

地すべり対策工事へのCSG工法の適用

Application of CSG Method to Landslide Prevention Work

廣中哲也* 石井敏之* 谷口知哉** 吉田和陸**

要旨

大滝ダム迫地区の貯水池斜面の安全性を確保するために、地すべり対策工事として、CSG工法（Cemented Sand and Gravel Method）を用いた押え盛土の抑制工を実施した。CSG工法は、施工現場近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ズリ等を骨材に使用するため環境負荷が小さく、セメント改良土に比べて強度が高く、安定していることから今後、押え盛土等への普及が期待されている。本報告では、迫地区地すべり対策の押え盛土に使用したCSGの配合、混合装置、施工管理および品質管理について述べる。

キーワード：地すべり対策工事、CSG工法、混合装置、品質管理

1. まえがき

奈良県吉野郡川上村の一級水系紀の川上流部に位置する大滝ダムの試験湛水により平成15年5月初旬に白屋地区に地すべりが発生した。地すべりを防止するため、セメント改良土に比べて強度が高いCSG工法を使った押え盛土工事が平成17年4月に初めて適用された¹⁾。その後、白屋地区以外の貯水池斜面についても、専門家による現地調査や委員会での検討が実施され、新たに大滝地区の前面すべりおよび迫地区の下部すべりの発生が懸念されたため、2件の地すべり対策工事を実施することになった(写真-1参照)。

本報告では、迫地区地すべり対策工事の押え盛土工事に平成22年2月から平成23年1月に提案技術として採用されたCSG工法の配合、平成16年に開発し改良を加えた混合装置の適用および施工・品質管理について述べる。なお、CSG工法の適用に際しては、財団法人ダム技術センターの技術指導を受けた。

強度範囲を示す。CSGは、CSG材の粒度および含水量の変動を考慮した2本の単位水量-強度曲線に囲まれた範囲（以後、ひし形と称す）の最も低い値をCSG強度とし、これ以上の値が確保できるように管理する。なお、強度の最大値をピーク強度、応力-ひずみ曲線が直線関係（弾性領域）にある範囲の最大値をCSG強度としている²⁾。



写真-1 大滝ダム迫地区の地すべり想定場所

2. CSG工法および地すべり対策工事の概要

2.1 CSG工法の概要

CSG工法は、河床砂礫や掘削ズリなどの施工現場近傍で容易に入手できる岩石質材料（以後、母材と称す）の粒径80mm以上を取り除いた骨材（以後、CSG材と称す）に、セメント、水を添加し、簡易な混合装置により連続製造した材料（以後、CSGと称す）を運搬、ブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧して構造物を築造するものである。

図-1に粒度幅と単位水量管理範囲から求まるCSGの

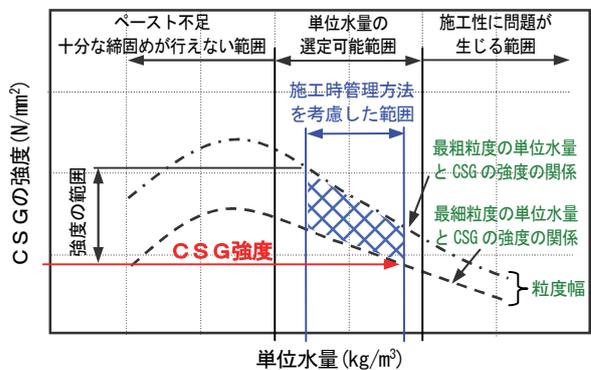


図-1 粒度幅と単位水量範囲から求まるCSGの強度範囲

*技術研究所 **西日本支社土木第3部

2.2 地すべり対策工事の概要

表-1に迫地区地すべり対策工事の概要、写真-2に施工場所を示す。大滝ダム迫地区のトンネル坑口の上部斜面を頭部として河床まで達する想定規模30万³の地すべりの安全性を確保するために(写真-1参照)、地すべり対策工を実施するものである。地すべり対策工は、CSG工法を用いた押え盛土による抑制工とし、補助工法としてアンカーによる抑止工を組み合わせている。なお、地すべりの対策工法は、抑制工と抑止工に区分され、抑制工は、横ボーリング工、集水井工、排水トンネル工、排土工、押え盛土工等により地すべり地の地形、地下水状態等を変えることで地すべりの滑動力を緩和させる工法である。また、抑止工は、杭、シャフトまたはアンカーの構造物自体の持つ抵抗力を利用して地すべりの滑動力を停止させる工法である。

表-2にCSGによる押え盛土の設計強度とCSG材の関係、図-2に押え盛土の施工断面と設計強度を示す。本工事に使用したCSG材は、現地発生材と購入材の5種類、CSGの設計強度は2.5N/mm²、2.9N/mm²、3.6N/mm²の3種類である。なお、設計強度3.6N/mm²の強度管理データから、CSG強度とピーク強度の関係に高い相関が得られたため、応力-ひずみ曲線の測定作業の省力化を目的に、施工途中に設計強度をCSG強度からピーク強度に変更した。

3. CSGの配合

3.1 CSGに使用したCSG材

CSGに使用したCSG材は、市中の採石場でジョークラッシャーにより粒径80mm以下に破碎した砕石(以後、購入材と称す)、川迫ダム堆積材を80mm以下にふるい分けしたもの(以後、川迫材Iと称す)、川迫ダム堆積材をジョークラッシャーにより粒径80mm以下に破碎したもの(以後、川迫材IIと称す)、九尾ダム堆積材をジョークラッシャーにより粒径80mm以下に破碎したもの(以後、九尾材と称す)および大滝地区地すべり対策工事で発生した浚渫材(以後、浚渫材と称す)の5種類とした。

