

CSG 工法による海岸防潮堤の試験施工

Test construction of the shore seawall by the CSG method

大石 一明* 児玉 和幸**
 Kazuaki Oishi Kazuyuki Kodama
 加藤 隆弘***
 Takahiro Kato

要 約

台形 CSG ダムに代表される CSG 工法は、従来の施工方法に比べ設計、施工設備、施工の3つの合理化を進める技術として近年注目されている。また、CSG 品質管理手法に基づいた永久構造物として、ダム堤体以外の多方面の構造物に適用される事例も増えている。

本論は、静岡県浜松市において CSG 工法を採用した海岸防潮堤を構築するための試験施工をとりまとめたものである。試験施工は、CSG の原材料となる母材・CSG 材の試験のほか、「ひし形」理論と呼ばれる粒度の幅と単位水量範囲から求まる CSG の強度の範囲、および CSG 堤の施工仕様を決定するものである。また、これらを基に発注者による今後の全区間の発注方法を探る目的から、1 施工単位の CSG 堤を構築した。一連の試験施工を行うにあたり、CSG の施工に関するこれまでの当社の実績を施工計画の参考としている。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. CSG の配合検討
- § 4. 試験施工
- § 5. 課題と対策
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) とは、建設現場周辺で容易に得られる砂礫や岩塊を、基本的に分級・粒度調整・洗浄を行うことなく、簡易な設備を用いてセメント・水を添加し、混合したものである。CSG 工法は、この CSG を汎用機械であるブルドーザ、振動ローラで敷均し・転圧することによって構造物を造成する工法である¹⁾。同工法は、コンクリート打設などの施工方法に比べて、施工の簡略化、環境への影響低減、コスト縮減、高速施工が可能となる技術として近年注目されている。

また、現場の材料特性により設計・施工が柔軟に対応できる技術であることから、ダム工事だけでなく海岸防潮堤や地すべり対策工などの多方面で検討や採用がな

れている。

本論は、静岡県浜松市篠原海岸において CSG 工法を採用した津波防潮堤の試験施工実績、施工時の課題について報告するものである。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工 事 名：平成 25 年度 浜松篠原海岸津波対策施設等整備事業（海岸）工事（試験施工その 1）、平成 26 年度 浜松篠原海岸津波対策施設等整備事業（海岸）工事（試験施工取合工）

工事場所：静岡県浜松市南区西島町地先

工 期：平成 25 年 7 月 3 日～平成 26 年 6 月 30 日

発 注 者：静岡県

請 負 者：西松・須山・中村組 特定建設工事共同企業体

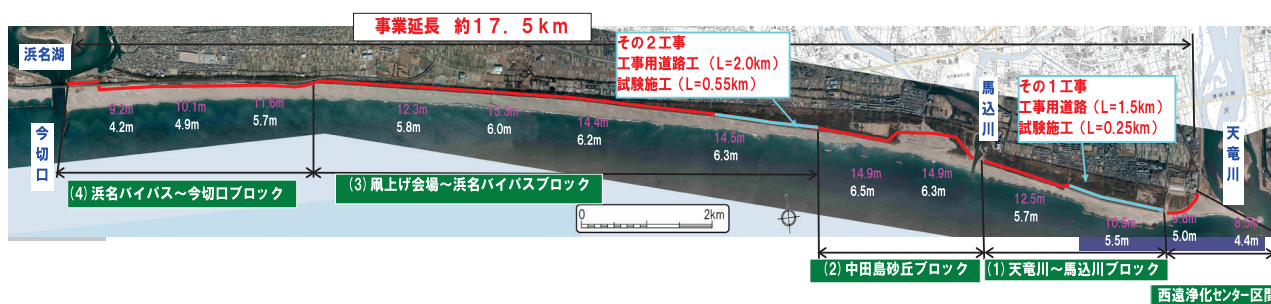
主要工事数量：掘削 30,600m³、流用土盛土 18,800m³、購入土盛土 14,300m³、本体工 CSG 製造・敷均し・転圧 25,400m³、地盤改良工 1 式、天端被覆 1 式、仮設工 1 式

静岡県では、東日本大震災による教訓から、甚大な津波被害が想定される南海トラフ巨大地震に備え、浜名湖から天竜川河口までの約 17.5 km にかけて防潮堤を整備する計画である（図-1）。

