

第3項 レベル2津波に対する防潮堤の「粘り強い構造」

1. 防潮堤の「粘り強い構造」

(1) 「粘り強い構造」の方向性と構造上の工夫について

「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 平成23(2011)年9月28日」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、「平成23(2011)年度東北地方太平洋沖地震およ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(2011)年11月16日」では、天端保護工、表法・裏法被覆工、裏法尻部、波返工の部位毎に、被災メカニズムと構造上の工夫が整理されている。

その中では、設計対象の津波高を超える津波が来襲し、堤防等の天端を越流することにより、堤防が破壊、倒壊する場合でも、施設の効果が粘り強く発揮できるような構造を、以下のいずれかの減災効果を目指した構造上の工夫が施されたものとしている。

- ・施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする。
- ・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。

そのような構造上の工夫の方向性として、裏法尻部への保護工の設置による洗掘防止や、裏法被覆工等の部材厚の確保等による流失防止などが挙げられている。

「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。

「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、地形を保全する効果も期待される。

これらの構造上の工夫や施工上の留意点については、国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部から、「技術速報：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討」として、第1報（平成24(2012)年5月14日）と第2報（平成24(2012)年8月10日）が出されており、これらに基づいて、粘り強い対策を堤防に関する構造上の工夫を行うものとする。

(2) 粘り強い構造

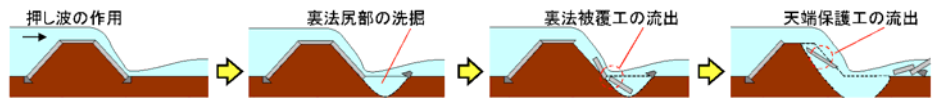
1) 裏法尻部、裏法勾配の対策

津波が堤防を越流した後、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り、これをきっかけに裏法被覆工等の損壊、流出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、以下の対策を行っている。

- 裏法尻部に保護工（被覆）を設置すること等により被覆し、洗掘を防止する。
- 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、洗掘を防止する。

- ・被災形態： 津波が海岸堤防を越流した後、裏法尻部の地面等を洗掘。これをきっかけに裏法被覆工等の損壊、流失等を引き起こす。



- ・工法： 裏法尻部に保護工を設置すること等により被覆
さらに、裏法尻部の被覆に加え、裏法を緩勾配化

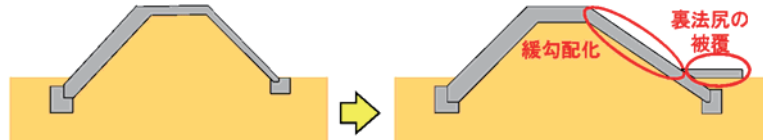


図 2-23 「粘り強い構造の海岸堤防について 国土交通省」抜粋



図 2-24 海岸堤防の被災事例

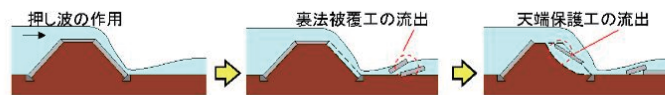
2) 天端部、裏法被覆部、表法被覆部の対策

津波が堤防等を越流する場合（引き波時を含む）は、天端部や裏法部で水流が高速になることによって、天端保護工・裏法被覆工（引き波時には表法被覆工）が流出する被災形態や、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。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、以下の対策を行っている。

- 天端保護工や裏法被覆工、表法被覆工を厚くする。
- 部材間を連結することで、剥離を発生しにくくする。
- 水流に対して十分な重量や強度を確保する。

- ・被災形態： 津波の高速な水流による天端保護工、裏法被覆工の流失や堤体土の吸出し。
（引き波においても同様の被災形態が考えられる。）



- ・工法： 天端保護工や裏法被覆工、表法被覆工の部材厚の確保、部材間の連結（重量や強度の確保）

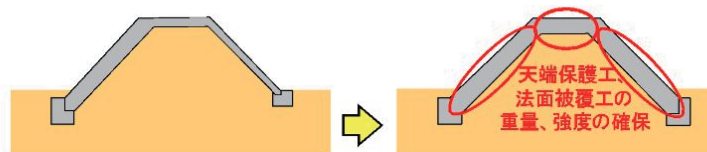


図 2-25 「粘り強い構造の海岸堤防について 国土交通省」抜粋



図 2-26 河川堤防の復旧事例（北上運河）

さらに、「技術速報 No. 1：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第 1 報）平成 24（2012）年 5 月 14 日」に基づき、川裏法被覆工にブロックを用いる場合に、かみ合わせを採用（堤防を越流した流水による被覆工の不安定化の防止）したり、法肩部分を天端被覆工と一体化（堤防を越流する時に発生する裏法肩付近での負圧対策）したりする工夫を施すものとする。

