

浜松市防潮堤工事

M-Y ミキサを用いた連続 CSG 製造設備

酒 井 雅 英

平成25年度篠原海岸津波施設整備事業（海岸）工事は、延長17.5 km におよぶ浜松防潮堤工事のうちの約5 km の施工を行っている。

本工事の特徴として、CSG 製造と防潮堤施工を分割して発注していること、その調整業務を担うCM 業務があること、CSG の施工に汎用性の高い機械を採用することで地域企業の活用を図っていることなどが挙げられる。

このうち、CSG 製造工事には、所定の品質を確保しながら、工期短縮とコスト縮減を実現するため、大量のCSG を安定的に供給することが求められた。

キーワード：CSG 製造, 防潮堤, 地元企業, 汎用機械

1. はじめに

浜松市沿岸域において、甚大な津波被害が想定される南海トラフ巨大地震の被害を軽減するため、浜名湖から天竜川河口までの延長17.5 km にかけて、浜松市沿岸域防潮堤の整備が進められている。

本防潮堤には、現地に調和した防潮堤の建設を目指すため「土堤 + CSG (Cemented Sand and Gravel) 工法」が採用されている。

CSG とは建設現場周辺で手近に得られる岩石質の材料を、分級・粒度調整、洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破砕を行う程度で、セメント、水を添加し、簡易な施設を用いて混合したものである。

防潮堤延長17.5 km のうち、本工事で施工する約5 km 区間のCSG 打設予定量は539,500 m³ であり、日平均打設量は約2,200 m³ と多量である。また、現設計上使用するCSG の配合も、CSG 材の種類と必要強度の組み合わせから、9種類と多種配合となる(表—1)。

さらに、CSG の供給先は4 工区に分かれており、出荷管理をより困難にしているため、本製造工事では、これらの施工条件に対応できる製造設備を計画する必要があった。

2. 防潮堤の構造

防潮堤の基本構造は中央部にCSG を配置し、その両側に盛土を施すもので、また天端には天端保護のためのコンクリートが設置される。

堤体中央部を台形形状のCSG によって構成することで、越流や浸透水に対する抵抗性が確保され、地震時に地盤の変形が生じてもその後発生する津波に対して安定した構造となっている。

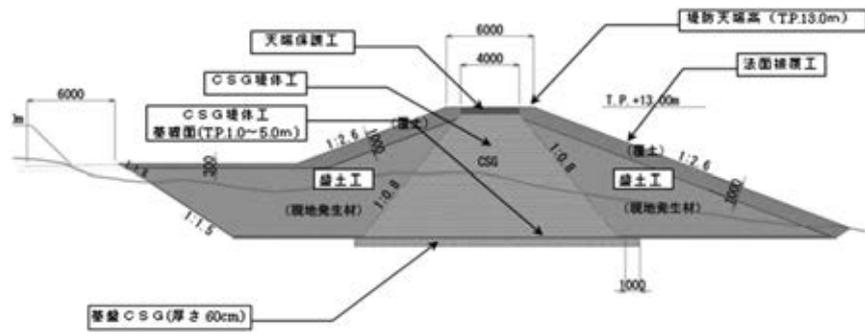
さらに、CSG の両側に盛土を配置することでCSG の表面を保護すると同時に、盛土表層を覆土・緑化することで保安林機能を回復することとしている(図—1)。

3. CSG 製造設備計画

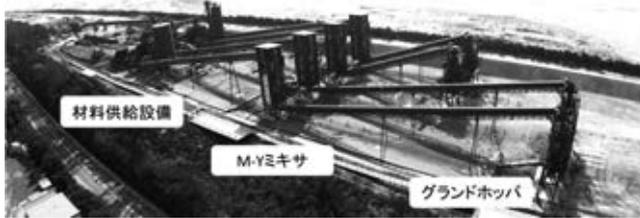
当初計画では、CSG 製造設備として傾胴型30 m³

表—1 CSG の配合

配合	CSG 材	単位セメント量 kg/m ³	CSG 強度 N/mm ²
A40	段丘堆積物	40	164
A50	80 %	50	191
A60	+ 現地発生材	60	234
A100	20 %	100	234 以上)
B40	泥 岩 60 % + 現地発生材 40 %	40	2015 年4 月現在 未作成
B50		50	
B60		60	
B80		80	
B100	100		