* 西日本(支)篠原海岸(出)(現:北日本(支)津軽ダム(出))

** 西日本(支)篠原海岸(出)(現:九州(支)安全部)

*** 西日本(支)篠原海岸(出)(現:浜松五島(出))

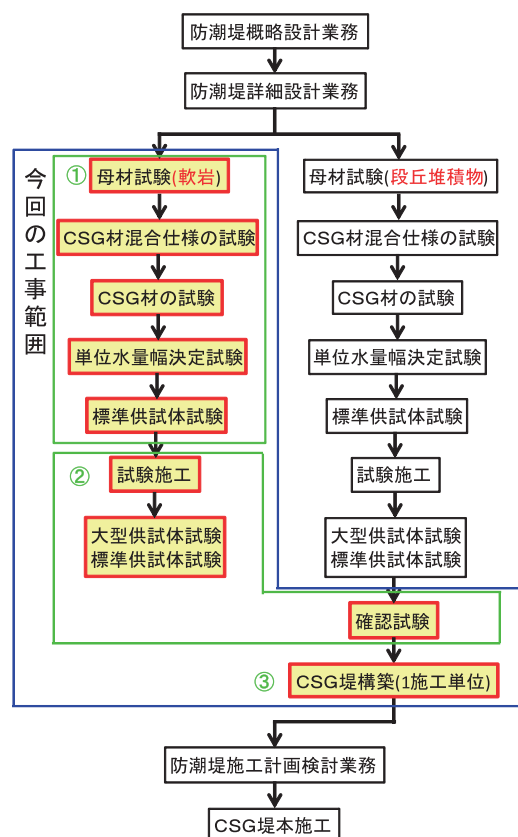
図－１ 事業全体図と施工位置²⁾

本工事は、概略設計業務により選定された防潮堤の形式と配置計画に基づき、本格的な防潮堤を経済的かつ合理的に進めるため、250 m 区間の本施工を含む試験工事である。防潮堤の構造は、津波波力や地震動による液状化に対して安全で粘り強い構造であり、環境面・景観面への配慮から保安林の再生が可能である CSG 堤が採用された。CSG 堤は、福島県の海岸で高潮対策のための海岸堤防として用いられた実績がある。

また、今後全区間の発注を踏まえた本工事は次のとおりである。

- ・母材、CSG 材、CSG の性状把握および施工仕様、品質管理手法の決定
- ・全作業工程において特殊な機械や技術を使用せず、汎用機械のみで完了可能な施工方法の確立
- ・1 施工単位の日当たり最大施工可能量の把握
- ・防潮堤整備の規模を踏まえた適切な歩掛の調査・検討
- ・工事の伴う現場付近の環境への影響
- ・現地発生材の使用などによりより一層の合理化施工を採る

なお、別の区間においては、同様な目的でほかの共同企業体によって「その2工事」が施工されている。



図－２ CSG 設計から施工までの流れ

2-2 CSG 設計から施工までの流れ

本工事における CSG 設計から施工までの流れを図-2 に示す。本工事は、前述の目的に沿って次の3段階から成る。

- ①母材、CSG 材の性状把握、ひし形の作成と決定
 - ②施工仕様の決定と品質管理手法の検討
 - ③決定した仕様による1施工単位での CSG 堤の構築
- 当該事業において使用する母材は、性状が異なる2種類を使用する計画である。目的①、②は、「その1工事」(本工事)では軟岩を、「その2工事」では段丘堆積物を用いて行った。また目的③は、その1工事、その2工事共に、先行で採取される段丘堆積物と現地発生材を母材とし、両者を混合したものを CSG 材として施工を行った。

§ 3. CSG の配合検討

3-1 母材試験

母材は、施工箇所から約 20 km 離れた浜松市天竜区の阿蔵山から採取する段丘堆積物とその下層に分布する泥岩を主体とする軟岩である。

段丘堆積物は、粘性土が介在しているため、微粒分が CSG の性状に影響を与えることが懸念される。

軟岩は、スレーキング特性を有していることが判明している。ストックヤードにおいて長期間ストックした場合は、粒度が当初調べた範囲から経時的に変化していく可能性がある。