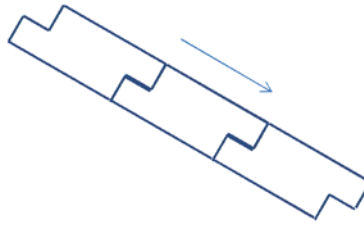


図 2-27 「粘り強い構造」における構造上の工夫（ブロック形状のかみ合わせによる不安定化の防止）

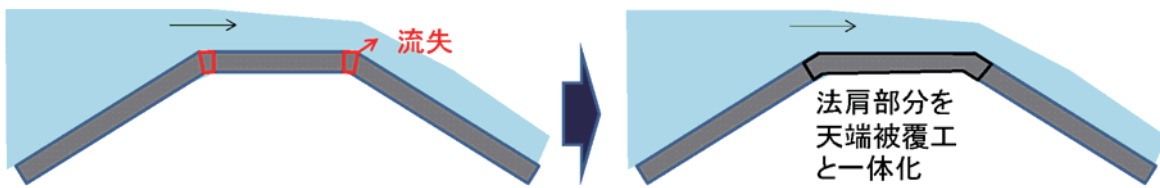


図 2-28 「粘り強い構造」における構造上の工夫（天端被覆工と法肩部分の一体化）

出典：「技術速報 No.1：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討（第1報）平成 24（2012）年 5 月 14 日」

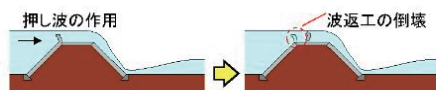
3) 波返工の対策

津波が堤防等を越流する際（引き波時を含む）には、天端に設けられていた波返工が破損し、堤体の消失に至る被災形態も想定される。

このような被災形態に対しては、以下の対策を行っている。

- 天端までを盛土構造とする。
- 波返工に配筋し、十分な強度を確保する。

- ・被災形態：津波の波圧の作用による、波返工の倒壊等。



- ・工法：天端まで盛土構造とする工法（海岸堤防の設計外力を高潮でなく津波とする場合）の検討や、波返工を採用する場合の、配筋による補強

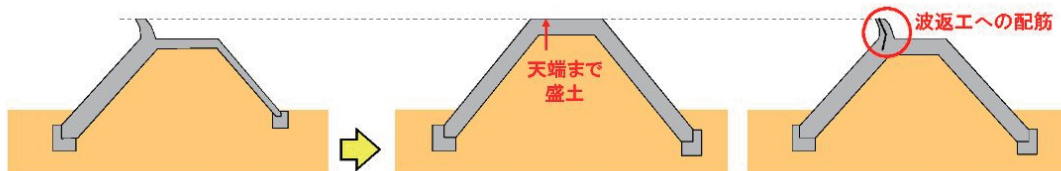


図 2-29 「粘り強い構造の海岸堤防について 国土交通省」抜粋

2. 港湾施設における粘り強い構造

(1) 背景

建設海岸の堤防は、平成 24 (2012) 年 4 月 23 日付け国土交通省水管理局・国土保全局防災課の事務連絡で粘り強い構造への対応が示され、連続する港湾海岸の堤防においても同様の取扱いとすることで設計を進めていることから、港湾海岸の他の防潮堤についても粘り強い構造を検討する必要がある。

このような中、平成 25 (2013) 年 11 月に国土交通省港湾局より「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」（以下、「ガイドライン」という。）が示された。

しかし、ガイドラインは粘り強い防潮堤（胸壁）を設計するための基本的考え方をまとめたものとなっているが、以下の点については明記されていない。

- ・適用対象施設が港湾施設の外郭施設である防潮堤、護岸、堤防、胸壁となっているが、海岸保全施設である防潮堤へも適用すべきか
- ・ガイドラインの拘束力及びガイドラインを適用した場合に増加する工事費が補助対象となるか

そこで、港湾海岸の防潮堤の設計が一定程度進んでいる現状を踏まえた上で、ガイドラインの取扱方針を示すものである。

(2) 港湾海岸の防潮堤に関するガイドラインの取扱方針

上記を総合的に勘案し、以下のとおり取り扱う。

港湾海岸の防潮堤の設計においては、ガイドラインの事例に沿わなくても構わないものの、粘り強い構造への配慮は行うものとする。

【理由】

- ・港湾海岸の防潮堤の設計が一定程度進んでいること。
- ・ガイドラインには、粘り強い構造の工夫のイメージのみが示されており、設計に反映すべき具体的な数値基準が示されていないこと。
- ・採用に際し、「設計津波」を超える規模の津波に対する検討や水理実験等による有効性の証明等を求められることが想定され、復旧・復興の遅れにつながりかねないこと。
- ・そもそも、港湾海岸の防潮堤においては、杭基礎、舗装による洗掘・吸出防止等、堤防と比較し粘り強い構造への配慮がなされていると考えられること（次頁参照）。

※なお、上記対応方針は、ガイドラインの採用を妨げるものではなく、その意義は認められることから、設計においてその内容や趣旨が採用できると判断した箇所については、港湾局海岸防災課や会計検査院等への説明も考慮した上で適宜、事務所と港湾課で協議して対応を決定するものとする。

