施設の監視体制の実態
- ・地域レベルでの防災に関する情報を収集・伝達する体制などソフト対策の実態

(3) 点検結果

点検対象となったのは 2,862 箇所 (1,760 海岸) で,その延長は 2,361km (全国の海岸保全区域延長の約 16.4%) である. 点検結果の概要を以下に示す.

- ・1975年以前に施設が建設された海岸は1,538箇所(53.7%)であった.
- ・現況の天端高が把握されている箇所は 2,846 箇所(99.4%), 計画の天端高が把握されている箇所は 2,435 箇所 (85.1%), 天端幅が把握されている箇所は 2,760 箇所(96.4%)であった.
- ・平面図, 断面図, 配筋図, 構造計算書の全てが存在する箇所は 202 箇所(7.1%)であった. 逆に, 全てが存在しない箇所は 1,724 箇所(60.2%)で, このうち施工年が 1975 年以前の箇所は 55.8%で, これに空欄・不明を含めると 79.9%であった.
- ・被災履歴が存在する箇所は539 箇所(18.8%),被災履歴がない箇所は1,603 箇所(56.0%)であった. また,不明が703 箇所(24.6%)であり,このうち施工年が1975 年以前の箇所は50.5%で,これに空欄・不明を含めると78.4%であった.
- 施設の監視がなされている箇所は2,554 箇所(89,2%)であった。

- ・監視の頻度は、1~2回/年が多く、その方法はほとんどが目視点検(2,532箇所,88.5%)であり、詳細調査を実施しているのは12箇所(0.4%)のみである.
- ・点検の結果は,異常なしが 2,269 箇所(79.3%)であるが,軽微な損傷が 237 箇所(8.3%)で,大きな損傷が 33 箇所(1.2%)で見られていた.
- ・ソフト対策として, ハザードマップの作成(344 箇所, 12.0%), 避難地・避難路整備(1,006 箇所, 35.2%), 防災 訓練(890 箇所, 31.1%), 水防活動(1,073 箇所, 37.5%), その他(123 箇所, 4.3%)が行われている. 一方, 1,071 箇所(37.4%)ではソフト対策は実施されていない.

4. 2 海岸防災の観点から見た海岸堤防の維持管理のあり方

4.2.1 天端高と構造の安全の確保

「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、高潮、津波等に対する海岸堤防等の所定の防護機能を持続的に確保するように維持管理を行うことを想定している。海岸堤防の防護機能のうち、海水の侵入を防止する機能および越波を減少させる機能は、主に天端高により規定される。また、海岸堤防の防護機能は安全な構造によって発揮される。よって、海岸堤防の維持管理においては、天端高の確保と構造の安全に特に留意する必要がある。

天端高については、「海岸保全施設維持管理マニュアル」においては、一次点検では構造目地で区切られたスパン毎に目視で、二次点検では測量により確認し、沈下している場合には嵩上げ等を行うこととされている。海岸堤防は延長が長いことから点検にも労力を必要とするため、その省力化が課題となっている。新技術として、航空レーザ測量の元データから波返工の天端高を推定した事例(原野ら、2016)や、UAVにより海岸堤防の天端高を 2cm の精度で測定した事例がある(大石ら、2015)。

構造の安全についても、波返工や天端被覆工などの状態について、一次点検では目視で把握し、二次点検ではひび割れの幅や長さ、空洞の範囲などを計測することとされている。新技術として、UAVにより2~5mm 程度のひび割れや目地開きを確認できた事例(大石ら、2015)があるが、空洞の範囲などは目視等による確認が難しい。被覆工下の空洞については、天端に設けた観測孔での監視や地中レーダによる計測が行われている。また、諏訪ら(2010a)は、前面に砂浜がない護岸の矢板工の損傷に伴う堤体土の吸い出しや空洞の発生を診断するのに、ボーリング孔での水圧変動観測が有効であることを現地調査により明らかにしている。これらの計測技術については引き続き技術開発が必要である。