表-3にCSG材の物性値、図-3~図-8にCSG材の粒度分布の範囲を示す。物性値試験および粒度試験に使用した試料は、現場仮置場内の全域から採取し、細粒側および粗粒側の粒度を確認の後、各CSG材の最細粒度、最粗粒度および平均粒度の管理範囲を設定した。浚渫材は、他のCSG材に比べて、粒径5mm以下の密度が小さく、吸水率が大きく、粒度の変動幅も大きいことが分かる。また、80mm以下にふるい分けした川迫材Iをジョークラッシャーで破碎することで、細粒分の割合が増加すると同時に粒度の変動幅も小さくなり、同じく破碎した九尾材の粒度と同様の分布を示すことを確認した。そこで、川迫材IIと九尾材に共通の粒度管理範囲の設定が可能と考

えて、最細粒側の管理範囲に九尾材の値、最粗粒側の管理範囲に川迫材IIの値を採用した。

表-1 迫地区地すべり対策工事の概要

工事名称	迫地区地すべり対策工事		
発注者	近畿地方整備局		
工期	平成20年8月~平成23年2月		
施工場所	奈良県吉野郡川上村迫地先		
工事内容	土工	掘削工	15,550m ³
	抑制工	CSG押え盛土工	116,000m ³
	抑止工	アンカー工	123本
	法面工	吹付け法枠	1,914m ²
	法面工	繊維混合吹付け	1,429m ²
流路工	現場打ち	104m	



写真-2 施工場所

表-2 押え盛土の設計強度とCSG材の関係

ひし形No.	設計強度(N/mm ²)	CSG強度とピーク強度は高い相関を示すことから、応力-ひずみ曲線の測定作業の省力化を目的に、設計強度をCSG強度からピーク強度に変更した	標高(m)	CSG材種類
1	3.6(CSG強度)		265-285	購入材
2				購入材
3	2.9(ピーク強度)		285-295	川迫材I
4*1)				川迫材II
5	2.5(ピーク強度)	295-304.9		浚渫材
6				購入材

*1)同様の粒度分布を示すことから同一のひし形とした

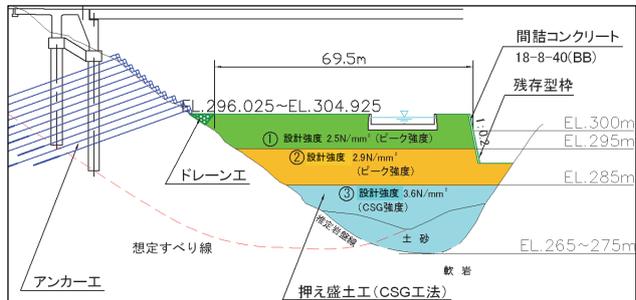


図-2 施工断面と設計強度

表-3 CSG材の物性値

種類	粒径(mm)	表乾密度(g/cm ³)	絶対乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)
購入材	80-40	2.69	2.67	0.73
	40-20	2.66	2.64	0.88
	20-10	2.64	2.60	1.63
	10-5	2.61	2.56	1.81
	5-0	2.53	2.47	2.47
川迫材I	80-40	2.66	2.64	0.78
	40-20	2.63	2.60	1.46
	20-10	2.62	2.57	1.89
	10-5	2.61	2.56	2.23
	5-0	2.55	2.45	4.13
川迫材II	80-40	2.66	2.64	0.81
	40-20	2.63	2.60	1.44
	20-10	2.61	2.57	1.91
	10-5	2.61	2.55	2.20
	5-0	2.53	2.43	4.04
九尾材	80-40	2.66	2.64	0.80
	40-20	2.64	2.61	1.20
	20-10	2.62	2.58	1.59
	10-5	2.62	2.58	1.81
	5-0	2.53	2.45	3.16
浚渫材	80-40	2.69	2.67	0.89
	40-20	2.66	2.62	1.50
	20-10	2.65	2.60	2.03
	10-5	2.64	2.58	2.45
	5-0	2.46	2.32	6.09

