

防潮堤基礎の地盤改良工法の選定と施工について

～気仙沼市尾崎・千岩田海岸～

宮城北部森林管理署 海岸防災林復旧対策事務所
災害対策専門官 ○宍戸 昭吾

1. はじめに

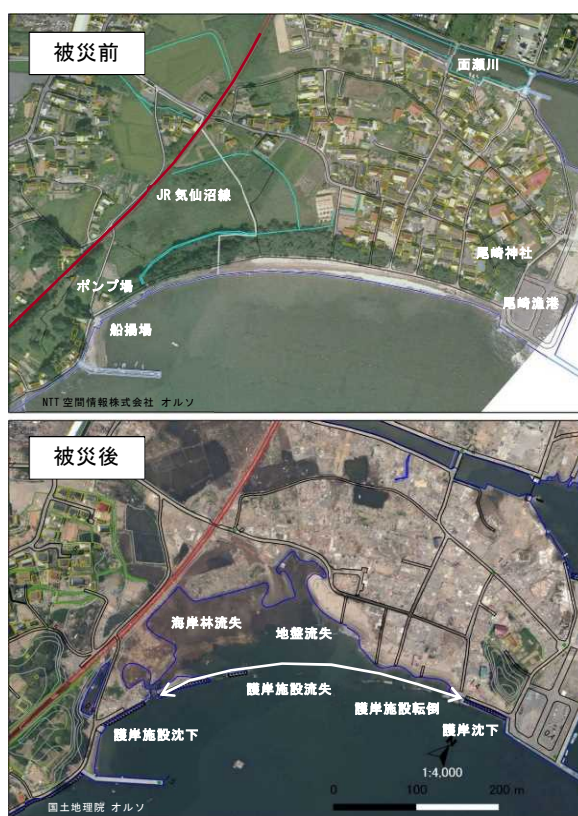
平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う大津波により、海岸防災林や防潮護岸工等の治山施設は壊滅的な被害を受けた。内湾と言われる気仙沼湾内に位置する尾崎・千岩田海岸では、既設防潮護岸工 514m のうち、約 7 割の区間が倒壊・流出・沈下し、海岸防災林約 0.7ha の消失のほか、海岸線から放射線状に約 1.5km の浸水範囲が確認された。（図－1、写真－1）

復旧にあたっては、津波や高潮から背後に直接的な被害を防止するため、発生頻度が数十年から百数十年に一度程度と想定される津波に対応した防潮堤を計画した。

しかし、防潮堤を支える基礎地盤には緩い細砂や軟らかいシルトが堆積しており、支持力不足やすべり破壊のほか、地震時には液状化の発生が懸念されたため、対策工として実施した地盤改良工の有効性について報告する。



図－1 位置図



写真－1 被災前後の尾崎・千岩田海岸

2. 防潮堤の概要

復旧する防潮堤は、津波や高潮による過去の被災履歴等の実績・シミュレーションから設定された「宮城県沿岸の海岸堤防高の設定」に基づき、明治三陸地震時の津波高を指標

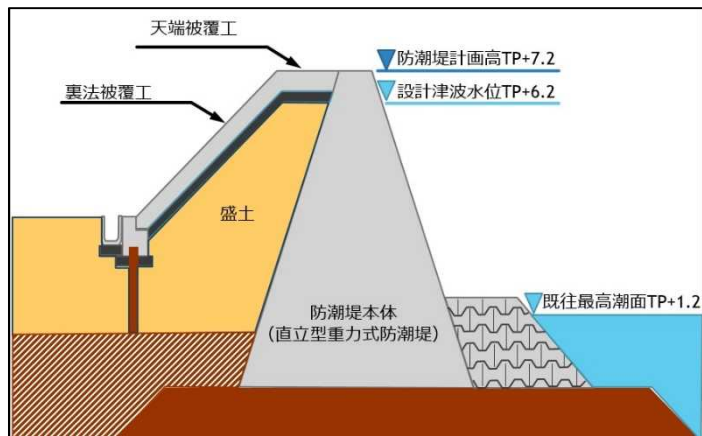
に高さ 6.2m を設計津波水位とし、
 余裕高 1m を加え 7.2m とした。

