

# 東北沿岸部における震災復旧工事への適用事例

—SCM工法—

大内 伸一\* 結城 哲\*\* 久米 裕城\*\*\* 金川 博幸\*\*\*\*

## 1 はじめに

東北地方太平洋沖地震によって発生した大津波の影響で、東北沿岸部の海岸堤防は甚大な被害を受けた。仙台湾南部海岸では、すべての区間で津波が堤防を越流し、堤防決壊のほかに裏法面の流出や後背地盤の洗掘などの被害が見られた<sup>1)</sup>。

海岸堤防の復旧において国土交通省は、津波が堤防を越流した場合でも倒壊しにくい『粘り強い構造』をテーマとして掲げ、2012年度から復旧工事に着手している。

本文では、堤防裏法尻部の洗掘対策として、仙台湾南部海岸で実施したSCM工法（浅層・中層混合処理工法；NETIS:SK-020004-V）の施工事例について紹介する。

## 2 SCM工法の概要

SCMとは『Surface（表層/浅層）』『Compact（小型）』



写真-1 SCM施工機（ロータリーブレンダー方式）



写真-2 バケットミキシング方式

『Mixing（混合）』の3つのキーワードの頭文字をとって工法の名称としており、大きな特徴はコンパクトな機械を使用した地盤改良工法である。開発当初は浅層改良工法として施工実績を重ね、現在では適用範囲を広げて中層領域（ $L \leq 10\text{m}$ ）まで改良が可能である。

本工法は、汎用性の高いバックホウに特殊攪拌装置を取り付け、セメントスラリーまたはセメント粉体を原位置土と混合攪拌し、密実な改良地盤を造成する工法である。比較的浅い深度に対応するバケットミキシング方式と中層改良が可能なロータリーブレンダー方式があり、現場条件に応じて改良方式を選定することができる。また、改良材の添加量は目標とする強度に応じて設定できるため、改良材に無駄がないことに加えて、低強度から高強度までの改良が可能であり、あらゆる用途の地盤改良に適用できる。さらに粉体散布方式とスラリー攪拌方式の改良仕様を設けている。

写真-1にロータリーブレンダーを装着したSCM施工機を、写真-2にバケットミキシング方式の攪拌機を、図-1にスラリー攪拌方式による施工模式図を示す。

## 3 SCM工法の特徴

SCM工法の特徴は以下のとおりである<sup>3)</sup>。

- ① バックホウをベースマシンとしているため、機動性に優れている。
- ② 機械設備がコンパクトであるため、構造物近接・狭隘地においても効率のよい作業が可能である。
- ③ 専用の攪拌装置をバックホウに取り付けるだけでよいので、運搬・組立が容易で大掛かりな設備を必要としない。
- ④ 専用の管理システムにより、信頼性の高い施工が可能である。

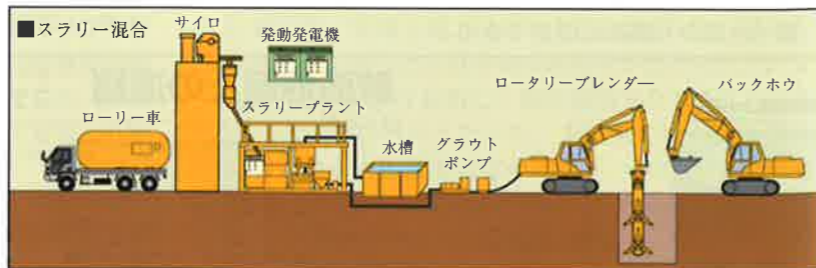


図-1 スラリー攪拌方式（施工模式図）

* ŌUCHI Shin-ichi	春山建設(株) 工事部 次長	宮城県岩沼市相原2-9-23
** YŪKI Akira	ライト工業(株) 東北統括支店 技術営業部 都市技術担当部長	宮城県仙台市宮城野区榴岡4-13-15
*** KUME Yu-ki	同上 同上 都市技術担当グループ長、技術士(建設部門)	同上
**** KANAGAWA Hiroyuki	同上 施工技術本部 地盤改良部 施工技術グループ長	東京都千代田区五番町6-2

