

CSG 工法による海岸堤防復旧

-仙台湾南部海岸井戸浦地区における国交省初の CSG 堤防の施工-

笹倉 伸晃*1・秦 宗之*2・関根 智之*3・松浦 亜祐美*4・小山 直樹*5・

RESTORATION WORK OF COASTAL LEVEES BY CSG METHOD

Nobuaki SASAKURA, Muneyuki HATA, Tomoyuki SEKINE, Ayumi MATSUURA, Naoki OYAMA



図-1 施工位置図



写真-1 CSG 製造プラント



写真-2 完成写真

研究の目的

仙台湾南部海岸は、東北地方太平洋沖地震による大津波に襲われ、海岸堤防がほぼ全域で全壊・半壊し、沿岸地域では甚大な被害が発生した。そのため、堤防復旧においては、「粘り強い構造」として、国土交通省初となる「CSG (Cemented Sand and Gravel) 構造」の海岸堤防が採用された。

本報告では、当社が施工した仙台湾南部海岸 CSG 海岸堤防において、今後、CSG 工法のより一層の高速大量施工および生産性向上を目的として導入・開発した技術を紹介するとともに、その効果について報告する。

技術の説明

CSG(Cemented Sand and Gravel)とは、建設現場近傍で容易に入手できる岩石質材料を分級、洗浄を行うことなく、セメントと水を添加し、簡易な混合設備を用いて製造したものである。CSG 堤防の施工に際しては、重力落下型混合装置「M-Y ミキサ」による CSG 混合設備を設け、開発した出荷・運行管理システムにより、ダンプトラックの運行状況等をリアルタイムに確認し、運搬車両の位置情報、荷積み時間、荷下し時間、CSG の製造から転圧までの時間管理を徹底した。また、CSG の敷き均しにおいては、「日当り施工量の増大」及び「CSG 混合から締固め完了までの時間短縮」、「CSG の平滑性確保」を目的として、マシンコントロールブルドーザを導入した。加えて、CSG の転圧では、面的な締固め管理を目的として、締固め転圧管理システムを採用し、製造～施工までの各段階で ICT 技術を活用した生産性向上を図る取り組みを実施した。

主な結論

本工事では、国土交通省として初となる CSG 工法による海岸堤防工事において、CSG 工事のより一層の生産性向上を目的として以下の技術の成果が得られた。

- ・M-Y ミキサおよび CSG 出荷・運行管理システムの導入により、製造から転圧までの時間をリアルタイムで管理しながら高速連続打設を実現した。
- ・CSG 敷き均しのためのマシンコントロールブルドーザの他、締固め転圧管理システム、法面再成型時のマシンコントロールバックホウなど、多数の ICT 技術の導入により、堤防構築の工種全体において、品質を確保した上での生産性向上を実現させ、復旧事業の難条件を克服し、円滑かつ安全に工事を進めた。

*1 本店 土木事業本部 土木技術部
*3 東北支店 新鍬台トンネル作業所
*5 東北支店 女川原子力作業所

*2 本店 成長戦略室
*4 東北支店 土木営業第1グループ

CSG工法による海岸堤防復旧 -仙台湾南部海岸井戸浦地区における国交省初のCSG堤防の施工-

秦 宗 之^{*1} 関 根 智 之^{*2}
 松 浦 亜 裕 美^{*3} 小 山 直 樹^{*4}
 笹 倉 伸 晃^{*5}

要 旨

仙台湾南部海岸は、東北地方太平洋沖地震による大津波に襲われ、海岸堤防がほぼ全域で全壊・半壊し、沿岸地域では甚大な被害が発生した。そのため、国土交通省は、既設直轄区間12kmと「代行法」による権限代行区間約17kmを合わせた約29kmに及ぶ海岸堤防の復旧を実施した。堤防復旧においては、「粘り強い構造」を特徴とした3面張の傾斜堤が標準構造として採用されていたが、海と潟湖(井土浦)に挟まれた地形特性である井土浦地区では、当該地区に最も適した構造として「CSG (Cemented Sand and Gravel) 構造」が採用された。