【参考】

「港湾の施設の技術上の基準」に基づく設計においても粘り強い構造への配慮がなされていると判断できる事例

港湾海岸の防潮堤（胸壁）の設計は、「港湾の施設の技術上の基準」に基づき実施しているが、その設計においてもガイドラインの事例と同じように粘り強い構造になっていると判断できるものも多い。

そのため、必ずしもガイドライン通りでなくても、以下のような事例においては、粘り強い構造への配慮が行われているものと判断できる。

表 2-8 ガイドラインでの例示と港湾海岸の防潮堤の設計例の比較

ガイドラインでの例示		港湾海岸の防潮堤の設計例	
箇所	対策	箇所	対策
躯体工①	ほぞ（凸凹）を設置するとともに、用心鉄筋を入れ、堤体上部が欠損するリスクを低減する。	－	
躯体工②	本体と一体化された水叩き又は躯体底版の幅（陸側、海側）を出来る限り広く取り、洗掘等に伴う転倒リスクを低減する。	①底版	躯体底版により洗掘等に伴う転倒リスクを低減する。
躯体工③	躯体底版の地盤への根入長さは、設計上考慮されない場合でも、適度に余裕をもった設定とする。		
排水工	排水溝などは埋込式として堤体との一体化を図り、部分的な破損によることを防止（排水溝などを躯体と舗装の間に挟まない）。堤体本体の背後への転倒リスクを低減する。	－	
舗装工①	コンクリート舗装版は堤体に密着させ、ステンレス鉄筋等（ダウエルバー）で接合する。	②被覆石 ③舗装工	前面の被覆石や、背面の管理用通路の舗装等により洗掘・吸出を防止する。
舗装工②	アスファルト舗装の場合においても、路盤の安定処理を行うことで洗掘・吸出を防止する。		
基礎工①	杭と堤体本体は、剛結合とする。	④基礎工	杭と堤体本体の剛結とする。
基礎工②	基礎（砕石）等をセメント注入や捨コンクリート処理を行うことで、洗掘・吸出を防止する。	－	
止水工	止水矢板の設置を標準化。矢板（止水矢板を兼ねる）設置により、洗掘や吸出が発生した場合において、堤体の本体直下の基礎地盤の流出を抑制する。矢板と堤体本体は、可能な限り剛結合とする。	⑤矢板 ⑥杭	洗掘や吸出による基礎地盤の流出抑制。堤体の滑動、転倒及び基礎の支持力に対する安定性を増加する。