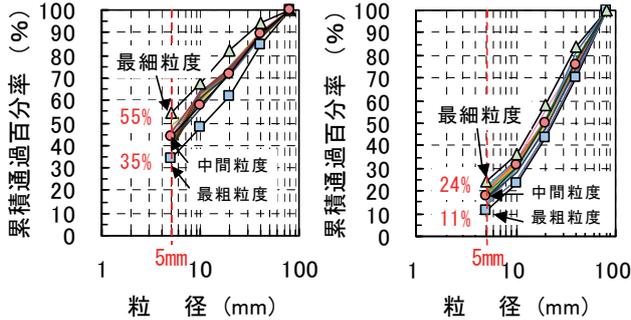


図-3 購入材の粒度

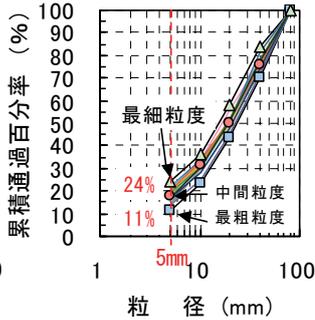


図-4 川迫材 I の粒度

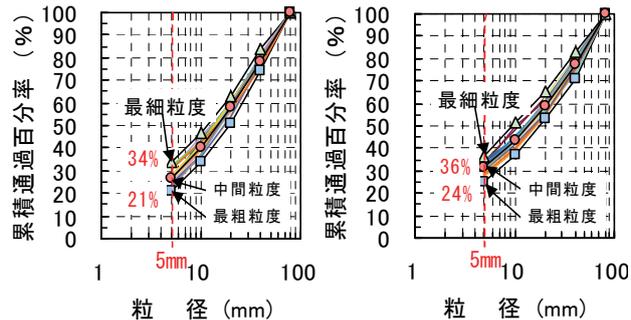


図-5 川迫材 II の粒度

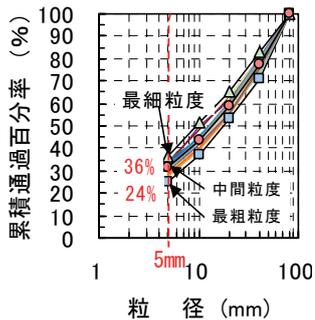


図-6 九尾材の粒度

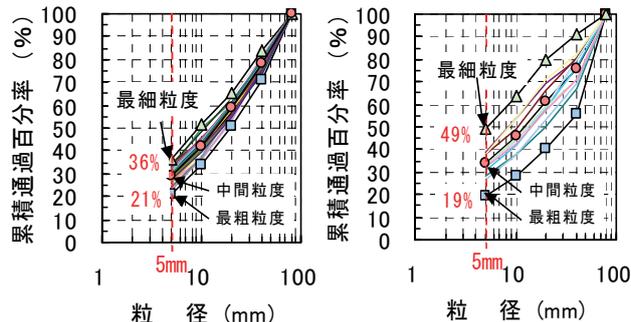


図-7 川迫材 II と九尾材の粒度

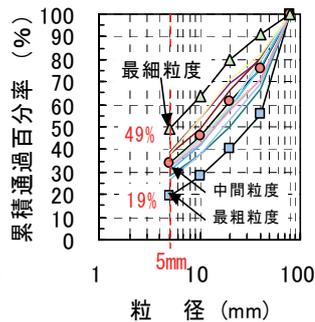


図-8 浚渫材の粒度

3.2 室内試験および試験施工

a. ひし形作成の流れ

図-9 にひし形作成フローを示す。室内試験では、容量120ℓの傾胴式ミキサを用いてCSGを混合する。室内標準供試体試験では、粒径40mmでふるったCSGと直径150mm×高さ300mmの供試体を用いて、混合および締固め状況を目視確認すると共に、CSG材の粒度、単位セメント量、CSGの強度と単位水量の範囲を把握する。

室内大型供試体試験では、最大粒径80mmのCSG、直径300mm×高さ600mmの供試体および室内標準供試体試験で設定した単位水量の範囲を用いて、CSG材の粒度と単位水量別の締固め機（以後、電動ハンマと称す）の締固め時間をパラメータとしたCSGの強度および密度の関係を作成する。この結果から小型傾胴式ミキサでの電動ハンマによる大型供試体の締固め時間毎の単位水量とCSGの強度の範囲（以後、ひし形と称す）を作成する。

実機の混合装置および締固め機械を用いた試験施工では、敷均しおよび締固め試験を実施し、実機締固め機械の転圧回数とCSGの沈下量および密度の関係を把握する。次に、電動ハンマによる大型供試体の締固め時間および実機の締固め機械による転圧回数とCSGの密度の関係から転圧回数に相当する締固め時間を把握する。ここで、大型供試体試験で得られた締固め時間に相当するひし形（単位水量とCSGの強度の範囲）を選定すれば、転圧回数に対応したCSGの強度の品質管理に必要なひし形となる。最後に、ひし形のCSGの強度を小型傾胴式ミキサによる大型供試体の値から実機混合装置の値とするために、実機混合装置の性能確認試験を実施する。小型傾胴式ミキサの大型供試体に対する実機混合装置の強度比によりひし形のCSGの強度を補正することで、実機締固め機械の転圧回数に対応したひし形を決定する。本工事に使用するCSGは、表-2に示すように各強度区分の施工時期と設計数量、各発生材の搬入時期、打設数量、粒度分布および工期等を考慮して、6つのひし形を作成して品質管理を行った。ここでは、購入材を使用した設計強度3.6N/mm²の室内試験と試験施工による「ひし形」の設定について示す。

【室内標準供試体試験】

- ・小型の傾胴式ミキサの使用（容量120ℓ）
- ・粒径40mm以下のCSGと直径150mm×高さ300mmの標準供試体
- ・混合状況および締固め状況の目視確認から単位水量と施工性の把握
- ・CSG材の粒度、単位水量、単位セメント量と標準供試体でのCSGの強度の把握
- ・上記より大型供試体に使う単位水量範囲、単位セメント量の設定

【室内大型供試体試験】

- ・小型の傾胴式ミキサの使用（容量120ℓ）
- ・最大粒径80mmのCSGと直径300mm×高さ600mmの大型供試体
- ・変動幅を考慮したCSG材の粒度（最粗粒度・平均粒度・最細粒度）、室内標準供試体試験で設定した単位水量範囲と単位セメント量で実施
- ・CSG材粒度と単位水量別の電動ハンマによる大型供試体の締固め時間とCSGの強度・密度の関係の作成
- ・上記より締固め時間毎の「ひし形：単位水量とCSGの強度の範囲」の作成

【試験施工】

- ・実機の混合装置および締固め機械の使用
- ・実機締固め機械による混合、敷均し、締固め試験の実施
- ・実機締固め機械の転圧回数と沈下量、CSGの現場密度の把握
- ・実機締固め機械の転圧回数に相当する電動ハンマによる大型供試体の締固め時間の把握と「ひし形」の設定
- ・実機混合装置の性能確認試験の実施
- ・小型傾胴式ミキサの大型供試体に対する実機混合装置の強度比を算出後、「ひし形」のCSGの強度の補正

