

東日本大震災の教訓を踏まえた防潮堤の設計・施工について

宮城北部森林管理署 海岸防災林復旧対策事務所 ○宮下 崇 水村 年一

1 はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した津波は、東北地方沿岸の海岸保全施設等に多大な被害をもたらし、当署管内の気仙沼地域においても、防潮堤等の治山施設が倒壊、流失、沈下の被害を受けた。

それらの復旧にあたっては被災状況や被災メカニズムから得られた教訓を踏まえた、あらたな防潮堤の構造設計が求められている。そこで本発表では、施設の復旧方針とそれに基づく構造物の設計および調査・解析方法において、従来の手法に加え、あらたに検討・実施した内容について整理し、今後の津波被害等に対応した防潮堤設計においての参考となることをねらいとした。

2 検討に至った経過 ～被災から復旧方針の決定まで～

(1) 被害の状況

平成 23 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生、それに伴う巨大津波により、東日本各地に甚大な被害がもたらされた。

こうした状況に対応するため、管内の気仙沼地区では、宮城県知事より要請を受け、国が代行して行う特定民有林直轄治山施設災害復旧等事業の 4 箇所（実線枠で表示）と、国有林野内直轄治山施設災害復旧事業の 4 箇所（点線枠で表示）、計 8 箇所、総延長約 4.4 k m、面積約 16.4ha において復旧事業を計画しているところである（図 1）。



図 1 計画箇所図（宮城県気仙沼市）

下の写真は計画箇所最北部に位置する、尾崎・千岩田海岸の被災状況である。防潮堤のほとんどが転倒・流失・沈下しており（写真 1）、背後の防災林においても全て流出してしまい、陸地だった場所まで浸水している状況が確認できる（写真 2）。



←
写真 1



→
写真 2

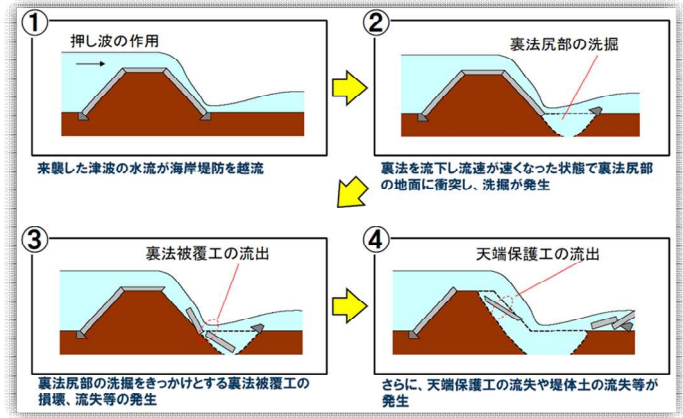
なお、他の 7 海岸においても同様の被害があり、早急な対策が必要となっている。

(2) 復旧方針

① 被災のメカニズム（裏法尻部→裏法被覆部→天端被覆部の被害）

防潮堤は、波浪、高潮、津波等の侵入及び海岸の浸食を防止することにより、海岸防災林の基礎とすることを目的としている（治山技術基準解説〔防災林造成編〕）。

右の図は、今回確認された防潮堤の被災メカニズムである。越流した津波が裏法尻を洗掘し、それをきっかけに裏法・天端被覆部が流出した。さらに堤体土の流出が発生し、こうした防潮堤は津波の第2波、第3波に対しては、防災機能を発揮することができなかった。



出典：「海岸堤防等の被災状況分析」

海岸における津波対策検討委員会 第3回会議資料

② 中央防災会議等からの提言

こうした状況を受け、中央防災会議では、地震・津波対策に関する専門調査会を設置し、津波に対する基本的な方針を示した。

まず、今次のような千年に1度と言われる巨大で発生頻度のきわめて低い津波を「最大クラスの津波（レベル2津波）」とし、三陸津波やチリ地震津波など、数十年から百数十年に1度程度発生する津波を「頻度の高い津波（レベル1津波）」と区分し、レベル1津波に対しては、海岸堤防により、確実に津波から街を防御する、レベル2津波に対しては、住民の避難を軸とし土地利用や防災施設の整備など、ハード・ソフトを総動員する「多重防御」の考え方で減災するとした。

そして、海岸堤防については、津波が越流し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を整備していくことが必要と示された。