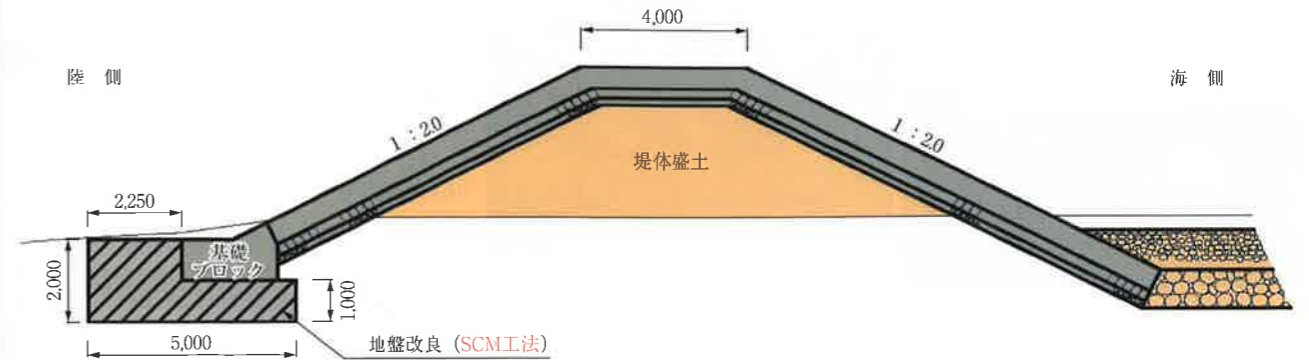


図-2 標準断面図（仙台湾南部海岸堤防）

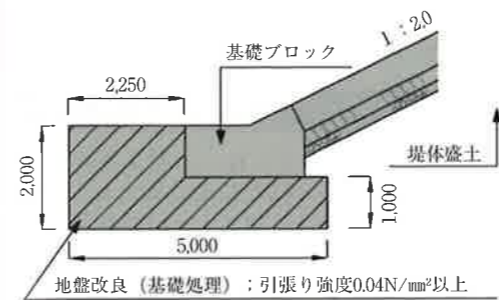


図-3 地盤改良範囲の断面図

- ⑤ セメント系・石灰系などのあらゆる改良材を使用できる。

## 4 仙台湾南部海岸における施工事例

海岸堤防の標準断面を図-2に示す。堤防裏法尻部の洗掘対策として、基礎ブロックの底部および側部に地盤改良が検討され、現地試験（試験施工）にてその適用性を確認した。

SCM工法では、2ケースの試験施工を実施した結果、適用条件を満たし、かつ経済的な改良手法が採用された<sup>2)</sup>。

### 4.1 試験施工

当該改良範囲は施工幅5.0m・改良深度2.0mであるが、基礎処理部の形状が横断方向に階段状であったため、試験施工では2ケースの試験を実施した。CASE1では全体を改良した後、不要となる箇所を掘削撤去する方法、CASE2では下部層を改良し、基礎ブロックの据付けおよび砂の埋戻しを行った後、基礎ブロック側部を改良する方法で試験が実施された。また、改良対象土質は砂層であり、ほぼ乾燥状態であったため、スラリー攪拌方式を選定した。

図-3に地盤改良範囲の断面図を示す。CASE1では不要となる箇所の掘削・撤去および処理、余分な材料の使用および攪拌手間の問題があり、CASE2では打継部の一体化、基礎ブロックとの境界面の品質確保および基礎ブロックへ与える変位が懸念された。CASE1の施工はロータリーブレンダー方式とした。CASE2の施工では、下部層の改良は作業半径を考慮してロータリーブレンダー方式で実施し、基礎ブロック側