図-9 ひし形作成フロー

b. 室内試験

(a) 室内標準供試体試験

図-3に購入材の粒度範囲、表-4に室内標準および大型供試体の試験ケースを示す。CSG材は、粒度の変動幅を把握するために、仮置場内の全域から採取した試料(25m²に1箇所の30試料)による粒度試験を実施した。粒径5mmの通過百分率が細粒側で50%、粗粒側で40%であることを確認後、財団法人ダム技術センター発行の「台形CSGダム 施工・品質管理技術資料」²⁾(以後、技術資料と称す)を参考に粒度の管理範囲を粒径5mmの通過百分率で最粗粒側に-5%、最細粒側に+5%した最粗粒側35%から最細粒側55%に設定した。試験に用いたCSG材は、最粗粒度、平均粒度、最細粒度の3種類とし、粒度別に分級したものを3種類の粒度に再混合して使用した。単位セメント量を100kg/m³、単位水量は、CSG材の自然含水量と施工上の限界を考慮して、下限値を75kg/m³に設定し、15kg/m³間隔で135kg/m³までの5段階に変化させた。混合には、容量120ℓの傾胴式ミキサーを使用し、CSG材とセメントを投入して60秒間空練した後、水を加えて120秒間混合した。粒径40mmでふるったCSGを用いて直径150mm×高さ300mmの標準供試体を作製し、脱型後は所定の材齢まで20℃の養生室にて封かん養生した。

図-10に標準供試体の単位水量とCSG強度を示す。CSG強度は、単位水量90kg/m³以上で目標値3.6N/mm²を満足した。フレッシュ性状は、単位水量90kg/m³で水量不足による供試体への充填不良が見られた。

(b) 室内大型供試体試験

室内標準供試体試験の結果から単位水量の範囲を105~135kg/m³、CSG材には室内標準供試体試験と同様の方法で再混合、調整したものを使用した。締固めに質量35kg、打撃数1,100回/分の電動ハンマを使用し、締固め時間を30秒、45秒、60秒の3段階として、最大寸法80mmのCSGを用いた直径300mm×高さ600mmの大型供試体を作製した。図-11~図-13に締固め時間30~60秒の大型供試体のひし形を示す。設定した最粗粒度から最細粒度の範囲と各締固め時間において、単位セメント量100kg/m³、単位水量105~135kg/m³で設計強度を満足することを確認した。

3.3 試験施工

表-5に主要機械と締固め方法を示す。試験施工では、購入材、単位セメント量100kg/m³および単位水量120kg/m³を用いて、実機によるCSGの混合、敷均しおよび転圧を実施し、締固め機械の転圧回数毎の沈下量と現場密度を測定した。現場密度は、地盤工学会基準の「JGS 1611-2003 突き砂法による土の密度試験方法」および「JSG 1614-2003 RI計器による土の密度試験方法」に準拠して測定した。締固め方法は、ブルドーザ(8t級)により1回当たり厚さ25cmのCSGを3回敷均して、

表-4 室内標準および大型供試体の試験ケース

区分	要因	水準
標準供試体試験	粒度	最細粒、平均、最粗粒
	単位セメント量(kg/m ³)	100
	単位水量(kg/m ³)	75、90、105、120、135
大型供試体試験	粒度	最細粒、平均、最粗粒
	単位セメント量(kg/m ³)	100
	単位水量(kg/m ³)	105、120、135
	締固め時間(秒)	30、45、60

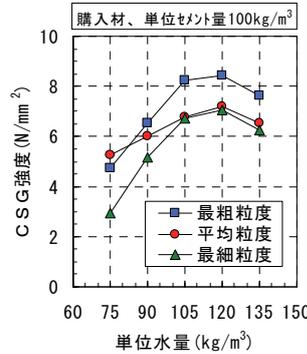


図-10 標準供試体の単位水量とCSG強度

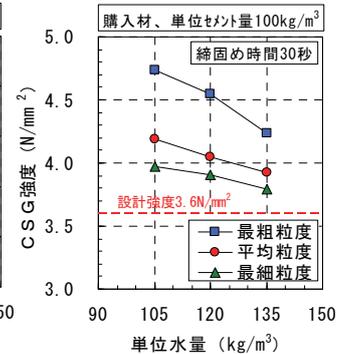


図-11 大型供試体のひし形(締固め時間30秒)

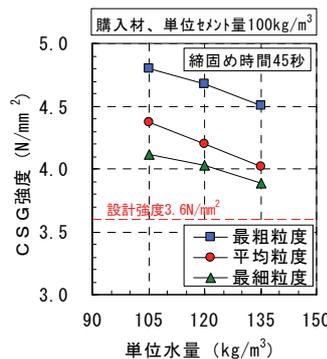


図-12 大型供試体のひし形(締固め時間45秒)

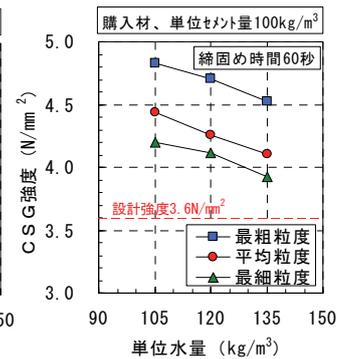


図-13 大型供試体のひし形(締固め時間60秒)

表-5 主要機械と締固め方法

項目	仕様・方法	
使用機械	混合	CSG混合装置(120m ³ /hour)
	敷均し	ブルドーザ(8t級)
	転圧(一般部)	振動ローラ(11t級)
	転圧(着岩部)	振動タンバ(60kg)
締固め方法	1回当たり厚さ25cmのCSGを3回敷均して転圧層75cmとし、無振動2回の転圧後、有振動で転圧した	