本稿では、国土交通省として初となるCSG工法による海岸堤防復旧の概要を紹介するとともに、施工に際して多数導入したICT技術に関して、その取り組みを報告する。

キーワード 海岸堤防／CSG工法／ICT／生産性

目 次

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1. はじめに | 5. CSG施工仕様の検討 |
| 2. 井戸浦地区における
CSG構造採用の経緯 | 6. CSG堤の施工概要と仕組み |
| 3. CSGとは | 7. CSGの品質管理 |
| 4. 工事概要 | 8. おわりに |

RESTORATION WORK OF COASTAL LEVEES BY CSG METHOD -IDOURA AREA ON SENDA BAY SOUTHERN COAST-

Muneyuki HATA Tomoyuki SEKINE
 Ayumi MATSUURA Naoki OYAMA
 Nobuaki SASAKURA

Synopsis:

The southern coast of Sendai Bay was damaged by the tsunami of the Great East Japan Earthquake. Therefore, in the restoration work of the levee, it was requested to construct a tidal bank of tenacious structure. As a result, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport adopted the CSG construction method as part of the restoration work of the coastal levees.

Therefore, this report introduces the CSG method applied to the embankment for the first time by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In addition, for the purpose of further improving the productivity of the CSG method, it reported the results of the technology applied in construction

* 1 本店 成長戦略室 * 2 東北支店 新鉄台トンネル作業所 * 2 東北支店 土木営業第1グループ
 * 4 東北支店 女川原子力作業所 * 5 本店 土木事業本部 土木技術部

3.2 CSG 強度とひし形理論

CSG 材は、オーバーサイズカット後、分級、洗浄を行わないため、CSG 材粒度および CSG 単位水量は変動し、その結果として、CSG の強度も変動する。このため、CSG 材粒度および CSG 単位水量の範囲から求められる強度の範囲を単位水量との関係で整理した「ひし形理論」における強度の最低値が「CSG 強度」と定義される。(図-3 ひし形理論図参照)

4. 工事概要

工事概要および主要工種の数量を以下に示す。また、CSG堤の断面図を図-4に示す。

工事名称：仙台湾南部海岸深沼南区

井土浦地区堤防復旧工事

発注者：国土交通省 東北地方整備局

施工者：前田建設工業(株) 東北支店

工事場所：宮城県仙台市若林区井土地先

工事内容：[傾斜堤]

延長L=86m, 盛土量V=4,330m³,

法勾配1:2.0, 天端高TP+7.2m, 天端幅4.0m

[CSG堤]

延長L=1,173m, CSG打設量V=61,900m³

法勾配1:0.8, 天端高TP+7.2m, 天端幅4.0m

5. CSG 施工仕様の検討

以下に本工事における施工仕様決定までの概要を示す。

5.1 CSG 母材および必要 CSG 強度

各所に仮置きされていた CSG の母材(岩ズリ)は、CSG 材として最大粒径が 80 mm以下となるように全量破砕を行った。また、これら CSG 母材の粒度は一定ではないため、3 種類に分類(以下、A～C 材)した。さらに、CSG 母材(岩ズリ)のみでは必要な CSG 材量を確保できないことから、CSG 材に砂(名取川河口部の浚渫砂)を混合させることで CSG 材の全体量を確保した。なお、各

CSG 材は、砂の混合比率を変化させることで、一定の粒度範囲に調整し、1 つの「ひし形」での CSG の品質管理を行うものとした。

なお、井土浦地区 CSG 堤の必要 CSG 強度は、CSG 堤と基礎地盤を一体とした解析モデルによる 2 次元 FEM 解析結果から、0.81N/mm²と設定された。

5.2 CSG 材粒度範囲の決定

CSG材の粒度範囲は、実施工で使用する自走式破砕機(30t級)を用いた破砕試験と破砕後の粒度試験により決定した。また、粒度試験結果より、異なるCSG材(A～C材)毎の現地発生砂の混合率を検討し、ひし形作成のための粒度範囲(最細粒度、平均粒度、最粗粒度)を決定した。その結果、砂の混合率(重量割合)は、A材に対して4割、B材に対して2割、C材は、そのまま利用することとした。