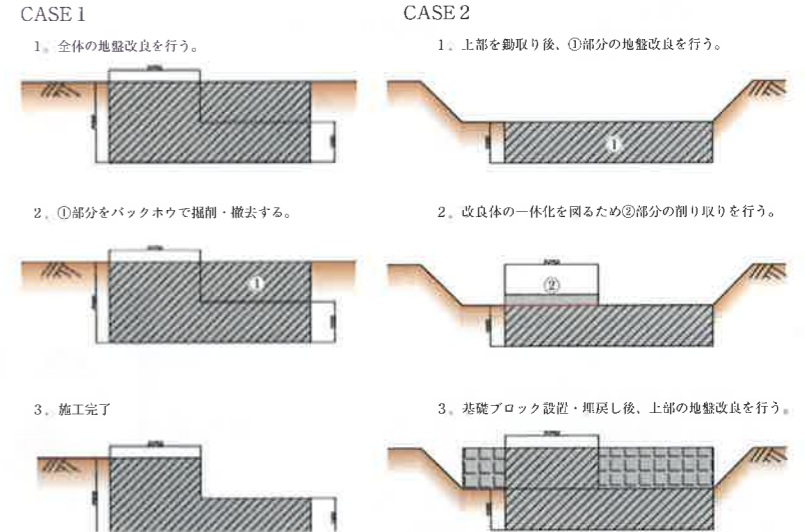


図-4 ケース別施工方法



写真-3 施工状況（CASE2）

部については境界面の品質確保や基礎ブロックへ与える影響を考慮してバケットミキシング方式とした。

試験施工の結果、CASE1では階段状に掘削・撤去することが困難であった。一方、CASE2では事後の掘起こし確認やオールコアボーリングおよび強度試験によって、打継部の一体化および目標強度を満足する改良効果が確認された。さらに、基礎ブロックに与える影響や境界面の品質についても良好であったため、CASE2の施工方法が採用された。

図-4にケース別の施工方法を、写真-3にCASE2の施工状況を、写真-4に打継部の確認状況を示す。

### 4.2 強度試験

試験施工後、一軸圧縮試験および割裂引張り試験を実施し、強度確認を行った。所定の一軸圧縮強度および引



写真-4 打継部の確認状況

表-1 発現強度一覧表

採取箇所	一軸圧縮強度		引張り強度	
	現場強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設計強度* (N/mm <sup>2</sup> )	現場強度 (N/mm <sup>2</sup> )	設計強度 (N/mm <sup>2</sup> )
1	10.9	≥5.0	0.98	≥0.04
2	10.0	≥5.0	1.14	≥0.04
3	11.0	≥5.0	1.16	≥0.04
4	11.0	≥5.0	1.17	≥0.04
5	9.89	≥5.0	1.14	≥0.04
6	6.78	≥5.0	1.01	≥0.04

\*：試験施工当初の暫定目標値

張り強度を満足する結果が得られた。

表-1に材齢28日における強度一覧を示す。一軸圧縮強度がやや低くなった箇所が見られるが、これはセメントスラリーの砂層への吸水が顕著に見られたため、攪拌時に混練性が低下したものと推察する。

### 4.3 混練性

スラリー攪拌方式では、攪拌装置の先端よりセメントスラリーを吐出しながら掘削攪拌を行うシステムであるが、改良対象土となる砂層の自然含水比が極めて低く、試験施工時には砂層への吸水が顕著に見られ、混合土の流動性の低下とともに混練性も低下した。

混練性の低下によって、施工能率の低下を招くだけでなく、品質の均一性に影響することが考えられたため、本施工を想定し、混合土の流動性を確保できる配合について検討した。

表-2に当該現場の砂質土の性状を示す。

### 4.4 配合検討

試験施工において、混合土の流動性の低下が確認され、配合の再検討が必要となった。本施工の配合については、施工性（混練性）の確保を目的として最適なセメントスラリー量を設定し、かつ所定の目標強度を満足する経済的な配合計画を行った。

セメントスラリー量の設定に当たり、第一段階として砂の吸水量の確認を行った。吸水量の確認では、砂の含水比を12.5%、15.0%、17.5%、20.0%、22.5%に加水調整した。含水比が22.5%に達した段階で表面に水分の残量が確認されたため、含水比が20%の時点で限界吸水量（砂（骨材）の湿潤状態）に達すると判断した。

