

CSG 海岸堤防における ICT 施工の取組み

前田建設工業(株) 正会員 ○秦 宗之
前田建設工業(株) 小山直輝

関根 智之 松浦 亜祐美
正会員 笹倉 伸晃

1. はじめに

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(図-1)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と施工時の取組みについて紹介する。



図-1 施工位置図

2. 井土浦地区における CSG 構造採用の経緯

井土浦地区の堤防を復旧するにあたっては、津波により大幅に汀線が後退したため、海と潟湖(井土浦)に挟まれた地形特性から堤防の復旧箇所が狭隘(約 40～60m)であり、堤防の安全上必要となる前浜幅 30m を確保するため、汀線の回復状況を踏まえた堤防法線・堤防構造が求められた。また、希少な井土浦の汽水環境に隣接し、動植物が生息していることから、自然環境への配慮も必要であった。さらに、他工区の災害復旧工事における工事用道路等で使用した敷設材など、大量の現地発生材の処理の問題も抱えており、CSG 構造を含めた様々な構造による比較検討が行われた。

その結果、堤体底面幅を狭くすることが可能となり、必要前浜幅を確保できない区間を減少でき、砂浜の改変面積等、自然環境への影響も極力抑えられること。加えて、CSG の母材(材料)として、大量の現地発生材の有効活用が可能となることなどから、CSG 構造が最も優位であると判断し、井土浦地区の堤防復旧構造に採用されることとなった。

3. CSG(Cemented Sand and Gravel)とは

(1) CSG および CSG 工法について

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。また、CSG 工法は、CSG をブルドーザで敷き均し、振動ローラで転圧することによって構造物を造成する工法である。本工法は、台形 CSG ダムの堤体構築方法として実績を有し、永久構造物として必要強度が確保される。また、近年は、海岸堤防でも採用され、「粘り強い海岸堤防方式」としても実績を有する。

キーワード CSG, 堤防, 運行管理, ICT

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 土木技術部 TEL 03-5276-5166

(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 材粒度及び 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 材粒度及び 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-2)

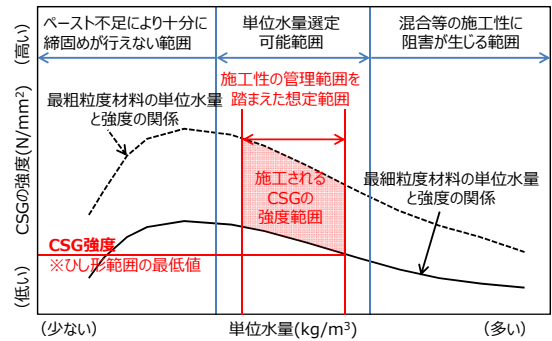


図-2 CSG のひし形理論

4. 工事概要

工事概要および主要工種の数量を表-1に示す．また、CSG堤の断面図を図-3に示す．

表-1 工事概要

工事名称	仙台湾南部海岸深沼南工区 井土浦地区堤防復旧工事
施工者	前田建設工業(株)
発注者	国土交通省 東北地方整備局
工事場所	宮城県仙台市若林区井土地先
工事概要	・ CSG 堤 延長:1,173m, CSG:61,900m³, 法勾配:1 : 0.8, 端幅:4.0m ・ 傾斜堤 延長: 86m, 盛土量:4,330m³, 法勾配:1 : 2.0, 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．

(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 80mm 以下となるように全量破碎を行った．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 F E M 解析結果から、0.81N/mm 2 と設定された．

(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碎機(30t 級)を用いた破碎試験と破碎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試験粒度(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．