第1章
「災害に強い
まちづくり宮城
モデル」の構築

第2章
「安全安心な
まちづくり」

第3章
「災害に強い
「道路」・「港湾」・
「空港」等

第4章
「早期復旧と復興の
加速化に向けた
取組」

第5章
「震災教訓の伝承
「3」伝承・減災
プロジェクト」

第6章
「復旧・復興事業に
よる課題」

第7章
「復旧・復興事業に
よる整備効果
事例集」

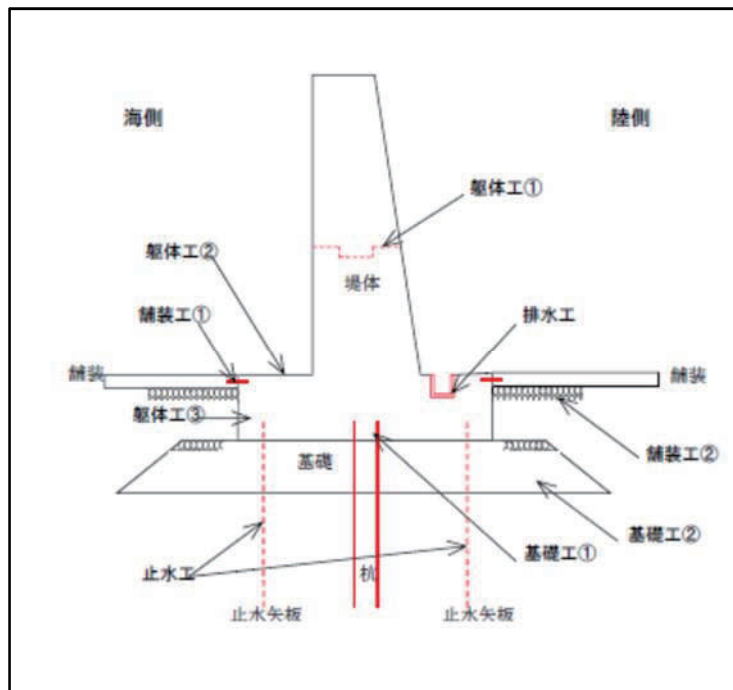


図 2-30 ガイドラインの粘り強い胸壁の断面例

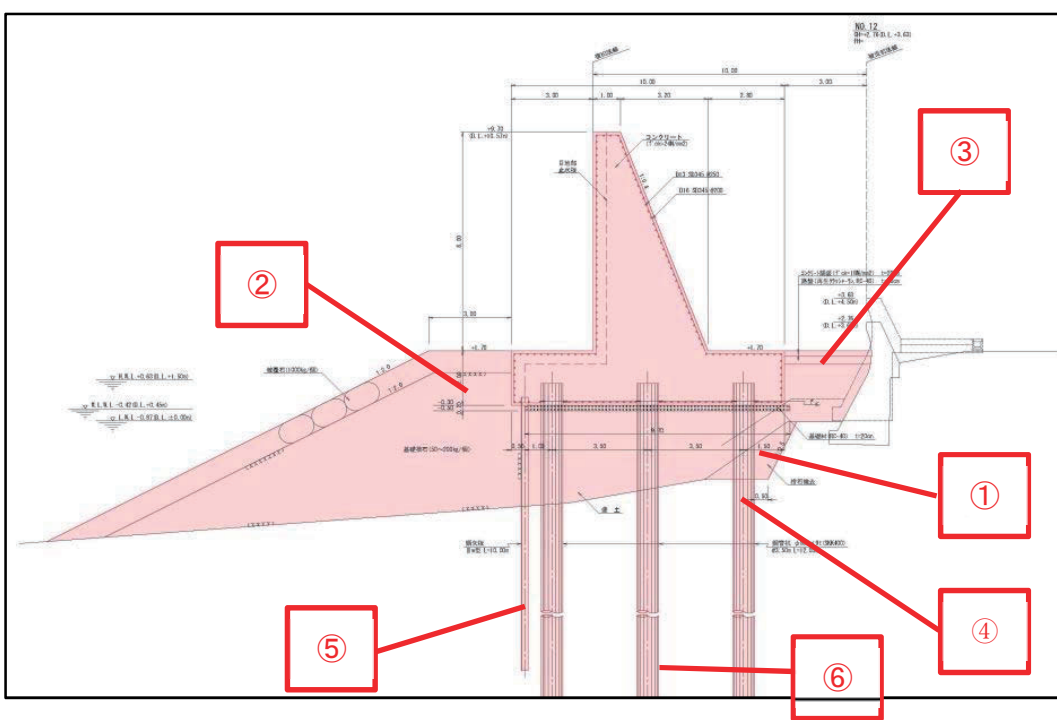


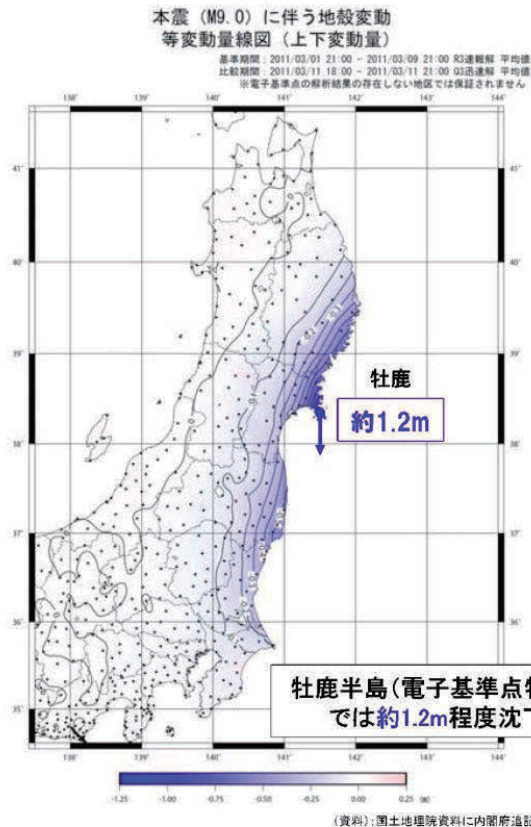
図 2-31 本県の港湾海岸における防潮堤の設計断面例

3. 防潮堤の耐震対策

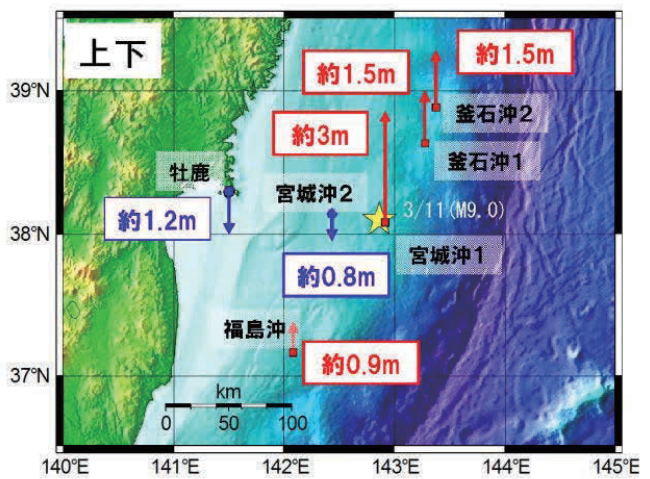
(1) 状況

「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 平成23（2011）年9月28日」の報告によると、M9.0の地震後、M7.0以上の余震が6回、M6.0以上が93回、M5以上が560回発生している（「平成23年 東北地方太平洋沖地震」について（第55報）気象庁）。