図一1 防潮堤標準断面



図一2 4基の浜松防潮堤 CSG 製造設備

を使用した重力利用型の連続式CSG 製造設備（公称能力120 m³/h）を各工区に専用に配置する計画とし、合計4 基のCSG 製造設備を設置した（図一2）。

a) 180 m³/h = 30 m³ × 2 × 30 バッチ（CSG 製造のサイクルタイム：120 sec/ バッチ）

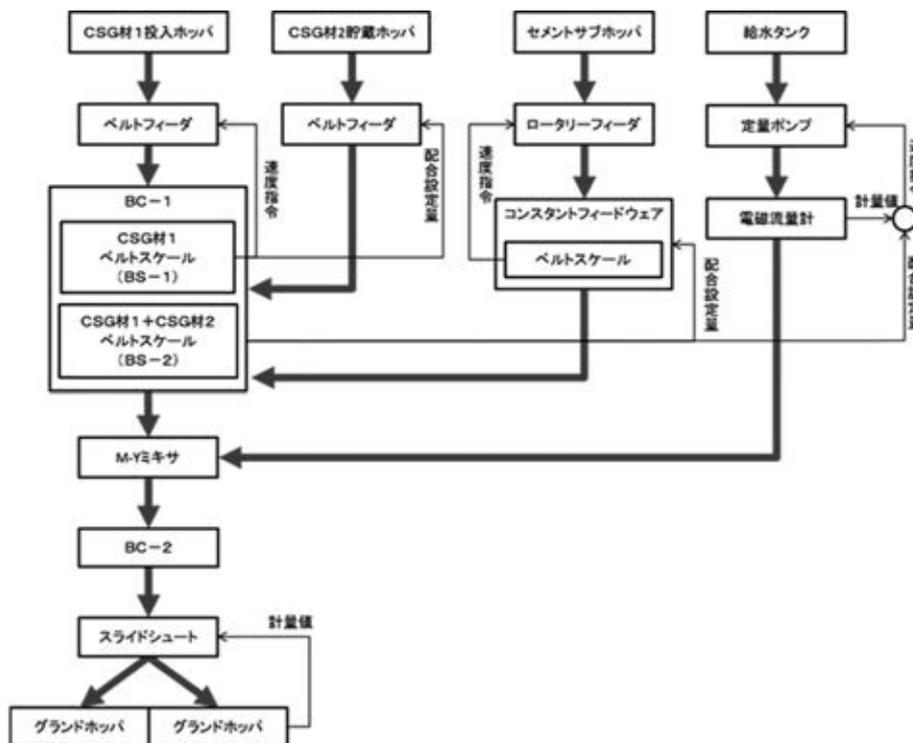
4. CSG 製造設備における CSG 製造フロー

×2 型（公称能力180 m³/h^a）を2 系統配置することとしていた。

しかしながら、「1. はじめに」で述べたように、大量かつ多配合のCSG を、施工を担当する4 工区に効率的に供給する必要があることから、当初計画においては、工区毎の配合の切り替えに伴う製造効率の大幅な低下や配合の誤出荷などが懸念された。

そこで、MY ミキサ（以下「本ミキサ」という）

本工事では、阿蔵山の段丘堆積物もしくは泥岩（CSG 材1）、基礎掘削により発生する砂（CSG 材2）、セメントおよび水の4 種類の材料を連続的に計量、混合してCSG を製造する。そのため、CSG 製造設備には、4 種類の材料を連続的かつ精度よく計量、供給、混合するシステムを採用する必要がある。以下に、CSG 製造設備の仕様（表一2）、CSG の製造フロー（図一3）および設備概要（図一4）を示す。



図一3 CSG 製造フロー

表一 2 CSG 製造設備の仕様

製造能力		120 m ³ /h ×4 系統
ミキサ	名称	M-Y ミキサ
	仕様	□-650 ×6 段
	混合方式	重力利用型
バルコン搬送能力		300 t/h
CSG 材1 (岩質材) 供給能力		380 t/h
CSG 材2 (砂) 供給能力		128 t/h
セメント供給能力		14 t/h
給水設備能力		350 L/min