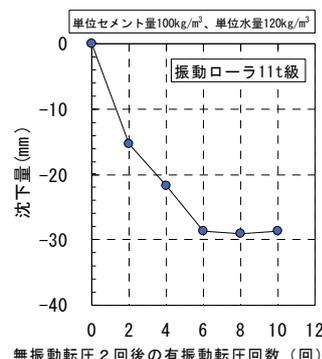


図-14 転圧回数と沈下量

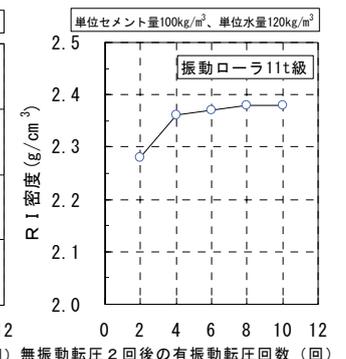


図-15 転圧回数とRI密度

転圧層の厚さを75cmとした。振動ローラ（11t級）により無振動で2回転圧した後には有振動で10回まで転圧した。

図-14に転圧回数と沈下量の関係、図-15にR I計器で測定したCSGの現場密度（以後、R I密度と称す）と転圧回数との関係を示す。今回の使用材料、使用機械および締固め方法では、無振動2回+有振動6回の振動ローラ（11t級）による転圧で沈下量およびR I密度が収束する傾向を示した。試験施工の結果から設計強度3.6N/mm²に購入材を使用する場合の振動ローラ（11t級）の転圧回数に無振動2回+有振動6回を採用した。

図-16に試験施工に使用した同一のCSGを用いた大型供試体の締固め時間と密度の関係を示す。突き砂法で測定したCSGの現場密度は2.28g/cm³となり、実機締固め機械の転圧回数（11t級振動ローラの転圧回数で無振動2回+有振動6回）に相当する電動ハンマによる大型供試体の締固め時間を40秒と判断した。技術資料に準拠して、事前に実施した室内試験での小型傾胴式ミキサを用いた大型供試体の締固め時間30秒（図-11）と45秒（図-12）のひし形から内挿することで締固め時間40秒の大型供試体の「ひし形」を算定した（図-17参照）。

表-6に試験施工に使用した同一のCSG材を用いて小型傾胴式ミキサと実機混合装置で混合した大型供試体のCSG強度の試験結果を示す。小型傾胴式ミキサで混合した大型供試体のCSG強度に対する実機混合装置の強度比は0.85と1.0より小さくなった。そこで、図-17を小型傾胴式ミキサに対する実機混合装置の強度比0.85で補正して、実機混合装置に相当する大型供試体の締固め時間40秒のひし形を算定した（図-18参照）。補正後のCSG強度は、設計強度3.6N/mm²を下回ったため、単位セメント量を100kg/m³から110kg/m³に増加させた。

図-19に単位セメント量110kg/m³の実機混合装置に相当する大型供試体の締固め時間40秒のひし形を示す。単位セメント量を110kg/m³に増加させたCSG強度は、設計強度をすべて満足しており、図-19を設計強度3.6N/mm²で購入材を使用した場合の実機混合装置に相当する大型供試体の締固め時間40秒のひし形に決定し、CSGの強度管理に使用した。同様の方法で設計強度とCSG材の種類を考慮して決定した施工仕様を表-7、ひし形一覧を表-8に示す。

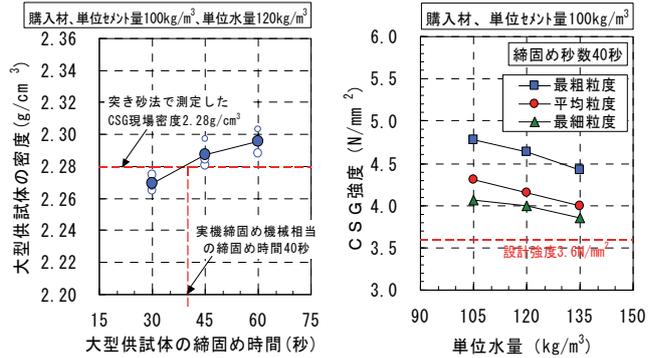


図-16 締固め時間と密度 図-17 締固め時間40秒のひし形

表-6 傾胴式ミキサと実機での大型供試体のCSG強度

条件	単位水量 (kg/m ³)	CSG強度		強度比 (②/①)
		①傾胴式ミキサ	②実機混合装置	
購入材 単位セメント量 100kg/m ³	105	4.15	3.39	0.85
	120	4.31	3.89	
	135	4.42	3.70	