また、建設発生土の有効利用の観点から、基礎掘削により発生する現地発生海砂を母材に混合して使用する計画である。

母材試験は、各々の母材の粒度分布範囲および表乾密度・吸水率などの基本的物性を調査し、使用可能な材料の分布状況や賦存量を求めるために行った。また、オーバーサイズカットまたは破碎の必要性を検討した。

図-3に軟岩の母材粒度分布を示す。

軟岩の採取方法は、ブルドーザによるリッピングとバックホウによる掘削によることが決まっている。当該試験では同様な方法で採取し、ふるい分け試験を行った結果、オーバーサイズ（80 mm 以上）が30%程度含まれることが判明した。

また、吸水率はバラつきがあり、8%程度と高い値を示した。図-4に軟岩の吸水率試験結果を示す。

3-2 CSG 材混合仕様の試験

軟岩と現地発生砂を CSG 材として混合使用するにあたり、混合率と混合方法を検討した。

(1) 混合率の検討

混合率の検討に際し、発注者より CSG 材の 5 mm 以下含有率の上限は、これまでの CSG の使用実績から、60%程度であることが示された。そこで混合率は、40%と20%の2ケースを設定し、ポットミキサによる CSG フレッシュ性状の確認と標準供試体による CSG の強度から混合率を検討した。現地発生砂の混合率が40%のケースの場合、CSG フレッシュ性状は、混合率が20%のケースに比べて単位水量が 10 kg/m^3 程度加水方向に推移することが明らかとなった。また、CSG の強度は混合率が20%のケースに比べて50%から70%程度低下する結果となった。発注者との協議の結果、CSG の性状は混合率が20%のケースの方が良好であるが、CSG の強度が必要 CSG 強度 (1.5 N/mm^2) を満足する混合率40%を採用した。図-5に混合率40%の粒度分布を示す。

(2) 混合方法の検討

混合方法は、層状巻き出し・混合切り崩し方法とした。

これは、ブレンドヤードにおいて、軟岩破碎材と現地発生砂の割合が6:4となるようにヤードを区画した後、ダンプトラックで運搬・荷降ろしたそれぞれの母材を交互にブルドーザで層状に敷均し、さらにバックホウで切り崩しをしながら混合攪拌する方法である。層状巻き出しと混合切り崩しをすることで、CSG 材のバラつきを減じる方法とした（図-6、写真-1）。

混合後の粒度試験の結果、40%の混合率が確かめられたことから、上記の方法で問題ないことが確認された。

3-3 CSG 材の試験

(1) 破碎試験

阿蔵山から採取した軟岩は、オーバーサイズ（80 mm 以上）が30%程度含まれることから、移動式破碎機により破碎を行い、母材の有効利用を図ることとなった。破碎試験は、実際に使用する破碎機の破碎特性を検討す

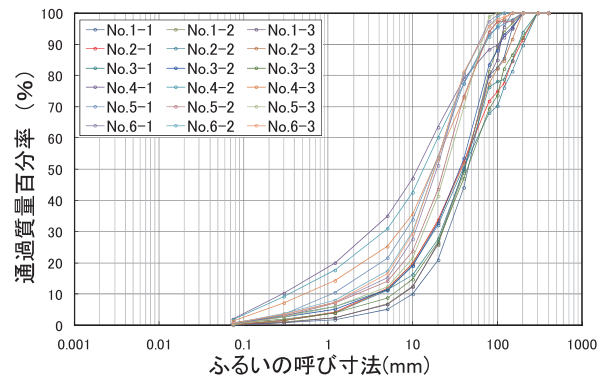


図-3 軟岩の母材粒度分布

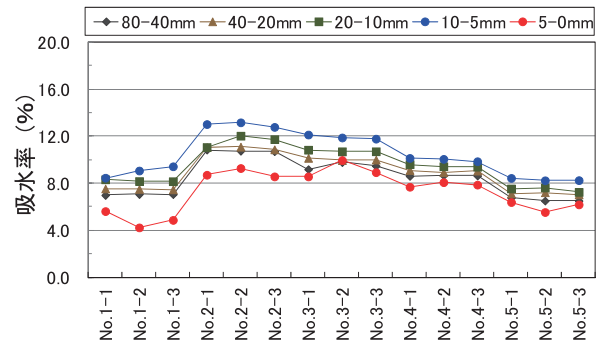


図-4 軟岩の吸水率試験結果

粒径(mm)	各群の質量百分率(%)		
	細粒	平均	粗粒
80-40	96	84	71
40-20	84	69	54
20-10	71	59	47
10-5	62	53	44
5-0	49	46	42