図一 4 CSG 製造設備概要

5. 本ミキサによる CSG 混合

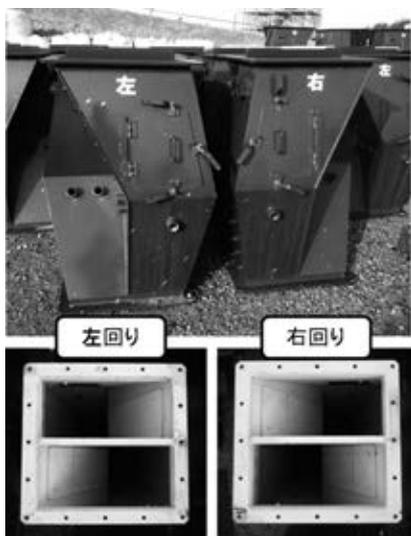
(1) 本ミキサの混合原理

本ミキサは、使用材料が、各ユニットを通過する毎に「圧延」と「重ね」の2つの作用を受けるという原理により混練する混合装置であり、複数の異なる材料を連続的かつ均質的に混合できる (図一 5, 6 参照)。

(2) 使用段数の選定

これまでのCSGの製造実績 (大保脇ダム沢処理工) では、使用する本ミキサの個数を4段としていた。

これは、混合する材料がCSG材、セメント、水の



図一 5 本ミキサ形状



図一 6 模型による混合イメージ

3種類であったこと、CSGの製造要求能力が80 m³/hと比較的小さかったことなどが理由であり、実際の混合性能も満足できるものであった。

しかしながら、本製造工事では、混合する材料が岩石質材料、現地で発生する掘削砂、セメントおよび水の4種類の材料を混合する必要があること、CSG製造要求能力が120 m³/hと実績の80 m³/hに比べ増加したことなど、より高い混合性能が必要であるとの判断から、本ミキサを4段から6段へ増加して配置した。

(3) 製造能力

浜松市沿岸域防潮堤では、前述したように製造能力を120 m³/hと設定してCSG製造設備を配置し、順調に稼働している。また、CSG製造能力の向上を図るため、製造能力を200 m³/hに設定して、現在使用している材料を用いて混合性の確認試験を実施したが、供試体による強度確認結果から、120 m³/h時と同等の混合性能を有していることを確認した。

(4) 給水位置と混合効果

CSG製造時における単位水量の調整は、混合中に給水する2段階混合方式を採用している。これは、上段の本ミキサでCSG材1、CSG材2 (砂) およびセメントを先行混合したあと、中段もしくは下段の本ミキサで給水し混合する方式である (図一 7)。

これまでの施工実績において、給水は本ミキサ投入前ではなく、本ミキサ混合中に行うことで、混合効率と混合後のCSGの品質が安定することが知見として得られている。

(5) 省エネ効果

本ミキサは重力利用型の混合設備であり、混合に動

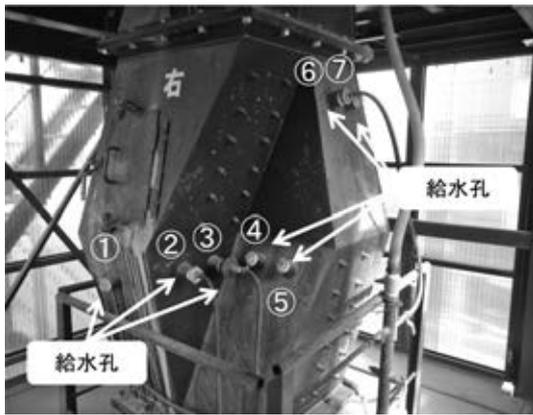


図-7 給水孔の配置

力を必要としない。また、本製造設備は、各材料ホッパ、計量供給設備、輸送ベルトコンベア、本ミキサユニットなどから構成されたシンプルな構造の製造設備であり、通常のコンクリート製造設備と比較して設備重量が軽量で、使用鋼材量も少ない（図-8）。