5.3 室内標準供試体試験

室内試験では、5.2 において決定した試験粒度における CSG のフレッシュ性状を把握し、施工可能な単位水量範囲を決定し、CSG 単位水量範囲を、120～150 kg/m³とした。また、標準供試体(直径 150mm×高さ 300mm)の材齢 28 日圧縮強度から CSG 単位セメント量が 40 および 60kg/m³の標準供試体による「ひし形」を作成した。

5.4 試験施工による CSG 施工仕様の決定

CSG 施工仕様は、実機混合設備の性能確認および実施工時の締固めエネルギー(転圧回数)、品質管理手法の決定を目的として、実施工で使用する混合設備および敷き均し、転圧機械を用いて以下の試験施工により決定した。

(1) CSG 単位セメント量の決定

必要単位セメント量は、まず、同一材料を用いて実機混合設備と室内試験混合ミキサ(ポットミキサ)を用い

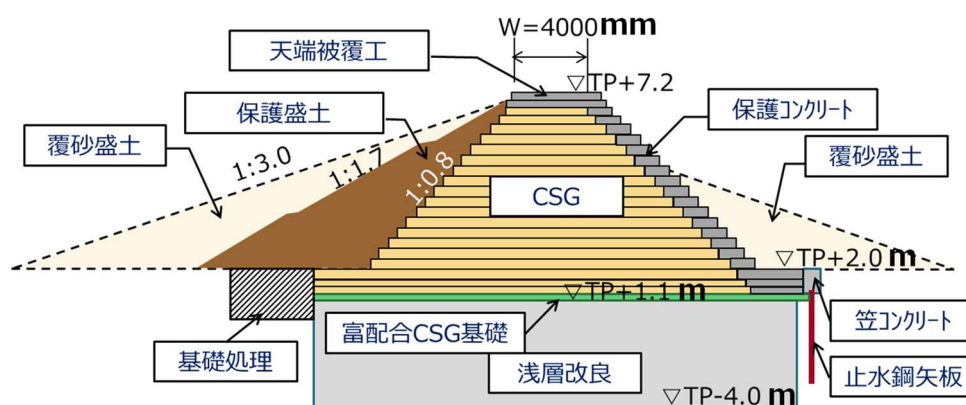


図-4 CSG 堤の断面図

て大型供試体（直径 300mm×高さ 600mm）と標準供試体の 28 日圧縮強度結果から、大型：標準供試体強度比およびポットミキサ：実機混合設備強度比を算出し、これらの強度比から、標準供試体による「ひし形」を補正し、大型供試体による「ひし形」を決定した。本工事における CSG 強度は、単位セメント量 60 kg/m³ 配合で 1.58N/mm²、単位セメント量 40 kg/m³ 配合で 0.90N/mm² となり、設計上の必要 CSG 強度（0.81N/mm²）との比較によって、単位セメント量は 40 kg/m³ に決定した。

(2) 施工仕様と品質管理標準

CSG 施工仕様は、試験施工における現場密度および沈下量収束の観点から、転圧回数を無振動 2 回、有振動 8 回に決定した。また、現場密度と同等となる大型供試体の締固め機種および締固め秒数を決定し、これらの組合せを施工仕様および品質管理標準とした。

6. CSG 堤の施工概要と取組み

図-5 に CSG 堤の施工フローを示す。また、以下に、CSG 堤構築概要と施工時における取組について示す。

6.1 CSG材混合およびCSG製造

CSG材混合およびCSG製造は、CSGの高速製造および品質の安定化、環境負荷低減を目的として、プラント方式（当社が開発した重力利用型連続式混合装置「M-Y ミキサ」を用いたCSG製造プラント）を採用した。

「M-Y ミキサ」の混合イメージおよび本工事のCSG混合設備の外観を図-6および写真-1に示す。

「M-Y ミキサ」は、CSG材およびセメントが6つのユニットを通過する際に給水し、ユニットの「分割」と「重ね」の2つの作用により、均質に混合することができる。また、連続計量設備を有し、CSG材に応じて混合砂の比率を変化させる際においてもブレンドヤードを設ける必要が無く、安定的に高品質なCSGの連続製造が可能である。なお、本工事では、本プラント方式によりCSG最大製造量135m³/hを記録した。