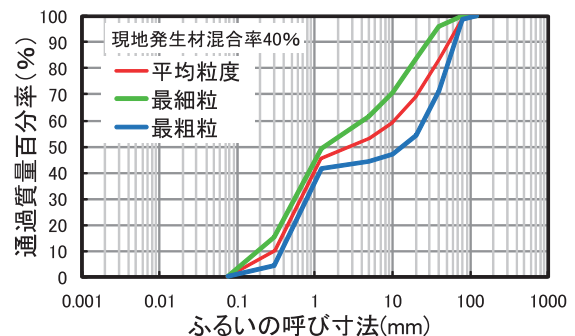


図-5 CSG 材の粒度分布（混合率40%）

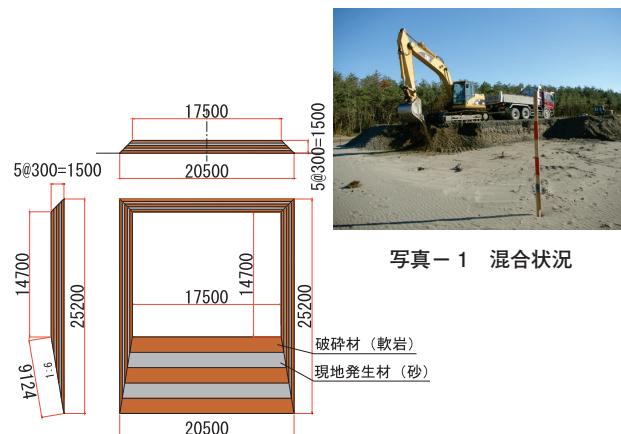


写真-1 混合状況

図-6 ブレンドヤード

るために行うものである。

破碎機の出口開度セット量を3パターン設定（CSS40, CSS50, CSS60）し、破碎後の粒度分布を調べた。

粒度試験は、簡易法の湿潤ふるい試験とした。

開度セット量毎のふるい分け試験結果を図-7に示す。試験の結果、開度はオーバーサイズの発生がなく、かつ大玉の混入が適正である CSS50 とした。

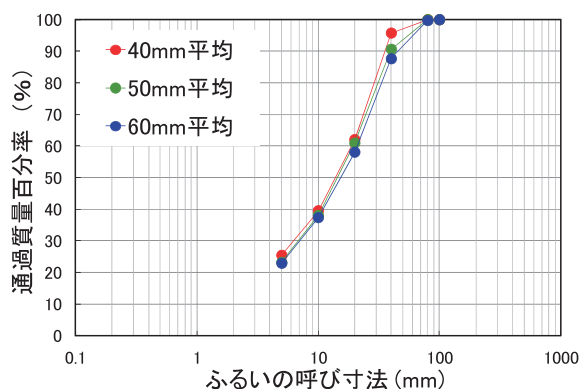


図-7 開度毎のふるい分け試験結果



写真-2 移動式破碎機による破碎試験

(2) ふるい分け試験および吸水率・表乾密度試験

各母材がブレンドヤードで混合され、CSG 材となる。この試験では、CSG 材の粒度範囲（最細粒度、平均粒度、最粗粒度）を調べ、粒度範囲の大きさや粒径分布の特性を確認し、本工事で使用する CSG 材の粒度分布を決定した。また、CSG 材の吸水率、表面乾燥密度を測定し、物性を把握した。

試験の結果、粒度分布は現地発生海砂を 40% 混合していることから、5 mm 以下の分布範囲が極端に狭く、びつな分布となった（図-5）。このため、施工中において母材破碎時の破碎機開度のセット量のずれや母材の風化現象により粒度範囲が逸脱する可能性がある。

表面乾燥密度は、軟岩は 2.4 t/m^3 程度、現地発生海砂が大勢をしめる 5 mm 以下は 2.6 t/m^3 程度を示し、大きなバラつきは認められなかった。

また吸水率は、軟岩は各粒径とも 7～9% と高い値を示し、5 mm 以下は 2% 程度の値であった。吸水率が比較的高いことから CSG の混合から時間が経過したときの CSG の性状の変化が懸念された。