この中央防災会議の提言に基づく「海岸における津波対策検討委員会」の方針を受け、宮城県では、防潮堤の高さを決定するための設計津波の水位の決定や、粘り強い構造の具体的な構造を示した。

そして、治山施設としての防潮堤の構造については、これらの提言・方針を踏まえて検討し、決定した（図2）。

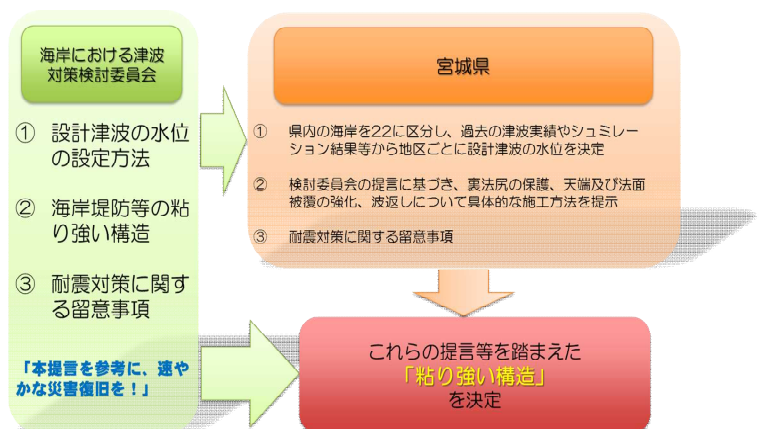


図2 構造決定のプロセス

3 検討の方法および結果 ～構造の設計と調査・解析～

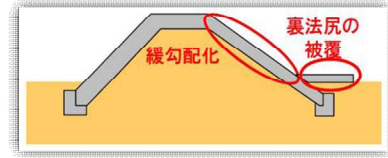
(1) 構造の設計

① 粘り強い構造

先に述べた、粘り強い構造とは、基本的な考えとして、施設の破壊・倒壊までの時間を少しでも長くする。あるいは、全壊に至る可能性を少しでも減らすことを目指した構造で、具体的には以下のような工夫を施すものである。