6.2 CSGの運搬

CSGは、グラウンドホッパーを介して、10tダンプトラックに積み込み・打設箇所まで運搬した。

CSG工法は、「CSG製造から転圧完了までの時間」および「打設前の打継ぎ処理のモルタル敷設からCSGを打ち継ぐまでの時間」の制約がある。そのため、施工時は、ダンプトラックの運行状況等をリアルタイムに確認するため、運搬車両の位置情報、荷積み時間、荷下し時間、CSGの転圧完了時間を把握できるCSG出荷・運行管理システム（図-7）を開発・導入し、製造から転圧までの時間管理を徹底した。

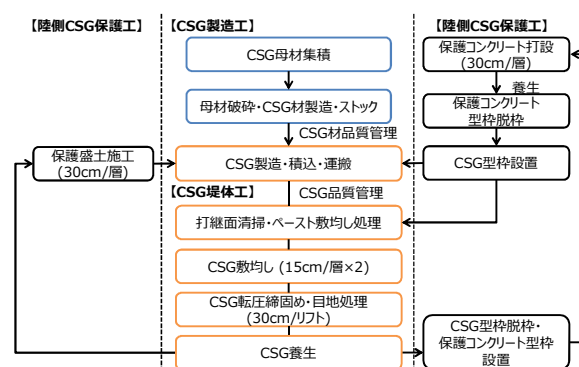


図-5 CSG 堤の施工フロー

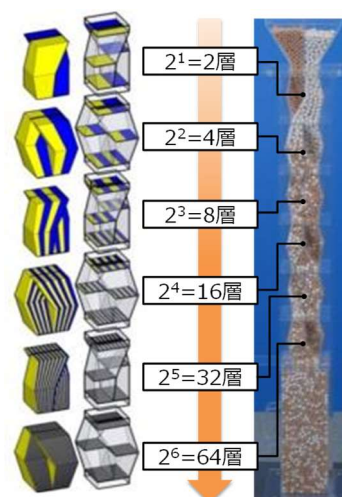


図-6 M-Y ミキサの混合イメージ



写真-1 CSG 製造プラント「M-Y ミキサ」の外観



図-7 CSG 出荷・運行管理システムの概要

6.3 CSGの打設

CSGの打設は、海側にH形鋼を型枠（H350）として設置し、陸側は保護盛土を先行させ、これを型枠とした。

CSGの敷均しは、堤幅が7.4m以上のリフトまでは、21t級湿地式ブルドーザ、堤幅が7.4m以下のリフトでは7t級湿地式ブルドーザを使用した。敷均しは、モルタル敷設箇所へのダンプトラック乗入れおよびモルタルの乾燥防止等を考慮し、2層（リフト厚30cm=約15cm×2層）とした。さらに、「日当り施工量の増大」、「CSG混合から締固め完了までの時間短縮」および「CSGの平滑性確保」を目的として、GNSSによるガイダンスシステムを搭



写真-2 21t級湿地式ブルドーザ



写真-3 4t級コンバインドローラ

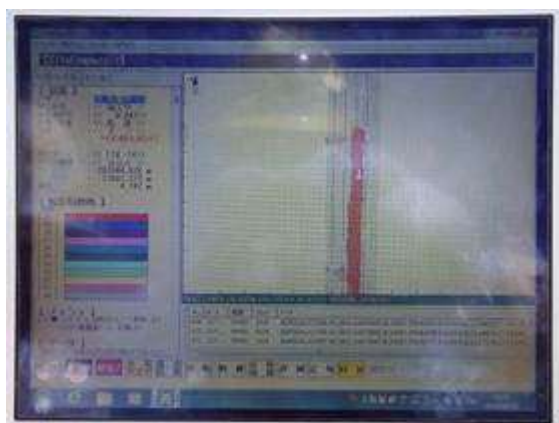


写真-4 締固め転圧管理システム

載したマシンコントロールブルドーザ（写真-2 参照）を採用した。

CSGの転圧は、4t級コンバインドローラを使用し、面的な締固め管理を目的として、締固め転圧管理システム（写真-3および写真-4参照）を採用した。なお、打設中のCSG乾燥防止のため、散水を適宜実施し、打設完了後は、ブルーシートで表面を覆い養生を行った。