3-4 単位水量幅決定試験

この試験は、「ひし形」の作成において単位水量範囲を決定するために行ったものである。試験方法は、ポツ

トミキサーを用いて、破碎試験で決定した試験粒度の CSG を単位水量 5 ケース、単位セメント量 3 ケースで混合した。混合時のミキサ内状況・ミキサ排出後の CSG フレッシュ性状やミキサー付着状況などから単位水量幅を決定した。あわせて、標準供試体を作成し、ペースト分の浮き上がりなどの締固め状況や単位水量、単位セメント量の違いによる CSG の強度特性を 7 日強度で把握し、単位水量範囲の判断材料とした。試験状況を基に発注者と協議した結果、単位水量範囲を $110 \sim 140 \text{ kg/m}^3$ とした。図-8 に単位水量範囲を示す。

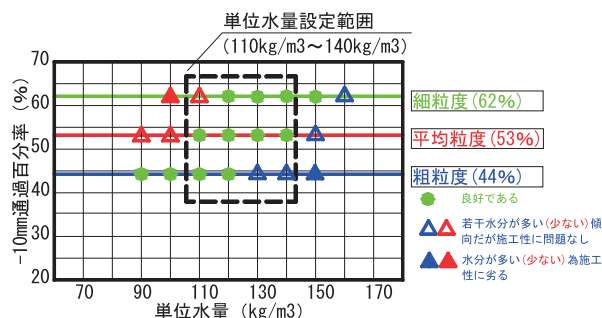


図-8 単位水量範囲結果



写真-3 ポットミキサ混合状況

3-5 標準供試体試験によるひし形の作成

CSG 材は、分級、粒度調整、洗浄などを行わないことから、その都度粒度と表面水量が変動する。「ひし形」理論では、CSG の強度を粒度と単位水量の変動を前提として定義するように定めている¹⁾。つまり、現場施工においては、粒度および単位水量の変動の範囲から、強度が最も小さくなる点を把握し、CSG 強度と定義するものである。本試験は、試験粒度 3 ケース（最細粒度、平均粒度、最粗粒度）、単位水量 5 ケース、単位セメント量 2 ケースにおいて、標準供試体の強度を調べ「ひし形」を作成するために行った。

写真-4 に標準供試体作製状況を、図-9 に標準供試体で作成した「ひし形」を示す。



写真-4 標準供試体作成状況

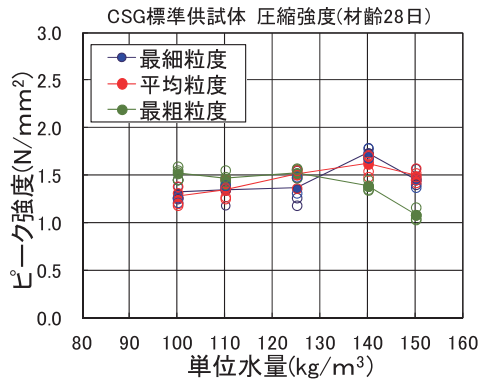


図-9 標準供試体によるひし形

§ 4. 試験施工

4-1 転圧回数の確認と大型供試体締固め方法確認

試験施工は、本施工に先立ち、実際に使用する CSG 材、施工機械を用いて現地試験を行ったものである。その際、CSG の施工仕様と締固め用ハンマーの選定や締固め時間などの大型供試体締固め方法の確認を行った。

転圧回数の確認は、実施工で使用する施工機械（ブルドーザ、振動ローラ）を用いて、設定した単位水量 3 ケースをそれぞれ混合した CSG を敷均した後、3 ケースの転圧（有振動往復 6, 8, 10 回）を行った。同時に、同じ CSG を用いて大型供試体を作製し、大型供試体密度を計測する。現場で得られたものと同等の密度が得られる大型供試体締固め時間と転圧回数を定めた。

図-10 に転圧回数の確認ヤード、図-11 に転圧回数と大型供試体締固め秒数の結果を示す。なお、同時に大型供試体締固め用ハンマーの選定を 2 ケース（日立製 H70, H90）を行い、H90 のハンマーの締固めエネルギーが必要であることを確認している。

4-2 大型供試体試験および標準供試体試験

一般に、CSG は単位セメント量が少なく、CSG 材の粒度も JIS で定められるような統一された粒度範囲でないことから、現場において得られるものと同等の締固めエネルギーにより製作された大型供試体による試験結果を用いる必要がある。