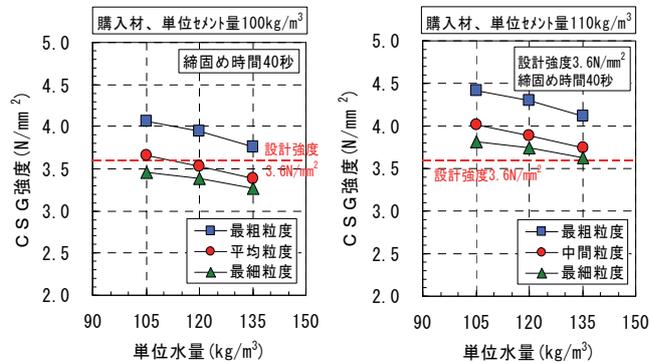


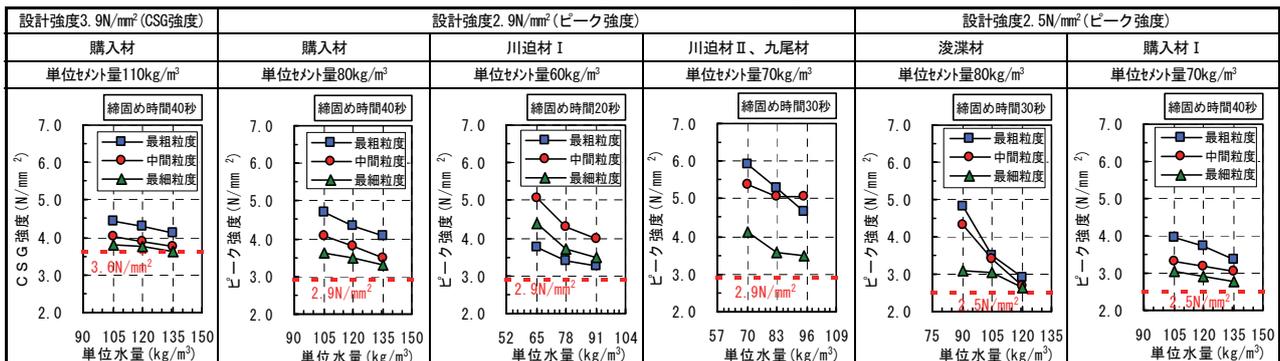
図-18 補正後のひし形 図-19 実機相当のひし形

表-7 主な施工仕様と大型供試体の締固め時間

設計強度 ^{*1)} (N/mm ²)	CSG材名	単位 セメント量 (kg/m ³)	施工仕様		大型供試体の 締固め時間 (秒)
			敷均し 8t級ブルドーザ	転圧 11t級振動ローラ	
3.6 CSG強度	購入材	110	1回25cmのCSGを3回敷均し (転圧層の厚さ75cm)	無振動2回 + 有振動6回	40
	購入材	80			40
2.9 ピーク強度	川迫材I	60			20
	川迫材II ^{*2)}	70			30
	九尾材 ^{*2)}	70			30
2.5 ピーク強度	浅瀬材	80			30
	購入材	70			40

*1) CSG強度とピーク強度は高い相関を示すことから、応力-ひずみ曲線の測定作業の省力化を目的に設計強度をCSG強度からピーク強度に変更した
*2) 同様の粒度分布を示すことから、同一の施工仕様とひし形を用いた

表-8 決定したひし形の一覧表



4. CSG混合設備

4.1 混合装置

CSGの混合装置には、平成15年度に開発し、平成16年1月に福島県こまちダム建設工事の上流仮締切堤に適用し、平成16年3月に(財)日本ダム協会からCSG工法用混合装置として認定を受けたものを使用した³⁾。写真-3に3連式混合装置、写真-4に混合装置のボックス構造、写真-5に混合装置のパドルの形状および表-9に混合装置の仕様を示す。混合装置は、自重で矩形筒内を流下する各材料に対して、3連のパドルを流下方向とは逆方向に回転させることで、攪拌混合する連続混合方式である。本工事は、CSGの日製造量で1,000m³以上かつ12ヶ月間の総製造量で約120,000m³と大規模な施工となった。そのため、混合装置の製造能力を向上させ、維持管理の容易さを考慮した改良を実施した。以下に混合装置の特長と改良点を示す。

- i. 装置の傾斜角度とパドルの回転数を変化させることで、CSG材料への適用範囲が広く、良好な混合性能が得られる
- ii. 自重により材料が流下することで、パドル回転用のモータ出力を小さくできる
- iii. パドル回転軸毎の独立したボックス構造とすることで故障等の交換作業が迅速かつ容易である
- iv. 10tトラック1台で運搬可能な重量と寸法であり、設置、撤去も容易である

4.2 混合設備

写真-6に混合設備、表-10に主な混合設備の仕様を示す。混合設備の設置面積は、500m²程度(縦10m×横50m)であり、CSG材受入れホッパ、ベルトフィーダ、セメントサイロ、セメント供給設備、ベルトスケール、No.1ベルトコンベア、給水設備、混合装置、No.2ベルトコンベア、製品ホッパ、中央管理室等からなっている。

製造手順は、10tダンプトラックで運搬したCSG材を

受入れホッパに投入後、中央管理室からの自動制御によりベルトフィーダで一定量のCSG材をNo.1ベルトコンベアに供給する。次に、No.1ベルトコンベアに設置されたベルトスケールを通過する単位時間当たりのCSG材



写真-3 3連式混合装置



写真-4 ボックス構造 写真-5 パドルの形状

表-9 混合装置の仕様

項目	仕様
寸法(mm)	長さ4.0m、幅0.7m、高さ0.9m
重量	3.6ton
製造能力	120m ³ /hour
パドル回転数	9~110rpm (75rpmで使用)
回転軸数	3軸
モータ出力	5.5kW×3台
装置傾斜角	可変式40~60° (50°で使用)



写真-6 CSG混合設備の全景

表-10 主な混合設備の仕様

設備名	仕様
受入れホッパ	容量13m ³
ベルトフィーダ	切出し能力313t/hour、幅0.9m×長さ3.8m
セメントサイロ	容量200t、直径4.6m×高さ16.2m
セメント供給装置	供給能力20t/hour
No.1ベルトコンベア	搬送能力316t/hour、幅0.75m×長さ19.5m
混合装置	製造能力120m ³ /hour、幅0.7m×高さ3.1m
No.2ベルトコンベア	搬送能力343t/hour、幅0.75m×長さ32.3m
製品ホッパ	容量6m ³
濁水処理設備	処理能力10m ³ /hour