構造は、コンクリートによる直立型重力式防潮堤とし、越波による堤体の浸食を防止する必要から粘り強い構造とすべく、天端被覆工、裏法被覆工を計画した（図－2）。

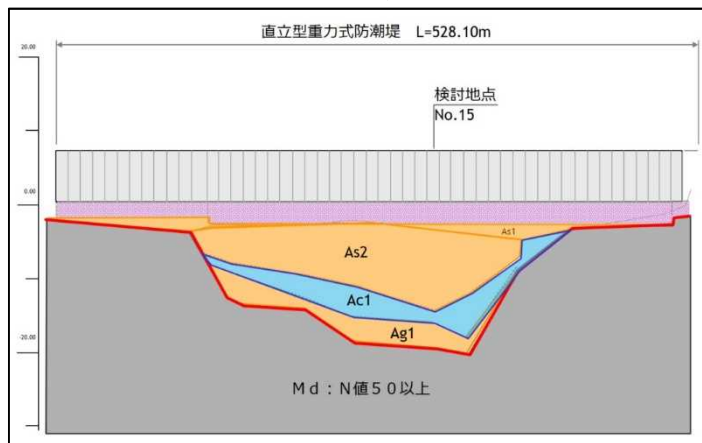
尾崎・千岩田海岸の地層は、起点及び終点側が平坦面を形成した岩盤地形、中央部はやや深く沈んだ谷地形を形成し、砂質土主体の沖積層が広く堆積していた。

中央部の基礎地盤には、砂質土層 (As1, As2, Ag1) と粘性土層 (Ac1) が分布しており、液状化、沈下、円弧すべりの各判定において常時・地震時共に NG となり、対策工が必要であることが判明した（表－1）。

また、支持地盤は、不規則に傾斜した硬質の泥岩層 (Md : N 値 50 以上) が分布していた（図－3）。



図－2 防潮堤構造図



図－3 地層構成図

表－1 基礎地盤の安定検討

検討内容	判定結果	考察
液状化判定	地震時の As2 層において「液状化する可能性が大きい」と予測される	N 値の低い As2 層がやや厚く、部分的に液状化は発生した場合でも、構造物に与える影響が大きい。
沈下検討	最大沈下量 : 46cm 位置 : 防潮堤陸側天端	As2 層の即時沈下と Ac1 層の圧密を含む、沈下量はやや大きく、許容できる範囲ではない。
円弧すべり安全率 常時 : $F_s=1.3$ 以上 地震時 : $F_s=1.0$ 以上	(陸側) 常時 : $F_s=1.450$ OK 地震時 : $F_s=1.122$ OK (海側) 常時 : $F_s=1.065$ NG 地震時 : $F_s=0.687$ NG	海側は安全率が許容を下回っており、堤体の安定を確保できない。

3. 対策工の検討

対策工は大きく 8 つに分類されるが、当現場では地盤改良を中心とする固結工法が適当と考えられた。次に固結工法の中でも改良目的(支持力増加, すべり破壊防止)、対象土質 ($N \leq 21$ の砂質土, $N \leq 5$ の粘性土)、現場条件(広範囲な施工, 大型機械施工可能, 周辺に施設なし)、深度(最大 20m 程度)、経済性などを考慮し、機械攪拌方式の深層混合処理工法を選定した。