大型供試体および標準供試体試験は、ストックパイルにおける現場粒度で実機混合した CSG により、大型供試体と標準供試体の強度の比率を調べたものである。

また、同時にポットミキサ混合と実機混合の標準供試体の強度の比率を調べた。これらにより得られた補正係数を「標準供試体によるひし形」に乗じることで、供試体規格、混合装置の差異が補正され、大型供試体を用いた場合と同等の「ひし形」が得られた。

図-12 に大型供試体と標準供試体の関係（比率 1.42）を、図-13 にポットミキサ混合と実機混合の標準供試体強度の関係（比率 0.97）を示す。図-14 に「ひし形」を示す。



写真-5 CSG 敷均し状況



写真-6 CSG 転圧状況

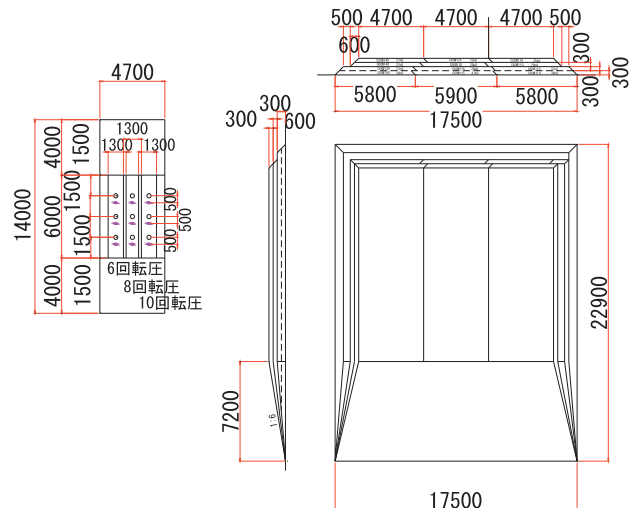


図-10 転圧回数の確認ヤード

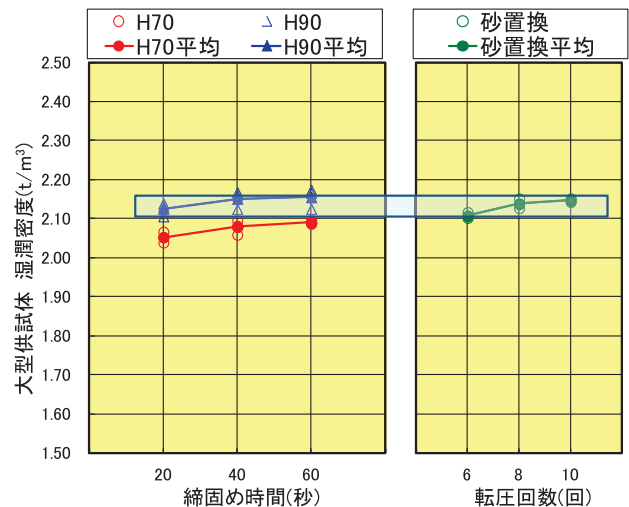


図-11 転圧回数と大型供試体締固め秒数

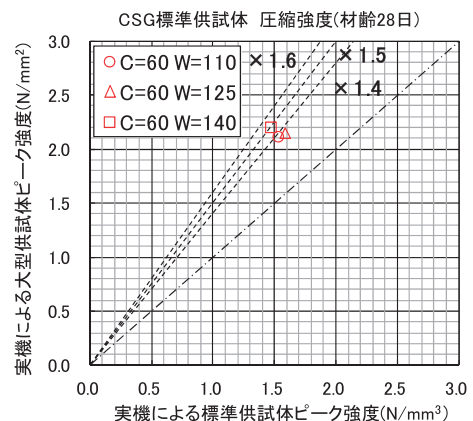


図-12 大型供試体と標準供試体の関係

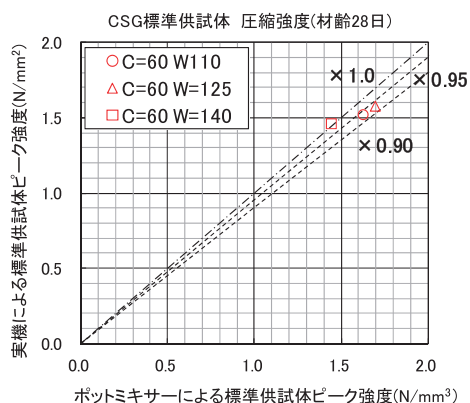


図-13 ポットミキサ混合と実機混合の関係

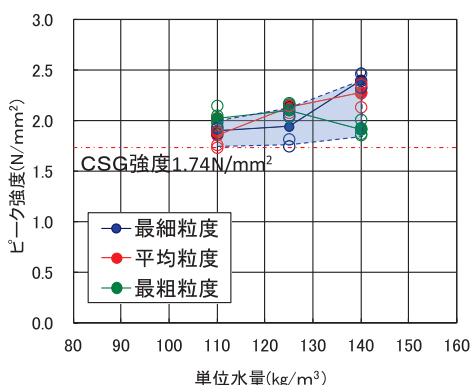


図-14 軟岩における「ひし形」

§5. 今後考えられる課題と対策

5-1 課題

母材は、段丘堆積物の採取の後に泥岩が主体となる見込みである。今後の課題は、母材の岩質が変わることによる CSG の性状の変化への対応方法を考える必要がある。阿蔵山の泥岩は、海風や降雨によるスレーキングが著しく、数週間で表層の岩塊が細粒化し始める現象が確認されている（図-15、写真-7）。

今後の施工においては、母材破碎時の破碎機開度のずれや母材のスレーキング現象により粒度範囲がひし形から逸脱する懸念がある。