4. 2. 2 汀線変動への対応

構造の安全を確保するためには、堤防より海側の砂浜の状況も注視する必要がある。その位置を日々変える砂浜の汀線位置の変動は、数年~数十年オーダーの長期的な変化と、高波浪による侵食や季節変動などの短期的変動に分類される。「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、侵食による基礎工等の露出や汀線の後退状況を確認することとされているが、これらは主に長期的な変化に着目したものであり、点検の時期によっては汀線の短期的変動の影響が見逃される恐れがある。福島ら(2000)は現地海岸の汀線後退量の確率的評価を行い、年超過確率 1/30 (施設の耐用年数程度の再現期間に相当)の汀線後退量が 20~34m になることを示している。砂浜幅が 30m 程度に満たない海岸では、汀線の短期的変動に留意して砂浜の点検を行うとともに、汀線の長期的な変化に対応する侵食対策の予定も考慮して長寿命化計画を検討する必要がある。また、宇多・酒井(2014)が指摘するように、堤防の点検の前に海岸全体の砂浜の状況を衛星写真等で把握し、注意すべき箇所を抽出することも重要である。

4. 2. 3 現状の防護機能をふまえた浸水リスクの評価と防災への活用

「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、施設の防護機能が確保できていない状態では、市町村との避難等の連絡体制の整備、水防関係機関との重要水防箇所の共有、水防警報海岸の指定および水防警報の発令、要注意箇所のハザードマップへの表示等の安全確保措置を講じる必要があるとされている。ハザードマップの元になる津波

浸水想定や高潮浸水想定が各地で進められているが、津波、高潮とも、海岸堤防等はその高さを考慮するものの、設計外力を超えると破壊するものとして浸水計算が行われている。現状の浸水リスクは最新の点検結果に基づく海岸堤防等の高さと強度を浸水計算に反映することで評価できるが、老朽化による変状と強度低下との関係が十分に明らかになっていないことから、想定外の浸水が生じない可能性が皆無とは言えない。「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、事後保全を必要とする施設の状態として、天端高不足のほか、堤体内の空洞、基礎工下端や止水矢板の露出などを目安としているが、このような状態が点検で確認され、その補修に時間を要するのであれば、設計外力以下の外力で破壊する条件での浸水計算の結果を基にした、老朽化の影響が考慮されたハザードマップを用いて、真の浸水リスクを周知する必要があると考える。ただし、海岸堤防等の設計外力は浸水想定の対象外力より小さく、強度低下は浸水計算においては破堤時刻が若干早まる程度の変化に留まる可能性もある。浸水想定が示す浸水範囲および浸水深は、海岸堤防等の強度低下の影響も含め、不確実性を有していることを周知することがまず必要である。

また、洪水、高潮等の警戒、被害軽減等をもって公共の安全を保持することを目的とした水防法では、都道府県知事は、高潮により相当な損害を生ずるおそれがあるものとして指定した海岸について、高潮特別警戒水位を定め、当該海岸の水位がこれに達したときは直ちに水防管理者及び量水標管理者に通知するとともに、これを一般に周知させなければならないとされている。高潮特別警戒水位については、「①決壊氾濫開始箇所における計画高潮位」と、「②越流氾濫開始箇所における堤防天端高等から過去の高潮災害時の潮位データや高潮浸水シミュレーションの計算結果により把握したリードタイム内の水位上昇量を差し引いた水位」を基準水位観測所の水位に換算し、そのどちらか低い水位を設定することが基本とされている。①の決壊氾濫開始箇所とは、高潮浸水計算において最も早く決壊による氾濫が開始する箇所(最も早く潮位が計画高潮位に達する箇所)である。②の越流氾濫開始箇所とは、堤防等は決壊せず堤防天端等を越流する場合のみ氾濫するよう条件を変更した高潮浸水計算において最も早く越流による氾濫が発生する箇所(最も早く潮位が堤防等の天端高に達する)である。その箇所は天端高によって変わってくることから、その設定には点検等で把握された最新の天端高を用いる必要がある。

施設の現状に関する情報を関係機関で共有するためのデータベースも必要である。「海岸保全施設維持管理マニュアル」では、点検・健全度、修繕等に関わる情報を電子化し、保存することが重要と指摘し、点検結果を整理する表の様式も示しているが、電子化された情報を浸水リスクの評価や共有に繋げる必要がある。諏訪ら(2010b)は、点検結果をGISに収録するとともに、設計波に対する波返工等の安全性を照査し、その結果に基づいて浸水被害を想定できるシステムを提案している。

以上のように、海岸堤防の現状を浸水想定や高潮特別警戒水位に適切に反映して浸水リスクの周知を図るとと もに、設計で満たすべき性能を下回っている施設については早期に回復させることが必要である.