更に、主たる機械攪拌方式(類似工法)の中でも対象地盤への適用性や施工性において最も優位と判断した「エポコラムーLoto 工法」を選定した。

以下に、対策工の選定フローを示す（図－4）。

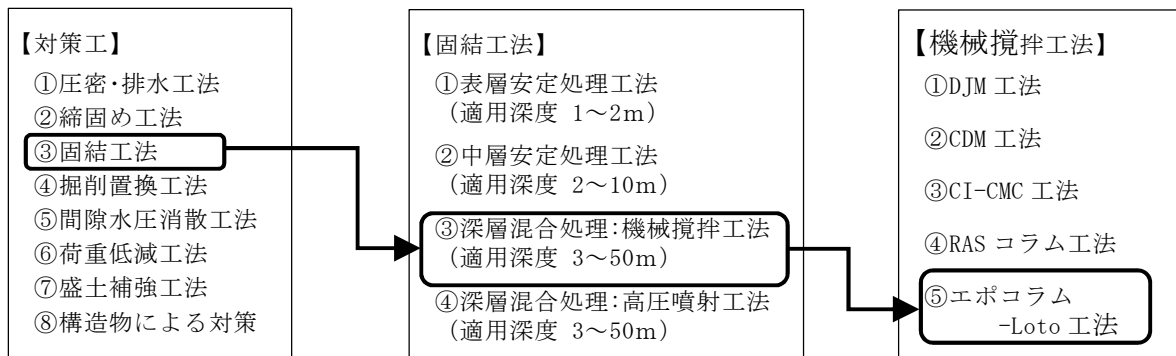


図-4 対策工選定フロー

4. 工法の概要と特徴

エポコラム-Loto 工法は、地盤中においてセメントスラリーと言われるセメントと水の混合液を注入しながら籠状攪拌翼の外翼と芯翼、中翼と掘削ヘッドが相対して回転する複合相対攪拌機能により、三次元的な混合と練り込みを行う工法である(写真-2、図-5)。低速回転・高トルクにより大口径コラムを造成でき、不規則となっている着底部の硬質地盤にも対応するため、軟弱層を残すことなく改良が可能である。

各々の攪拌翼は外翼3枚および芯翼・中翼各2枚が羽根切り作用に伴って相対回転する翼間の土を強制的に練り込む。φ300mm程度の転石が点在するN値40~50程度の礫質土層であっても、この作用により標準φ1.6m~最大φ2.5mの大口径コラムを均質に造成する。



写真-2 吐出状況

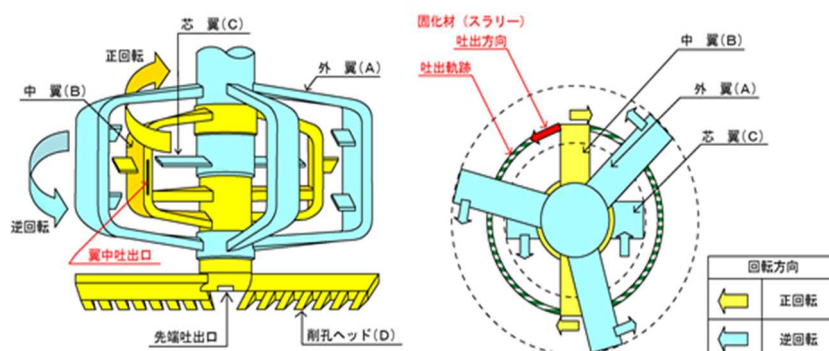


図-5 籠状攪拌翼と複合相対攪拌機能

5. 施工の結果

(1) 施工条件

現地の土質条件と配合試験をもとに、改良仕様を次のように設定した。

- 改良径 : φ2.0m
- 改良深度 : 捨石マウンド直下から泥岩層(Md層)に達するまでの深度
- 改良強度 : 重力式擁壁部 … 900 kN/m² (セメント添加量 150kg/m³)
- 背面盛土部 … 300 kN/m² (セメント添加量 125kg/m³)
- 改良率 : 重力式擁壁部 … 78.5% (接円配置)
- 背面盛土部 … 67.2% (格子状配置)