以上のように、本工事では、CSG製造から運搬、転圧までの管理においては、多くのICT技術を積極的に導入することにより、品質確保と生産性向上を実現している。

6.4 保護コンクリート

CSGの風化・浸食を防止するための保護コンクリート工は、CSG型枠脱型後、速やかに実施しなければならない。また、本堤防の法勾配1:0.8の形状では、保護コンクリートの打設が完了していないと上層のCSGを打設することができず、保護コンクリート型枠は、設置および撤去効率が高くする必要があった。そのため、H形鋼（H300、1ユニット：L=6m）にメタルフォームを取り付けた鋼製型枠を全延長分製作し、クレーンによる上層へのスライド作業のみとして、型枠の設置・撤去の効率化（写真-5）を図った。



写真-5 鋼製型枠設置状況



写真-6 保護盛土の法面再整形

6.5 保護盛土

保護コンクリートと同様の目的で設置される保護盛土は、法勾配1:1.7の形状であったが、CSGの施工に必要な工事用道路としての機能も持たせるため、法勾配1:1.5、天端幅3.5mの暫定形状にて築造し、暫定形状箇所については、天端被覆工完了後に本形状である法勾配1:1.7に再整形を実施した。保護盛土1層の厚さはCSG打設リフト厚と同一とし、11t振動ローラを使用した。本工種においても、締固め転圧管理システムを採用した。また、法面再整形には、丁張レス化を図り、マシンコントロールブルドーザで使用していた3次元CADを再度利用して、モニタを確認しながら、角度、施工目標をサポートするマシンガイダンスバックホウを採用し、施工の効率化を図った。

6.6 天端被覆工

堤防法面の海側・陸側と同様に CSG を保護することを目的として、堤防天端においてもコンクリート被覆を実施した。階段形状となるため、施工の効率化を図るため、コンクリート二次製品による型枠を採用した。

7. CSG の品質管理

施工時におけるCSGの品質管理について以下に示す。

CSG材の品質管理は、打設前日までに当日のCSG配合決定に必要なCSG材の密度・吸水率および粒度試験により、その変動傾向を当日の初期配合に反映させた。

打設当日は、CSG材の表面水の変動を迅速に反映させることが重要である。そのため、試験施工時に簡易法として確認した自然粒度試験および電子レンジ法による含

水率試験を迅速法として1時間に1回実施し、粒度および表面水量の変動傾向を監視し、施工当日の配合修正を行った。

CSG の品質管理は、製造時における計量管理と打設現場における締固めエネルギー管理（転圧回数管理）を実施した。また、締固めエネルギーの管理においては、現場密度の変動傾向を監視するため、現場密度試験（砂置換法および RI 法）の実施および試験室において作成した CSG 標準供試体および大型供試体の密度および CSG 強度試験を打設日全てで実施した。

8. おわりに

本工事では、国土交通省として初となるCSG工法による海岸堤防工事において、材料および設計、施工の合理化による海岸堤防を構築した。また、CSG堤防構築に際して、CSG工事のより一層の生産性向上を目的として以下の技術の成果が得られた。

- ・M-YミキサおよびCSG出荷・運行運行管理システムの導入により、製造から転圧までの時間をリアルタイムで管理しながら高速連続打設を実現した。
- ・CSG敷き均しのためのマシンコントロールブルドーザの他、締固め転圧管理システム、法面再成型時のマシンコントロールバックホウなど、多数のICT技術の導入により、堤防構築の工種全体において、品質を確保した上での生産性向上を実現させ、復旧事業の難条件を克服し、円滑かつ安全に工事を進めた。

謝辞：本稿執筆に当たっては、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所をはじめ、関係者の方々からご指導、資料提供を頂いた。この場をかりて感謝の意を表する。



写真-7 完成全景