沿岸部での最大地殻変動量は、上下方向1.2m、水平方向5.3mであった。



震源のほぼ真上の宮城県沖の海底約3メートル隆起



牡鹿半島(電子基準点牡鹿)では約1.2m程度沈下

(資料):国土地理院資料に内閣府追記

(資料):海上保安庁資料を基に内閣府作成

図 2-32 地殻変動量 (上下方向・中央防災会議資料)

第1章
「災害に強い
まちづくり宮城
モデル」の構築

第2章
「安全安心な
まちづくり」

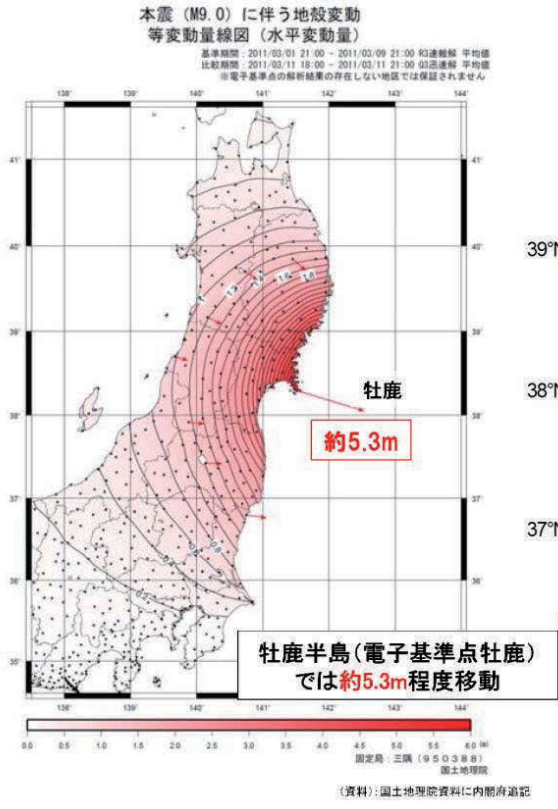
第3章
「災害に強い
「空港」等

第4章
早期復旧と復興の
加速化に向けた
取組

第5章
震災教訓の伝承
「311」伝承・減災
プロジェクト

第6章
「復旧・復興事業に
よる課題

第7章
「復旧・復興事業に
よる整備効果
事例集



震源のほぼ真上の宮城県沖の海底
東南東に約24メートル移動

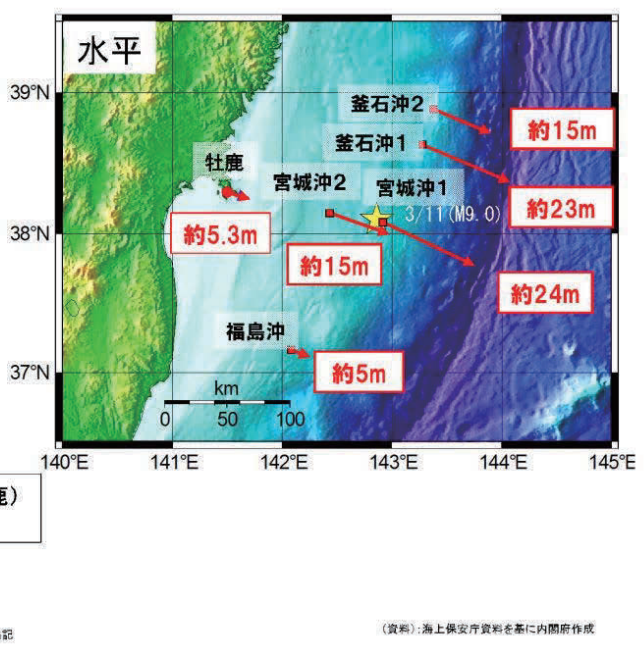


図 2-33 地殻変動量 (水平方向・中央防災会議資料)

さらに、地震によって地盤や堤体の液状化が発生し、堤体が大きく沈下している状況もみられる。



図 2-34 液状化の状況 (名取川周辺)

(2) 対策

津波による越水を除くと、地震時における河川堤防の主な被災原因は液状化であり、従来から想定されていた“基礎地盤の液状化”を原因とするものも多数確認されているが、これまで地震による堤防の被災として主眼の置かれていなかった“堤体の液状化”による被災も多数発生している。

また、東北地方から関東地方の太平洋沿岸を中心に地殻変動に伴う“地盤沈下”が観測され、浸水被害が拡大・長期化した地域も多い。

このため、河川・海岸施設における地震の影響として、次のものを考慮することとし、震災後に改定された「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 平成 24（2012）年 2 月」に準拠して、施設設計を行うこととした。