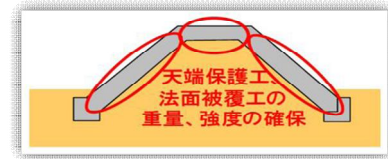
ア 裏法尻部の保護

越流した津波で最初に被害を受ける裏法尻部をコンクリート等で被覆し、洗掘に耐える構造とする。



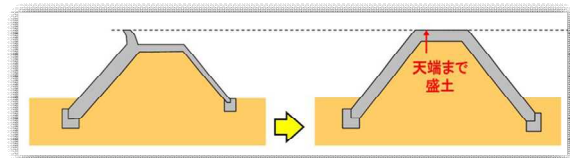
イ 天端・法面被覆工の増厚

従来行ってきた天端及び法面被覆工の重量や強度を上げ、津波の高速な水流でも流出しない構造にする。



ウ 波返し工の見直し

津波により倒壊等が確認された波返しについては、天端まで盛土し、前法、天端、裏法を一体とすることで構造を強化する。



宮城県土木部
「東日本大震災公共土木施設等復旧方針」(H24.2) より抜粋

② 実際の施工例（野々下海岸治山工事）

ここで検討結果として、これらの構造を取り入れ、現在施工している野々下海岸について説明する(図3)。

防潮堤の高さは、

T.P.+9.8m で、その高さまで背後盛土をし、前法から法尻まで一体的な構造とした。

また、天端及び裏法被覆については従来20cm程度だったものを50cmに増厚し、被覆工をおこなった。

さらに、法尻の保護

については、止水矢板工を採用し、ある程度の洗掘があった場合でも法尻の侵食を防ぐ構造とした。

なお、止水矢板の有効長（打込長）は当該地域の被災状況（洗掘深1.5~2.0m）を考慮し、2.0mとした。

- 場所 宮城県気仙沼市野々下130外国有林346林班
- 工種 防潮堤工
- 構造 高さ T.P.+9.8m 延長 131.8m

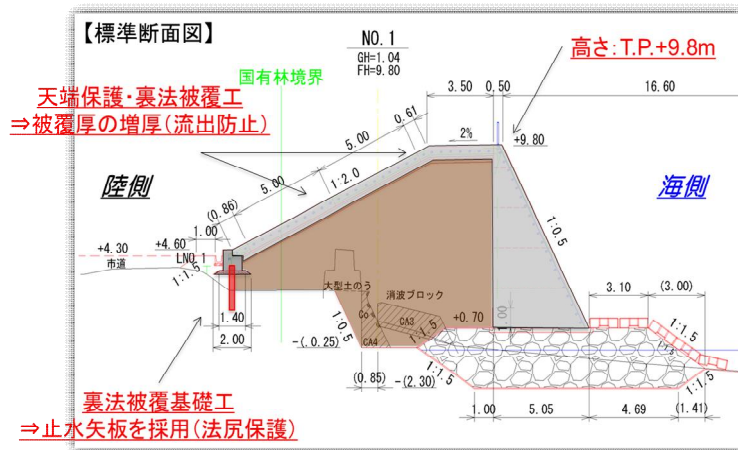


図3 野々下海岸治山工事 標準断面図

(2) 調査・解析

① 基礎地盤の液状化現象

ここからは、施設の耐震設計を検討するための調査・解析について述べる。

本稿、被災状況の説明において、防潮堤が転倒・流失した状況をご覧頂いた（写真1）。ボーリング調査を行ったところ、そのような場所では、軟弱な粘性土や砂質土が基岩上に厚く堆積した「埋没谷」と呼ばれる地形が確認され、併せて液状化判定においても「地盤が液状化する可能性が高い」という結果が示された（図4）。

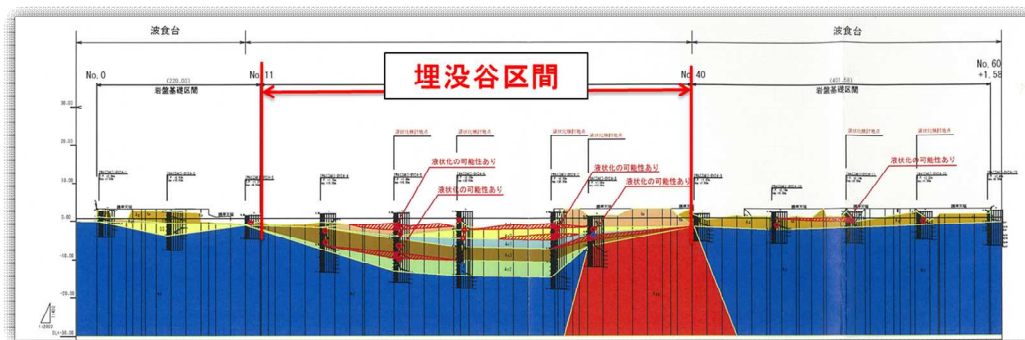


図4 地質断面図および液状化判定結果図

このように、防潮堤が倒壊・流出した場所と埋没谷の位置がリンクしており、地盤の液状化が倒壊・流失の一因であることが確認できる。

② 動的解析（シミュレーション解析）

このような、地盤の液状化の可能性が示された箇所については、今回、施設の耐震設計を検討するにあたり、より精度の高い、シミュレーションによる解析手法を導入した。

従来の設計では、設定した断面について、転倒・滑動および地盤支持力に対する安定計算を経て、断面を決定するが、耐震設計については、施設の規模が大きいものなどに限り、一定の地震動を考慮した安定計算をおこない、安定性を確認してきた。これはあくまで転倒・滑動に対する照査であり、施設の沈下については考慮されていない。

防潮堤は施設の目的から、地震動に対し、設計高を保持することが重要であるため、今回の耐震設計では従来の手法で決定した堤体断面に対し、最大クラスの地震動を想定したシミュレーションをおこない、施設の沈下量を含めた各種変位量を照査した。