一般的に、鋼材を1t 製造するためには2t のCO₂が排出される（高炉製鋼法）ことから、この点においても環境負荷の低減が図れている。



図-8 本ミキサ外観

(6) 本ミキサ実績

CSG 製造設備に限らず、コンクリートプラントや配管に取付けてコンクリートの分離防止として採用されている。

- ①ダム用コンクリートプラントでの採用（宮ノ川ダム、三室川ダム、木戸ダム）
- ②CSG の製造システムでの採用（宇奈月ダム、徳山ダム、滝沢ダム、大保脇ダム）
- ③再生コンクリートプラント（東京電力生坂発電所、東京電力水内発電所）
- ④分離防止（三峡ダム、吉原JCT、三ノ輪シールド、飛鳥山幹線、奈多シールド）

6. 本製造工事における CSG 製造設備の改良点

(1) CSG 材1 の切り出し量の安定化対策

本製造設備の計量供給システムは、最初にベルトフィーダにより切り出されるCSG 材1 の計量値を基に、所定の配合になるよう各材料を比例供給する仕組みとなっている。

このため、CSG 材1 の切り出し量の変動が大きいと、他の材料の計量供給量にも変動が生じ、CSG の品質にばらつきが発生する要因となる。

本工事のCSG 材1 は、0.074 mm 以下の微粒分含有量が4.2 ~7.5 %と高く、高含水比であることから、製造当初、投入ホッパ壁面への付着が原因となり、切り出し量が不安定となる課題が生じた。

このため、投入ホッパ壁面に摩擦低減効果が高く、耐摩耗性がある超高分子ポリエチレンのパネルを設置するとともに、ベルトフィーダ切り出し口に電磁ノッカーを設置した（図-9）。

これにより、微粒分が多く、高含水比で粘着性の高い材料についても、変動の少ない材料の切り出しを行うことが可能となった。



図-9 CSG 材1 投入ホッパ下部

(2) CSG 材2 材内の木片による故障、閉塞対策

本工事では、コストダウンの一環として、現地掘削材（砂）をCSG 材として有効活用する計画となっている。

防潮堤建設箇所は、もともと海岸防災林であり、松などが植生していたため、掘削発生砂には木片や木根が混入していた。

そのため、現地発生砂の輸送供給設備や本ミキサ内部などで、故障や閉塞などを引き起こすことが懸念された。そこで、CSG 材2 投入ホッパには軟弱地盤の車両走行路に用いるロードマットをフルイとして設置し、木根等の異物を除去することとした。



図一10 CSG材2投入ホッパーロードマット設置状況

これにより、現在まで、異物による故障や閉塞などのトラブルもなく、順調に製造を行っている（図一10）。

(3) 給水装置の精度向上対策

本製造工事に使用するCSG材1は前述したように、微粒分含有量が多く、高含水比であるため、もともと含水量が多い材料である。さらに、降雨などの影響で表面水量が増加すると、製造時の給水が殆ど必要のない場合もあった。

そのため、本製造設備ではインバータ制御された定量ポンプを使用して給水を行っており、0～8t/hの幅広い水量幅で精度良く給水することが可能となった。

7. 材料品質管理の合理化

CSGは、材料の合理化の観点から、建設現場周辺で手近に得られる岩石質の材料を、分級・粒度調整、

洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破碎を行う程度で使用することを基本としており、材料のバラつきを許容するものである。

そのため、事前に配合試験を行い、CSGの目標強度が確保できるCSG材の粒度の幅と単位水量の幅（ひし形：図一11参照）を設定している。

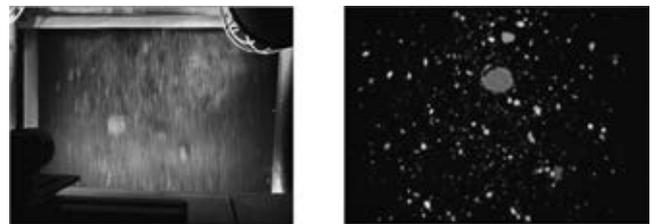
このため、CSG製造時の品質管理においては、使用するCSG材の粒度および単位水量が設定された範囲内に収まっていることを確認することが重要となる。