- 構造物の重量に起因する慣性力や地震時土圧、地震時動水圧
- 地盤や堤体の液状化
- 広域沈下量（広域な地盤沈降の影響）

【参考】

東北地方太平洋沖地震による堤防被災のなかには、堤防機能を失するような大規模な被災も含まれていた。この地震による河川堤防の被災は、過去の地震による堤防の被災と比較して範囲も規模も甚大であったことから、「東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について 報告書 平成 23（2011）年 9 月」に整理された知見を踏まえ、平成 19（2007）年 3 月に策定された「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」のⅠ共通編及びⅡ堤防編の見直しが行われ、平成 24（2012）年 2 月に「河川構造物の耐震性能照査指針・解説」Ⅰ共通編及びⅡ堤防編として改訂されている。

(3) 耐震対策に関する留意事項

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。河川管理施設や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の対応を実施するものとされている。

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

設計津波に関する新たな考え方の導入に伴い、施設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。

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。

3) 地殻変動に伴う地盤沈下への対策

施設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必要な高さが確保されているように、施設の天端高に、あらかじめ地盤沈下の予測量を加えておく必要がある。

4) 液状化による堤体の沈下の対策

施設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、あらかじめ液状化による沈下の予測量を天端高に加えておく対策も考えられる。

4. 河川・海岸施設の復旧・復興における環境配慮について

(1) 目的

河川や海岸堤防の復旧にあたり、堤防高がレベル1津波対応としたことや粘り強い構造を採用したことから、景観のみならず自然環境への影響も懸念された。そのため、県では環境各分野の専門家からなる「宮城県環境アドバイザー」制度を立上げ、各環境アドバイザーから復旧工事の環境配慮事項について、助言・指導を受け、工事を実施してきた。

震災から10年が経過し、河川・海岸の復旧工事が完了するのを契機に、これまで各工事箇所環境アドバイザーの意見を踏まえ実施してきた環境保全対策について、その成果と課題等を環境配慮記録誌としてとりまとめた。

(2) 復旧・復興工事実施にあたっての環境配慮の体制

○環境配慮の体制

- ・復旧・復興工事による大きな変化に対する環境配慮検討体制の不足、県内の海岸堤防・河川堤防を管轄する課が多岐にわたることから、外部有識者を含む環境アドバイザー会議を新たに立上げ、検討体制を構築した。
- ・現地視察、会議形式による検討、環境配慮の実施状況の確認を定期的に行う。

○環境現況調査

- ・調査箇所は、レベル1津波堤防による復旧・復興工事を行う78箇所で行った。(図2-35)
- ・調査の結果、多数の動植物種(植物・昆虫類・魚類・底生動物・鳥類)を確認した。

(3) 環境配慮対策の実施

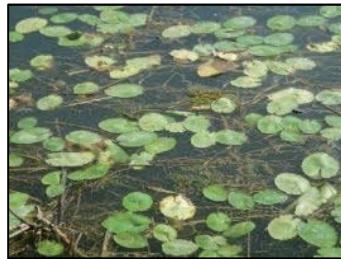
○重点箇所の抽出とその対策

- ・環境アドバイザーの意見を受けながら、貴重な重要種が存在する箇所(重点箇所)を抽出し、重点的に対策を実施した。
- ・重点箇所においては、復旧計画、現況調査、課題の洗い出し、環境配慮対策の実施状況を整理した。
- ・継続的にモニタリングを実施し、経年的に調査結果を整理した。

重要種の確認事例



ハマゴウ
(七北田川蒲生)



アサザ
(大沢川)



アカデガニ
(津谷川)