※試験練りで必要強度の3倍を室内目標強度に設定し、セメント添加量を決定

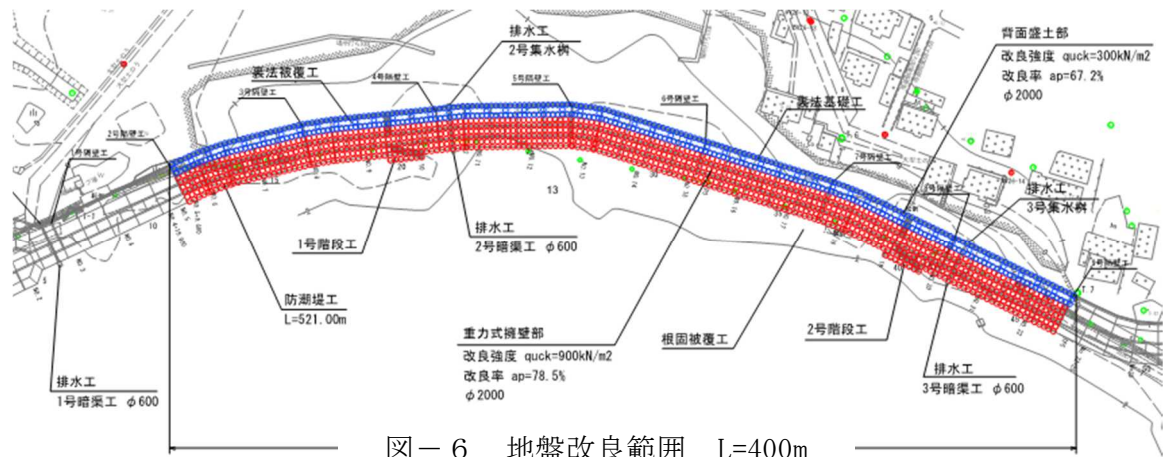


図-6 地盤改良範囲 L=400m

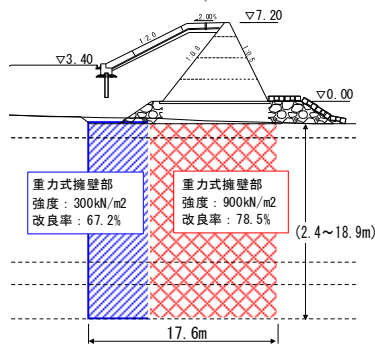


図-7 標準断面図



写真-3 地盤改良機



写真-4 ヤード全景

(2) 施工の確認

地中にスラリーを注入しながら攪拌するため、注入量や着底確認は目視では不可能である。従って、改良機に取り付けられた計測器の各データにて確認する必要がある。

オペレーター室に取り付けられたモニターに深度や速度のほか、注入量等がリアルタイムで送られてくることから、施工管理も可能となる（写真-5、写真-6）。

また、施工中に漁場へのスラリー流出がないよう配慮する必要から、仮設鋼矢板とシルトフェンスを設置。結果として、改良による地盤隆起や巻きだしによる矢板の変形もなく、心配されたスラリー流出は確認されなかった（写真-7）



写真-5 モニター確認



写真-6 モニター画面



写真-7 影響確認

(3) 品質確認

品質データとして、改良体の圧縮強度は室内試験と同等の数値である目標強度の約3倍が確保された。床付け面における出来形(改良径)確認においても所定の品質を確認した。

基礎支持地盤が大きく傾斜し、場所毎に変化する改良深の確認は電流の抵抗値により着底を確認することが出来た（表-2，図-8，写真-8，写真-9）。

表-2 目標強度と改良強度

箇所	材齢 (日)	目標強度 (kN/m ²)	圧縮試験結果(kN/m ²)				強度割合 (平均値%)
			強度1	強度2	強度3	平均	
擁壁下部 ①	28	900	3444.8	2527.2	2007.4	2659.8	2.96倍 (97.3%)
擁壁下部 ②	20	900	2206.6	2819.8	3304.3	2776.9	3.09倍 (101.6%)
擁壁下部 ③	21	900	3282.7	2701.0	2308.3	2764.0	3.07倍 (101.1%)

全体平均値 $\sigma_{ave} = 2733.6$



写真-8 強度確認



写真-9 改良径確認

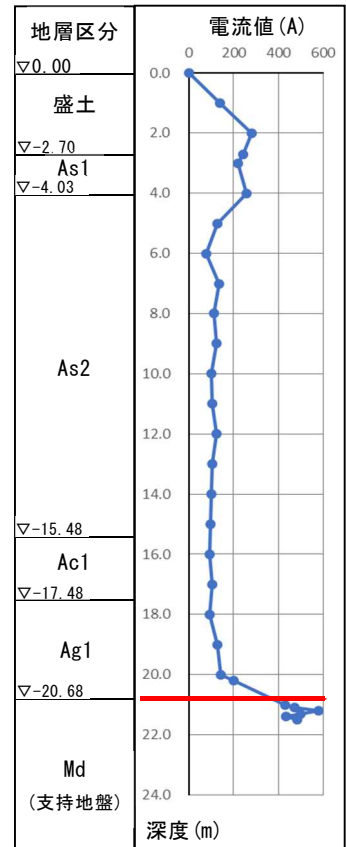


図-8 抵抗値データ

6. 留意点と展望

(1) 支障物

施工中に発生した問題として巨大な石や被災した既設護岸のコンクリート塊が地表面から GL-3.0m に出現し、これら支障物による施工不良が懸念された (図-9)。

エポコラム工法では、礫径 $\phi 300\text{mm}$ 程度までの地盤には適用可能であるが、この状況を見逃して施工した場合、改良機を損壊させることになる。よって、地盤改良に先立ち、必ず改良範囲全体の障害物確認と撤去を実施する必要がある (写真-10, 写真-11)。