(3)室内標準供試体試験

室内試験では、(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

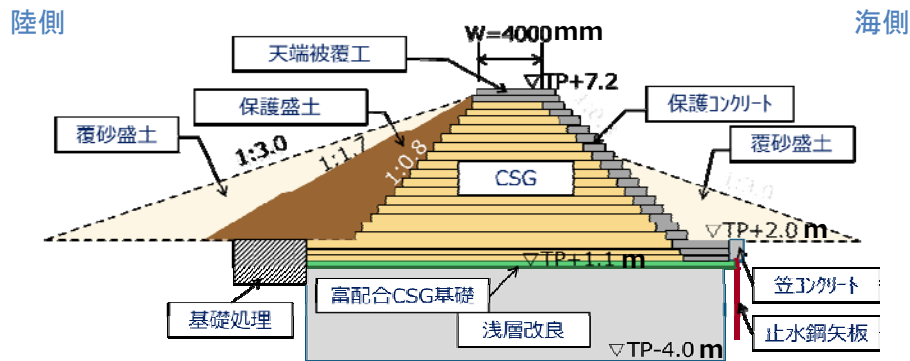


図-3 CSG 堤の断面図

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。

(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。

a) 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。

b) 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-4 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みについて紹介する。

(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-5 および写真-1 に示す。

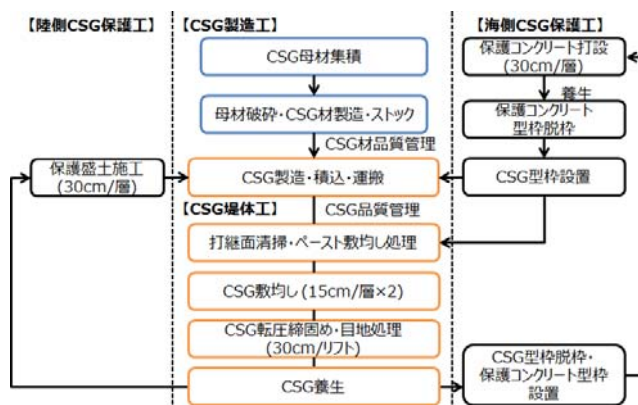


図-4 CSG 堤の施工フロー



写真-1 CSG 製造プラント「M-Y ミキサの外観」

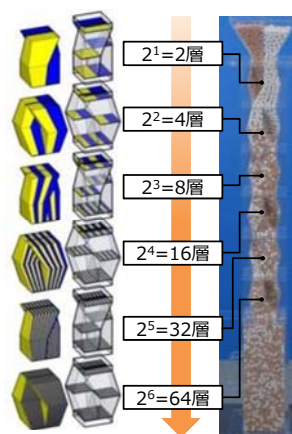


図-5 M-Y ミキサの混合イメージ

「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。



図-6 CSG 出荷・運行管理システムの概要

(2) CSG の運搬

CSG は、グラントホッパーを介して、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」及び「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-6)を開発・導入し、製造から転圧までの時間管理を徹底した。



写真-2 21t 級湿地式ブルドーザ

(3) CSG の打設

CSG の打設は、海側に H 形鋼型枠(H350)を設置し、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及びモルタルの乾燥防止等を考慮し、2 層(リフト厚 30 cm=約 15 cm×2 層)とした。さらに、「日当たり施工量の増大」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、マシーンコントロールブルドーザ(写真-2)を採用した。

CSG の転圧は、4t 級コンバインドローラ(写真-3)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(写真-4)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 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。



写真-3 4t 級コンバインドローラ



写真-4 CSG 養生状況

(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い必要性があった。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 鋼製型枠のスライド作業状況

(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、マシンコントロールバックホウを採用し、施工の効率化を図った。



写真-6 完成全景

(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。階段形状となることから、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、粒度及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、現場密度と供試体強度の変動傾向を監視するため、現場密度試験 (砂置換法及び RI 法) により密度を、試験室において作成した当日の CSG 標準供試体及び大型供試体により CSG 強度を監視することにより、混合設備の性能および締固めエネルギーに異常が無いことを確認しながら、品質を確保した。

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、施工に際しては、ICT を多数導入し、品質を確保した上での生産性向上を実現させるなど、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。

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。