第1章
「災害に強い
まちづくり宮城
モデル」の構築

第2章
「安全安心な
まちづくり」

第3章
「道路・港湾」
「空港」等
「災害に強い」

第4章
早期復旧と復興の
加速化に向けた
取組

第5章
「311」伝承・減災
プロジェクト
震災教訓の伝承

第6章
「復旧・復興事業に
よる課題」

第7章
「復旧・復興事業に
よる整備効果
事例集」

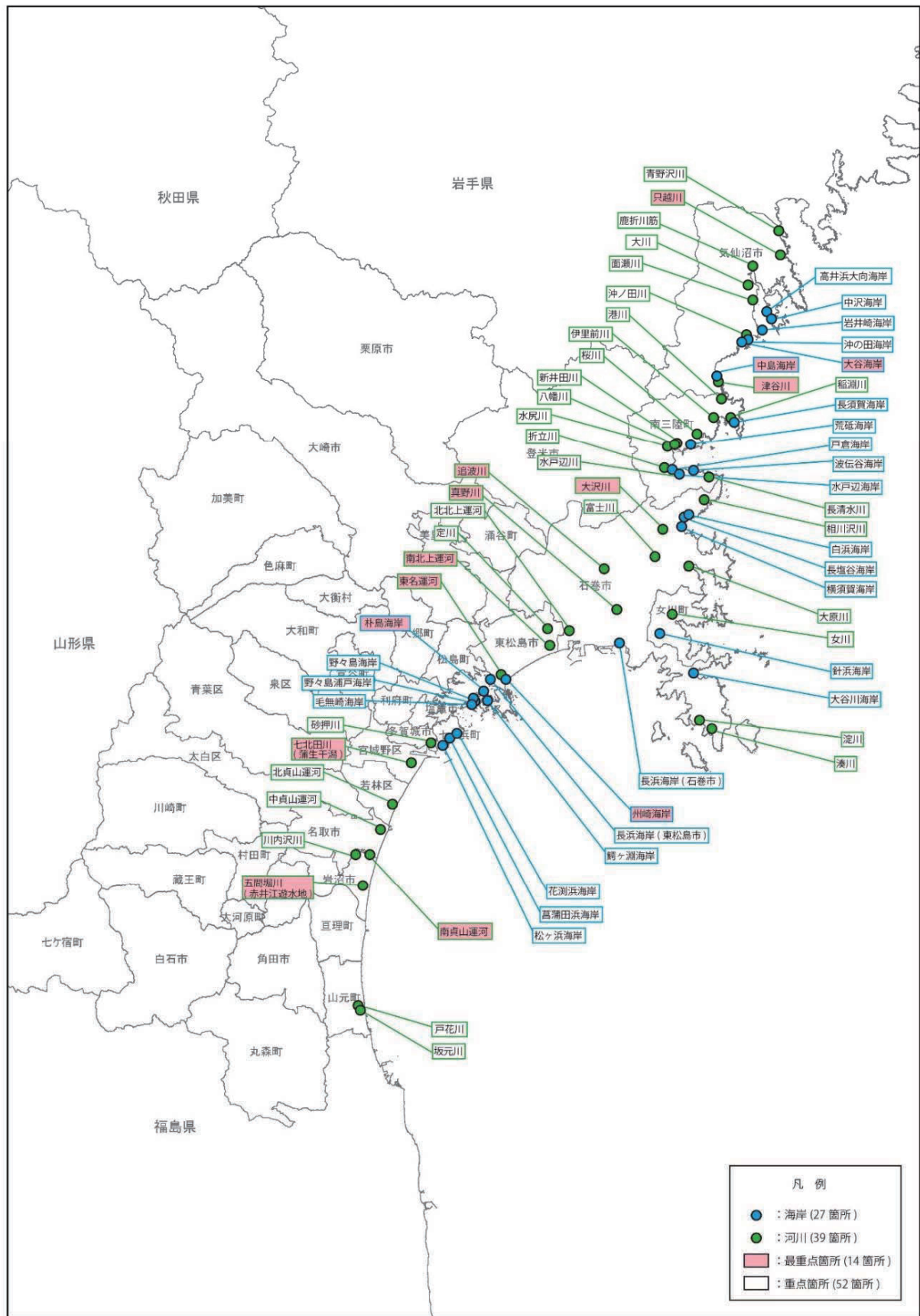


图 2-35 河川・海岸現況調査実施地点

○配慮事例：計画位置の変更により、場の改変を回避（七北田川 蒲生干潟）

- ・当初計画より堤防法線を陸側にセットバックし、干潟や現況堤防にかからないように計画の見直しを行った。

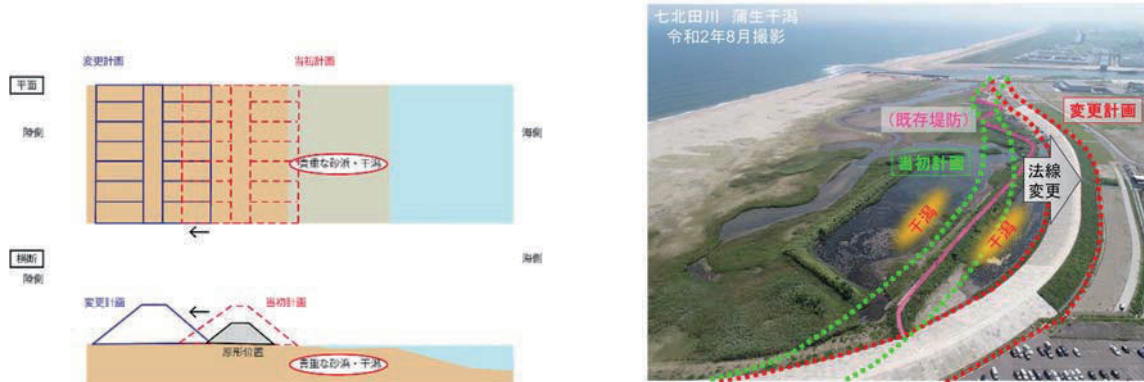


図 2-36 環境配慮対策事例（七北田川 蒲生干潟）

○配慮事例：計画内容の見直しにより、場の改変を一部回避（大沢川・皿貝川）

- ・当初計画より、背割堤の復旧範囲を必要最小限にとどめることにより、ワンドに生息する動植物への影響を抑えるように配慮した。



図 2-37 環境配慮対策事例（大沢川・皿貝川）

○配慮事例：施工後に場の創出を図る（津谷川）

- ・堤防工事により既存の湿地が大きく消失することから、湿地に生息・生育する動植物の生息環境の保全のため、湿地の再整備を行った。

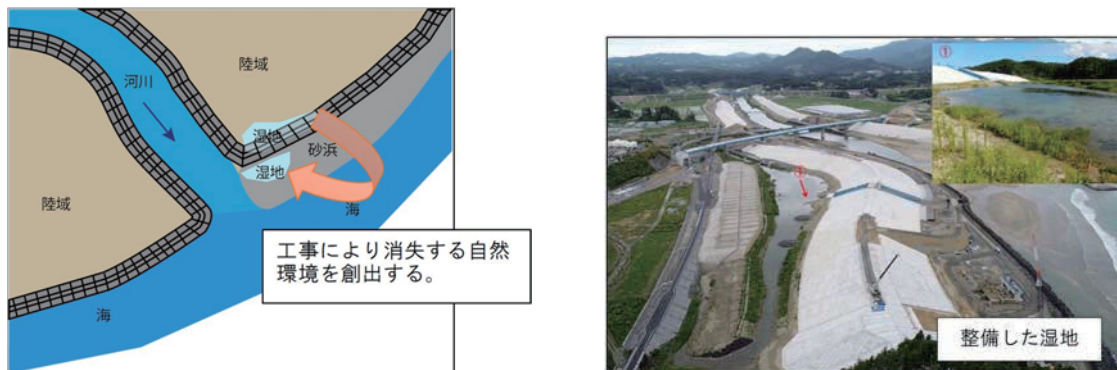


図 2-38 環境配慮対策事例（津谷川）

(4) 総括

- ・これまで実施してきた自然環境への配慮事項について、宮城県環境アドバイザーより、取り組みや成果、今後の課題について総括的なご意見をいただいた。

【環境アドバイザーからの主な意見】

- ・環境アドバイザーと行政担当者間で、信頼関係を醸成することが何より大切であると感じた。もともと環境アドバイザーと行政職員は異なる風土の中で仕事をしてきたし、自然環境への向き合い方を巡って対立も経験してきた。お互いの立ち位置を尊重しながら、意見・アイデアを率直に交換すること、歩み寄りと改善を繰り返していくことが、新たな成果に繋がるのではないかと考える。