の重量が配合量となるようにリアルタイムでベルトコンベアの搬送速度を調節する。その後、CSG材の重量に合わせてNo.1ベルトコンベア中間のセメント供給装置の供給速度を変化させて配合量に見合ったセメントを供給する。また、混合水もCSG材の重量に合わせて給水ポンプの稼働率を変化させて配合量に見合った水を混合装置の上から1番目と2番目のパドルの間から供給する。混合装置でCSG材、セメントおよび水を攪拌したCSGをNo.2ベルトコンベアで製品ホッパに搬送し、10tダンプトラックに積込んで打設位置まで運搬する。

5. 施工および品質管理

5.1 施工管理

図-20に施工フロー、写真-7にCSG材の貯蔵、写真-8にCSG材の積込みを示す。CSG材の貯蔵は、野積み方式とし、降雨による含水量の変動を抑えるために、シート掛けを実施した。また、ストック内の粒度のバラツキを少なくするために、施工3~5日分の一次ストックと翌日施工の1日分の二次ストックの各段階に分けて仮置きした。さらに、バックホウで攪拌しながら10tダンプトラックに積込んで運搬した。

写真-9に打設前清掃、写真-10に打継面処理を示す。CSGの打継面は、ブリーディングがないことからバキューム吸引機による簡易清掃を実施した。その後、一体性の確保を目的として、打継面に水セメント比80%のセメントペーストを散布した。

写真-11にCSGの運搬・荷降ろし、写真-12に敷均し・転圧、写真-13に打設面の養生を示す。CSGは、8t級ブルドーザで25cm×3層の薄層に敷均した後、11t級振動ローラで転圧した。転圧仕様は、前述の試験施工の結果から無振動2回+有振動6回の計8回とした。転圧後は、乾燥を防止するためシート養生を実施した。図-21に敷均し完了からの転圧開始時間とCSG密度を示す。敷均し完了から4時間以降でCSG密度の低下傾向が大きくなっており、転圧開始時間が4時間以内になるように管理した。

写真-14に残存型枠の設置状況を示す。CSG押え盛土の河川側斜面の表面を保護するために、1枚当たりの寸法600mm×1,000mm、重量50kgのプレキャストパネル

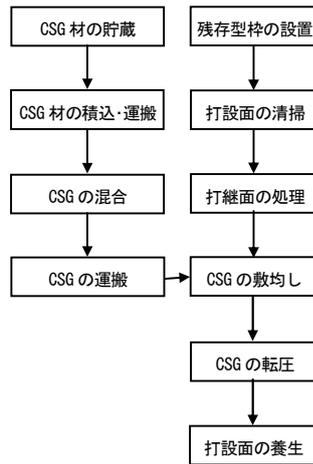


図-20 施工フロー

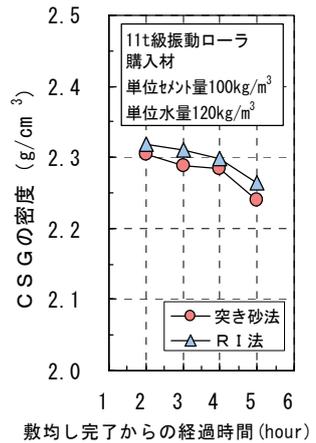


図-21 転圧開始時間と密度



写真-7 CSG材の貯蔵



写真-8 CSG材の積込み



写真-9 打設前清掃



写真-10 打継面処理



写真-11 運搬・荷降ろし



写真-12 敷均し・転圧



写真-13 打設面の養生



写真-14 残存型枠の設置

表-11 CSGの打設実績と混合装置のパドル交換実績

CSGの打設実績		混合装置のパドル交換実績		
項目	実績	交換時製造量	交換部位	交換数量
総打設量	120,404m ³			
日最大打設量	1,228m ³	8,720m ³	上から2軸目	7枚/7枚中
日平均打設量	547m ³	46,876m ³	上から2軸目	3枚/7枚中
月最大打設量	20,232m ³	64,927m ³	上から2軸目	4枚/7枚中
月平均打設量	10,655m ³			
時間最大製造量	120m ³	製造1万m ³ あたりのパドル磨耗量		
		1軸目:10mm	2軸目:14mm	3軸目:11mm



写真-15 使用前後の混合装置パドルの磨耗状況

と現場打ちの間詰めコンクリートを組合わせて施工した。

表-11にCSGの打設実績と混合装置のパドル交換実績、写真-15に使用前後の混合装置パドルの磨耗状況を示す。今回の総打設量は12ヶ月間で約120,000m³、日最大打設量は1,228m³、月最大打設量は20,232m³であった。また、混合装置は目標の時間最大製造量120m³を満足した。混合装置の上から2軸目のパドルの磨耗量が大きく、2軸目のパドルを施工期間中に3回交換した。

5.2 品質管理

a. 品質管理項目

品質管理の主な目的は、CSG材の粒度および単位水量、CSG強度がひし形の管理範囲内に入ることを確認することにある。表-12に品質管理項目を示す。CSG材は、施工現場近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ズリ等を粒度調整と洗浄を行うことなく骨材に使用するため、品質の変動が予想されることから測定項目および測定頻度が多くなっている。

b. 品質管理結果

図-22に施工前日までに1日に1回実施する乾燥炉法によるCSG材の粒度、図-23に施工中に2時間に1回実施する簡易法(水洗いふるい法)によるCSG材の粒度を示す。施工前および施工中ともにひし形決定時に想定した最細粒度と最粗粒度の範囲内にあることを確認して施工した。

図-24に施工日毎のCSG材の表面水量を示す。表面水量を測定し、単位水量が120kg/m³となるように、混合時の給水量を決定する。粒径10mm以上は、施工前に乾燥炉法で測定した表面水量、変動幅の大きい粒径10mm未満は、施工中に2時間に1回の頻度で電子レンジ法により測定した表面水量を用いた。