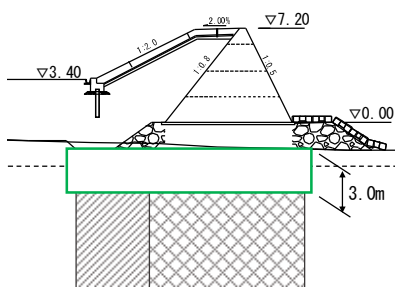


図-9 支障物撤去範囲



写真-10 支障物



写真-11 撤去状況

(2) 変位制限

深層混合処理工法による地盤改良工事は、地中に固化材を注入しながら攪拌混合していくことから、施工中に周辺地盤へ隆起などによる変位の影響を与えるケースが多い。施工場所は海岸部であり問題となる構造物は存在しなかったが、橋梁部など変位制限のある近接施工においては、スラリー注入圧に応じた排土により内圧を開放する工法にて施工することも考える必要がある (図-10)。

(3) 今後の取り組み

近年は地中不可視部においても建設ICT導入による①施工管理の効率化、②出来形・出来高の見える化、③ヒューマンエラー防止、④施工の高品質化、が求められており、情報化施工と3Dモデルによる管理も今後発展が進むものと思われる(図-11)。

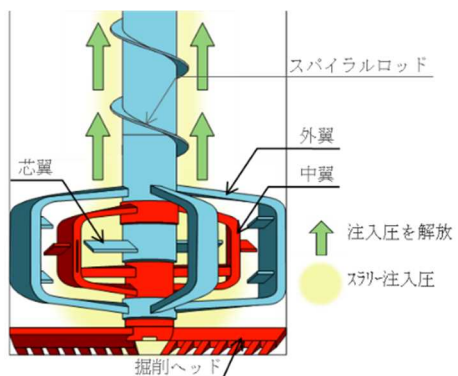


図-10 変位抑制型のエポコラム工法

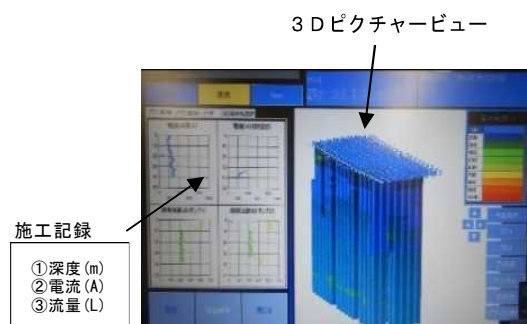


図-11 3Dモデル管理

7. おわりに

尾崎・千岩田海岸の基礎地盤のような硬質かつ粒径の大きい礫混じり地層条件や広範囲にわたる地盤改良工にあっては、エポコラム-Loto工法は改良径も大きく出来ることから、トータルコストに優れた工法であったと言える。また、高い攪拌能力により改良体強度のバラツキも小さく済み、出来形や品質面において有効性を確認し、無事堤体を完成させることが出来た(写真-12)。

その反面、施工前には必ず支障物の確認と撤去が必要であるほか、周辺地盤への変状による影響や施工ヤードの問題等、変位制限のある場所や狭隘な施工地での条件しだいでは別の工法を検討・選択する必要もある。

最後に今回の地盤改良工を実施するにあたり、多くの改良法があることが分かった。今後は防潮堤に特化した工法ということに留まらず、治山ダムの施工においても条件によっては何かしらの地盤改良工の導入が考えられるのではないかと、引き続き日々の研鑽を図る所存である。

謝辞

本発表に際し、尾崎・千岩田海岸の地盤改良工事と防潮堤の堤体を施工した株式会社フジタの技術スタッフならびに工事担当者の皆様には大変なご尽力を頂いたことに感謝申し上げます。



写真-12 堤体完成写真

参考文献

- ・平成25年度本吉地区治山工事实設計業務
- ・地盤対策工法技術資料(2018年11月) 小野田ケミコ株式会社