特に粒度については、単位水量とは異なり製造時に調整することはできないので、搬入時にも入念な管理が必要となる。

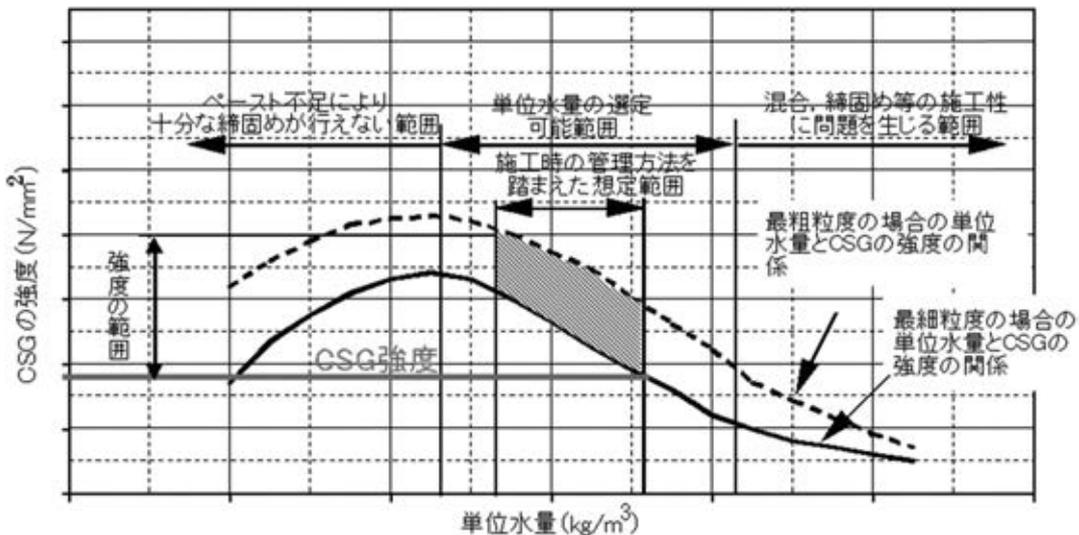
これら、粒度および単位水量は、製造開始前と製造中に1時間に1回の頻度で、簡易粒度試験および簡易含水比試験により確認している。

しかしながら、これら試験は、手間とコストが掛かることに加え、試験結果が得られるまでに少なくとも20～30分程度必要となることから、試験結果を製造時の管理に迅速に反映できないなどの課題がある。

そこで、これら品質管理の合理化を図るため、リアルタイムでの自動計測を目指し、デジタルカメラ画像処理による粒度分布推定の実証実験を行った（図一



図一12 土粒子撮影状況と画像処理後の撮影画像



図一11 CSGの「ひし形」

12)。その結果、簡易試験と同等の結果が得られたので、本年度中の実装を予定している。また、水量管理については、マイクロ波水分計を用いたCSG材表面水率のリアルタイム計測に関する実証実験を進めており、今後の実装を検討している。

8. 出荷管理の合理化

平成27年3月末現在、防潮堤工事は最盛期を迎えており、一日600台以上のダンプにCSGを出荷しているが、これらの製造から現地荷卸しまでのトレーサビリティの実現とデータ管理の合理化に向けて、ICタグによる運行管理システムの導入を進めている。

本運行管理システムは、ダンプ運転手に持たせたICカードを出荷時及び荷卸し時に読み取ることにより、出荷日時、配合、出荷系統、積込車両、積込み重量、荷卸し時刻等が自動でデータベースに記録されていく仕様となっている。

9. おわりに

今回、浜松沿岸域防潮堤整備事業に適用されたCSG工法は国内だけでなく海外からも注目されている我が国で開発された新しいダム工法である。

防潮堤工事への適用は福島県いわき市夏井海岸に続く、2件目の事例となるが、今後、想定される大規模地震による津波対策として、新規に整備される防潮堤においても適用が検討されていくものと思われる。

今後も、混合性能や計量精度の向上、材料の品質管理方法の改善を図り、様々な施工条件や使用材料に幅広く対応できるCSG製造設備の研究開発を進めたいと考えている。

JCMA

【筆者紹介】

酒井 雅英 (さかい まさひで)
前田建設工業(株)
中部支店
浜松防潮堤CSG製造・CM作業所
機電課長