含水比を20%とした場合の水分量を次式により求め、施工時に必要な水分量とした。

表-2 当該現場の砂質土の性状

	含水比 (%)	湿潤密度	乾燥密度
改良上部 (GL-1m以浅)	0.7	1.720	1.708
改良下部 (GL-1m以深)	4.8	1.737	1.654

表-3 各層の必要水分量

	水分量Mw(l/m <sup>3</sup> )	含水比ω (%)
改良上部 (GL-1m以浅)	342	20
改良下部 (GL-1m以深)	331	20

表-4 原位置土の水分量

	水分量Mw(l/m <sup>3</sup> )	含水比ω (%)
改良上部 (GL-1m以浅)	12	0.7
改良下部 (GL-1m以深)	83	4.8



写真-5 試料土の調整

$$\omega = \frac{ma - mb}{mb - mc} \times 100 = \frac{Mw}{Mb} \times 100$$

ω：含水比 (%)

ma：試料と容器の質量

mb：炉乾燥試料と容器の質量

mc：容器の質量

Mw：水分量

Mb：乾燥試料の質量（乾燥重量）

表-3に改良上部および改良下部の必要水分量を示す。また、表-4に原位置土の水分量（自然含水比から水分量を算出）を示す。写真-5は試料土の調整状況である。

表-3および表-4より、各層の必要水分量と原位置土の水分量の差を地盤へ添加する水分量とした。

以下に各層における添加水量を示す。

・改良上部層の添加水量  $W=342-12=330$

・改良下部層の添加水量  $W=331-83=248$

第二段階では、上記の添加水量を配合水量としてセメントスラリーを作液し、原位置土を用いた室内練混ぜ試験およびブリージング試験を実施した。練混ぜ試験では、第一段階で土粒子（砂）への吸水性について確認した結果、良好な練混ぜ状態を確保することができた。さらに、余剰スラリーの浮上がりやブリージングもなく、最適な配合であるものと判断した。

これらの結果を踏まえて、本施工に向けた室内配合試験計画を立案した。

表-5に改良上部の試験配合、表-6に改良下部の試験配合を示す。改良上部はバケットミキシング方式、改良下部はロータリーブレンダー方式の試験配合である。表-7は、室内の強度確認試験より決定した現場配合である。

地盤改良では、施工時の混練性を向上させるため、セメントスラリー量を増やすことが少なくない。しかし、水セメント比を一定に保った状態で、セメントスラリー量を増やしているケースが多いように見受けられる。これでは、セメントスラリー量の増加とともにセメント添加量も増加するため、不経済となる場合が多々ある。当然、目標強度を満足することが大前提であるが、混練性の向上にはセメント添加時の粘性抵抗を軽減する意味で水セメント比を上げることが有効であり、また経済的である。当該現場の配合再検討では砂（骨材）の吸水水量に着目した点で、確実かつ経済的な配合計画を立案できたものと考えている。

また、セメントスラリー系の地盤改良では、材料添加時の体積増加により盛上がり余剰土が発生するが、事前に砂への吸水量の確認を行ったため、本施工時の盛上がり余剰土が極めて少なく、経済的な施工であった。

本施工時の現場配合については、赤外線水分計を導入して適宜原位置土の水分量を調査し、配合水量の調整を行った。その結果、本施工では混練性や品質の均一性を確保することができた。

写真-6に赤外線水分計と試料土の状況を示す。写真-7はロータリーブレンダー方式による施工状況である。

## 5 おわりに

今回紹介した事例は、仙台湾南部海岸における津波越流時の洗掘対策として、地盤改良工事にSCM工法を適用した事例である。本事例の経験をもとに、東海・東南海・南海トラフ地震を想定した同様の工事や沿岸部の液状化対策などの耐震補強においても提案できるものと考えている。

SCM工法は、施工深度が10mまでの浅層・中層混合処理工法であるが、機械および工法開発を進め、適応範囲の拡大を目指している。

### 参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局仙台湾川国道事務所ウェブサイト：仙台湾南部海岸堤防復旧プロジェクト『明日へつなぐ』。
- 2) 仙台湾南部海岸二ノ倉工区北部第一復旧工事施工データ，平成24年8月。
- 3) SCM工法協会：SCM工法技術・積算資料第2版，平成22年9月。

表-5 改良上部の試験配合

セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	セメントスラリー量 (l/m <sup>3</sup> )
70	330	471	353
120	330	275	369
170	330	194	386

表-6 改良下部の試験配合

セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水量 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	セメントスラリー量 (l/m <sup>3</sup> )
70	248	354	271
120	248	206	287
170	248	145	304

表-7 現場配合

	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	セメントスラリー量 (l/m <sup>3</sup> )
改良上部 (GL-1m以浅)	110	330	363
改良下部 (GL-1m以深)	110	248	284



写真-6 赤外線水分計と試料土の状況



写真-7 施工状況