また、本 CSG 材は吸水率が比較的高いことから、CSG の混合直後と敷均しおよび転圧時の性状の変化が懸念される。特に施工計画において、1 レーン当たりの転圧完了までの時間を長く設定した場合は、時間の経過とともに CSG の表面が乾燥状態となり、締固めエネルギー管理が適正とならないことが考えられる。

5-2 対策

スレーキング試験の結果、ストック後 1 ヶ月の風化の深度は 10 cm 程度であった。CSG 材の粒度を安定させるためには、ストックした材料の使用時に一旦表層を剥がし、新鮮な材料とよく混合する対策が必要である。

また、ストックヤードからの材料積み込み時には、バックホウやトラクターショベルを使用して、よく混合攪拌

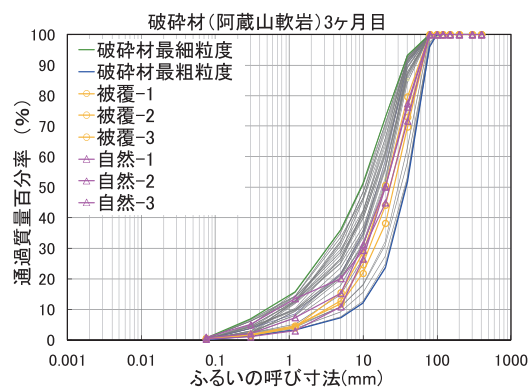


図-15 スレーキング試験での粒度分布の変化



写真-7 泥岩の細粒化状況

することが求められる。

さらに、CSG 材品質管理手法に則った確実な頻度と正しい粒度管理が必要と考える。CSG の性状の変化に対処するためには、打設計画において、1 レーンの面積をこれまでより小さく設定し、CSG 製造から転圧完了までの時間を短く設定するか、若しくは各機械を増車し作業能力を上げる工夫が必要となる。

§6. おわりに

本工事は、最先端技術である CSG 工法を海岸防潮堤の構築に適用したものである。施工に際し、CSG の施工経験のない地元施工者に CSG 品質管理手法に基づいた施工管理が可能のように、わかりやすい仕様とすることが求められた。施工仕様の決定までには、阿蔵山からの材料採取や施工箇所周辺住民の理解を得るために苦労を要したが、無事に完了することができた。この試験施工結果を基に本格的な防潮堤が早期に構築され、津波の被害から沿岸住民を守ることができれば幸いである。

謝辞：本工事にあたり、ご指導いただいた一般財団法人ダム技術センターの皆様、および本社技術研究所はじめ関係各部署の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター：台形 CSG ダム，設計・施工・品質管理技術資料，平成 24 年 6 月。
- 2) 静岡県：浜松沿岸域防潮堤参考資料(案)，2014 年 4 月。