4. 2. 4 気候変動への適応

気候変動による海面上昇や台風の強大化が予測されている。その海岸堤防に関する影響は、うちあげ高の増大、砂浜の減少による堤防被災リスクの増大などがある。しかし、日本の沿岸においては顕著な海面上昇は確認されておらず、海岸保全施設の設計や「海岸保全施設維持管理マニュアル」における長寿命化計画の立案においても海面上昇等は考慮されていない。海面上昇等を考慮すべき時期になれば、海面上昇等を見込んだ設計外力や長寿命化計画の見直しが必要である。設計外力の見直し方法については提案が既になされているが(たとえば、河合ら;2012)、最新の気候変動予測に基づいて、その実施時期や進め方などを具体的に検討する必要がある。

5. おわりに

海岸防災の観点から海岸堤防の維持管理のあり方を論じてきたが、一連区間を維持することで所用の機能が発揮できる海岸堤防を維持していくのはたいへんなことであることを再認識させられた。災害時に初めて機能が発揮される海岸堤防のような防災施設は、一般の人々にとって継続的な維持管理に労力を費やすことの必要性を認

識しづらいものかもしれない. 海岸堤防の維持管理を持続して海岸防災の水準を保つためには, 点検結果の公表や 日頃の広報等を通じて海岸堤防の役割や現状を多くの人々に知ってもらい, 管理者ではなく自分たちのインフラ として海岸堤防を認識してもらう必要がある.

また、本稿では大きく扱わなかったが、海岸堤防の点検や長寿命化計画の立案においては、作業の効率化や施設の劣化予測など、さまざまな技術的課題が残されていると考えている。これらについても継続的な取り組みが必要であり、管理者、大学、民間等が連携して技術開発を行う仕組みを考えていきたい。

参考文献

青木伸一:沿岸域における防災・減災対策について,2013年度(第49回)水工学に関する夏期研修会講義集Bコース,pp.B-5-1~9,2013.

インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議:インフラ長寿命化基本計画,18p.,2013.

宇多高明, 酒井和也:海岸保全施設の点検手法についての新たな提案, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. I_588-I_593, 2014.

大石 哲, 白谷栄作, 桐 博英, 高橋順二, 水上幸治, 村木広和: UAVを使った低空画像解析による海岸堤防の劣化状態の検出, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_1717-I_1722, 2015.

大河原満,橋本 宏,斉藤雄三郎:被災事例から見た海岸堤防・護岸に関する一考察,第30回海岸工学講演会論 文集,pp. 264-268,1983.

海岸における津波対策検討委員会: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,9p.,2011.

海岸保全施設技術研究会編:海岸保全施設の技術上の基準・同解説,2004.

加藤史訓, 諏訪義雄, 鳩貝 聡, 藤田光一: 津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 1, pp. 31-49, 2014.

加藤史訓, 野口賢二, 諏訪義雄:海岸堤防・護岸の被災に関する実態調査, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 67, No. 2, pp. I_7-I_12, 2011.

河合弘泰, 森屋陽一, 水谷法美, 横田 弘:海岸保全施設の長寿命化の検討に用いる将来潮位・波浪条件に関する考察, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 68, No. 2, pp. I_995-I_1000, 2012.

北村重男, 牧野 稔, 松浦健郎, 大木康弘, 住田哲章: 茨城沿岸(北部)における海岸保全施設への維持管理マニュアルに基づいた海岸保全施設の点検の適用と点検内容について, 海洋開発論文集, 第26巻, pp. 159-164, 2010.

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,第9巻,第4号,pp. 3-42,1970.

国土交通省:新たなステージに対応した防災・減災のあり方,22p.,2015.

国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所:伊勢湾西南海岸老朽化判定マニュアル(案),47p.,2004.

国土交通省水管理・国土保全局海岸室:高潮特別警戒水位の設定要領、4p., 2015.

国土交通省水管理・国土保全局海岸室、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:津波浸水想定の設定の手引き Ver2.00,85p.,2012.