解析のためのメッシュモデルは実際の土質試験等の結果を反映し、構築されているため、堤体や基礎地盤の変形、応力、ひずみ量を高精度で判定できる（図5）。

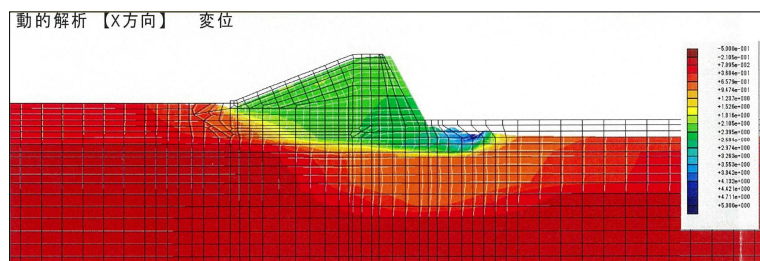


図5
解析結果の一例
(中央の突起が防潮堤)解

③

析結果

ここで検討結果として、前述した埋没谷区間において実施したシミュレーション解析について説明する。解析では現地盤上に施設を設置した場合と、地盤の液状化に対し、一定の条件で対策工を施した場合の変位量の比較をおこなった。

対策前の沈下量-44.7cm に対し、対策後は-18.4cm となり、地盤の沈下が抑えられたことが確認できた(図6)。

しかし、対策後においてもなお沈下が確認されることから、地盤改良の工法や改良率などのさらなる検討が必要であると考ええる。

対策工条件	
・改良工：	グラベルコンパクション工法
・改良率：	22.8%
・杭間：	1.3m (φ700mm)

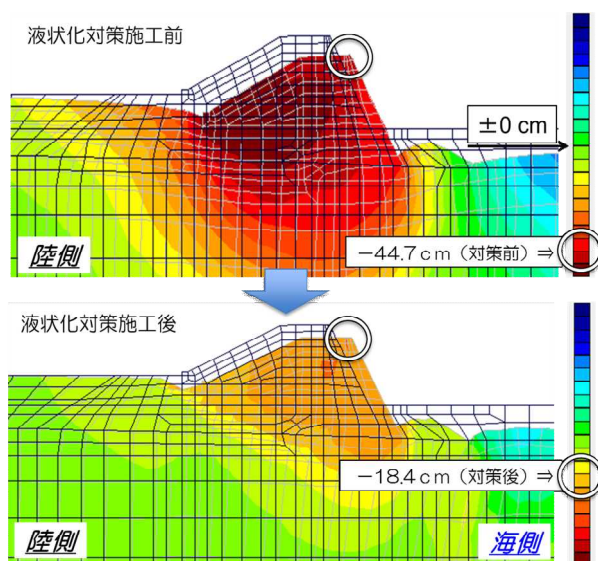


図6 地盤改良前後のシミュレーション結果 Y軸変位(沈下量)

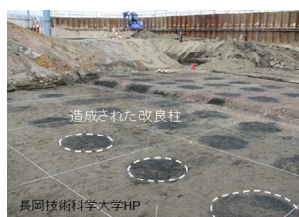
4 考察および今後の取り組み

(1) 地盤改良工法の検討

地盤改良の方法としては締固め工法、固結工法などが一般的であるが、それぞれ表のような工法・特徴がある。各海岸ごとに、現地にあった工法を検討するが、併せて、経済性、資材の供給、工期等を含めて総合的に判断することが必要となる。

改良方法	工法	特徴
締固め工法	グラベルコンパクション工法 ・軟弱土を一度引き抜き、砕石(グラベル)を投入しながら打ち戻し、砂杭を造成	○長所 ・実績が多く、信頼性が高い。 ・土質を問わず、あらゆる地盤に対応できる。 ×短所 ・良質な改良材(砕石)が必要であり、供給量の確認を要する。 ・振動、騒音による影響が大きい
	深層混合処理工法 ・軟弱土と安定材(コンクリート等)を攪拌混合し、所定の強度のパイ(杭)を造成	○長所 ・改良率を50%程度に抑えることができる。 ・施工効率が良く、工期短縮が可能。 ×短所 ・グラベルコンパクション工法より高価。 ・機械攪拌のため、構造物に密着した施工は不可能

表 地盤改良の主な工法と特徴



(2) 今後の取り組み

今後は他の7海岸についても引き続き復旧事業を進めていくこととなるが、施工にあたっては関係機関との調整や地域住民の理解が必要不可欠となる。先の野々下海岸においては、集落迂回のための工事専用路の設置等について地域住民と話し合いを重ね、同意を頂くことができた。

同様に他の海岸についても、住民説明会等を通じ、懇切丁寧な説明を心掛け、早期の復旧に努めていきたい。