- ・今後も、県が県民の財産としての沿岸域生態系や生物多様性を、防災・減災インフラと両立させながら、配慮し保全していくことを強く望む。
- ・大震災から10年を経過し、被災した沿岸域では復旧工事が完了したところもあるが、現在進行中のところも少なくない。そのため、干潟に生息する底生動物については、これからも継続した調査が必要である。少なくとも、防潮堤や河川堤防あるいは護岸工事が完了し、工事によるインパクトが皆無になり、群集組成が安定した状況を示すようになるまではモニタリングが必要である。
- ・自然の営みは時間軸が長いという特性があるので、復旧後の「復旧工事でそれに関わる環境配慮の対策が適正だったかどうか」という復旧事業の評価・検証については、短期的なもの以上に、中長期に渡って行ってほしいと希望する。
- ・報告書に掲載されている各事業についての環境配慮の記録は大変貴重である。様々な制約から、十分な環境配慮がされていなかったと将来評価されてしまう事業もある。しかし、そのような部分こそ、今後さらに良い防災・減災インフラを整えていく上で、極めて重要な知見になると考える。
- ・震災から10年の節目を迎え、復旧・復興事業は、まずは一定の到達点に達すると思われるが、県においては今後とも県職員や我々のような学識経験者が連携して復旧・復興工事の事後モニタリングを続け、必要とあれば遅滞なく環境復元・近自然化工事に取り組む体制を維持することが重要と考える。
- ・この記録誌は復興と保全とのはざままで人々が格闘した記録であり、次代の担い手へ渡されたバトンでもある。10年にわたる復旧事業の結果を改めて検証し、問題点や改善点を洗い出し、将来に向けて有効に活用してほしい。
- ・震災復旧・復興事業の完成に伴って環境アドバイザー制度は終了するが、環境配慮が必要な事業がなくなったわけではない。例えば震災以後推進されている発電事業計画などに、残念ながら県では専門家が指導や助言をして十分に機能する仕組みがない。沿岸部の環境保護に大きく貢献した環境アドバイザー制度を存続させ、民間を含む事業計画も対象とする仕組みを確立されるよう強く希望する。
- ・河川、海岸の復旧・復興事業の工事は完了するが、環境アドバイザーの意見を参考に環境への配慮が行われた設計や施工については今後も継続して監視し、その妥当性を引き続き評価していくことが必要と考える。