国土庁,農林水産省構造改善局,農林水産省水産庁,運輸省,気象庁,建設省,消防庁:地域防災計画における津 波対策強化の手引き,99p.,1998.

社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会:緊急提言「津波防災地域づくりの考え方」, 8p., 2011.

社団法人全国防災協会:美しい海辺を守る災害復旧ガイドライン(案),173p.,2001.

首藤伸夫:高潮・津波対策の変遷,2016 年度(第 52 回)水工学に関する夏期研修会講義集 B コース,pp. B-5-1~20,2016.

諏訪義雄:津波からの多重防御・減災システムに関する研究,国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告,

- No. 52, pp. 58-73, 2016a.
- 諏訪義雄:津波防災地域づくりと津波浸水想定の設定,2016年度(第52回)水工学に関する夏期研修会講義集Bコース,pp. B-2-1~25,2016b.
- 諏訪義雄, 笹岡信吾, 馬場和夫: 砂浜が消失した堤防・護岸基礎の矢板工損傷に伴う空洞発生・倒壊の機構と点検・ 診断の手法, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp. 177-182, 2010a.
- 諏訪義雄, 笹岡信吾, 見上敏文, 小宮山佳世: 海岸堤防マネジメント支援システムの開発, 海洋開発論文集, 第 26 巻, pp. 189-194, 2010b.
- 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., 2006.
- 高波災害対策検討委員会:中間とりまとめ,18p.,2008.
- 田島芳満, 舟竹祥太郎, 佐藤愼司: 越流を伴う巨大津波に対する海岸堤防の減災機能の検証, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 1, pp. 23-33, 2013.
- 内閣府政策総括官(防災担当),総務省消防庁,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,国土交通省気象庁:地域防災計画における高潮対策の強化マニュアル,2001.
- 内閣府(防災担当),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:津波・ 高潮ハザードマップマニュアル,2004.
- 菜生海岸災害調査検討委員会:菜生海岸災害調査検討委員会報告書,7p.,2005.
- 農林水産省農村振興局長,水産庁長官,国土交通省水管理・国土保全局長,港湾局長:「海岸保全施設の技術上の基準について」の一部改正について,2015.
- 農林水産省農村振興局防災課,農林水産省水産庁防災漁村課,国土交通省河川局海岸室,国土交通省港湾局海岸・防災課:ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル(案)~堤防・護岸・胸壁の点検・診断~,105p.,2008.
- 農林水産省農村振興局防災課,農林水産省水産庁漁港漁場整備部防災漁村課,国土交通省水管理・国土保全局河川環境課,国土交通省水管理・国土保全局海岸室,国土交通省港湾局海岸・防災課:高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver1.00,60p.,2015.
- 農林水産省農村振興局防災課,農林水産省水産庁防災漁村課,国土交通省水管理・国土保全局海岸室,国土交通省港湾局海岸・防災課:海岸保全施設維持管理マニュアル〜堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案〜,61p.,2014.
- 野口賢二,田中茂信,鳥居謙一,佐藤愼司:大型模型実験による緩傾斜ブロック堤の被災機構に関する研究,海岸工学論文集,第47巻,pp.756-760,2000.
- 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会:東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告,44p.,2011.
- 原野 崇, 諏訪義雄, 下村博之, 朝比奈利廣, 望月貫一郎, 本田禎人, 洲浜智幸, 花田大輝: 航空レーザ測量オリジナルデータを用いたパラペット天端高の把握, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. I_754-I 759, 2016.
- 福島雅紀, 鳥居謙一, 田中茂信: 海岸保全施設としての砂浜の確率論的手法による変動量評価, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 701-705, 2000.
- 藤田光一,中村瑛佳,山本 剛,田中浩充,鳥居謙一,野口賢二:伊勢湾西南海岸における堤防老朽度評価,海岸工学論文集,第49巻,pp.911-915,2002.
- 横田 弘:港湾・海岸構造物の維持管理の高度化に向けて,2015年度(第51回)水工学に関する夏期研修会講義 集Bコース,pp.B-4-1~16,2015.
- 渡辺国広, 姫野一樹, 榊原 弘, 有村盾一, 八木裕子, 越智達郎, 諏訪義雄:海岸堤防の粘り強さ向上による減災 効果の感度分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_1597-I_1602, 2015.