図-25に測定頻度と粒径10mm未満の表面水量の差分を示す。連続する2回の表面水量の差分がひし形の単位水量の管理幅±15kg/m³以内にあり、2時間に1回の測定頻度で管理可能であった。

図-26に材齢7日の標準供試体と材齢28日の大型供試

表-12 品質管理項目

区分	管理項目	試験方法	測定時期	管理頻度	
CSG骨材 (受入時)	色調・粒子形状	目視観察		1回/日	
	密度 吸水率	密度および吸水率試験 ・+5mm JISA1110 ・-5mm JISA1109	施工1ヶ月 前以上	1回/週	
	粒度	骨材のふるい分試験 JIS A 1102(乾燥法)			
CSG骨材 (施工時)	密度 吸水率	密度および吸水率試験 ・+5mm JISA1110 ・-5mm JISA1109	施工3日前 以上	1回/日	
	粒度	骨材のふるい分試験 JIS A 1102(乾燥法)			
	表面水率	骨材の含水率試験および含水 率に基づく表面水率試験 JISA1125(乾燥法)	施工前日		
CSG	単位水量 CSG骨材 の粒度	粒度	水洗い法	施工当日	1回/AM、 PM
		表面水率	電子レンジ法		1回/2h
	計量	CSG骨材量 給水量 セメント量	自動計測装置	施工当日	リアルタイム
	転圧回数	転圧回数	トータルステーション転圧固管理システム	施工当日	転圧毎
		RI密度	砂置換法		RI密度 に移行
		砂置換密度	RI法	施工当日	1回(3 点)/日
	強度	大型供試体密度	強度試験供試体用	7or28日後	標準供試 体に移行
		標準供試体 (材齢7日) 大型供試体 (材齢28日)	圧縮強度試験	7日後 28日後	1回(3 本)/日 標準供試 体に移行

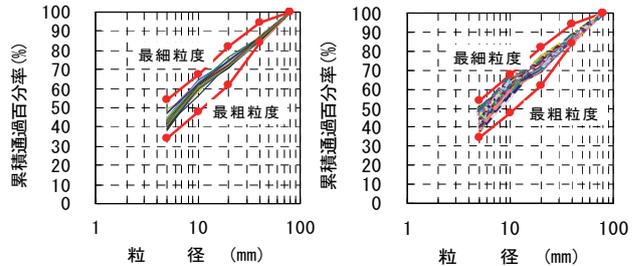


図-22 施工前の粒度

図-23 施工当日の粒度

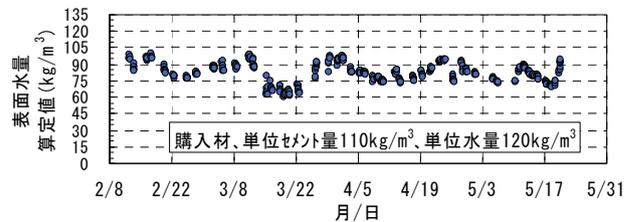


図-24 CSG材の表面水量

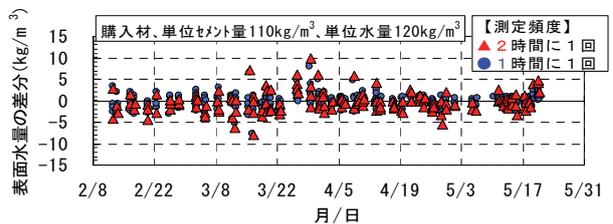


図-25 測定頻度と粒径10mm未満の表面水量の差分

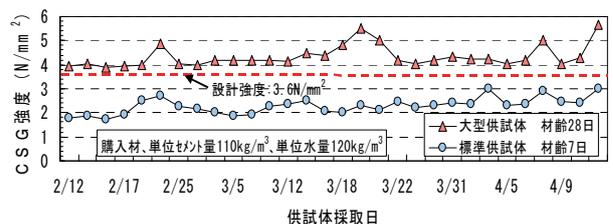


図-26 標準供試体と大型供試体のCSG強度

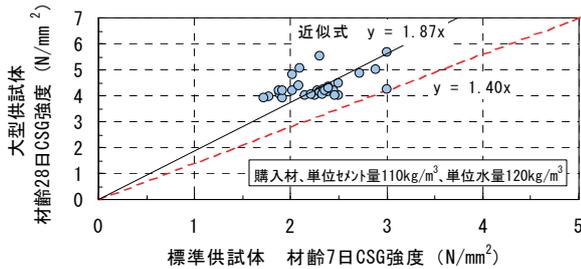


図-27 大型供試体と標準供試体のCSG強度の相関



写真-16 3連式および4連式混合装置

体のCSG強度、図-27に大型供試体の材齢28日におけるCSG強度と標準供試体の材齢7日におけるCSG強度の相関を示す。図-26より大型供試体の材齢28日CSG強度は設計強度 3.6N/mm^2 を満足し、標準供試体の材齢7日CSG強度と同様の変動傾向を示していることがわかる。また、図-27より大型供試体の材齢28日CSG強度は、標準供試体の材齢7日CSG強度の1.4倍以上となっており、大型供試体の材齢28日CSG強度と標準供試体の材齢7日CSG強度には、相関関係が見られる。そこで、強度の変動に対して、標準供試体の材齢7日CSG強度を用いて早期に対応した。

6. 混合装置の混合性能試験

本工事の設計強度 3.6N/mm^2 のCSGの配合とひし形の決定に際して、小型傾胴式ミキサで混合した大型供試体の強度に対する実機混合装置で混合した大型供試体の強度比(以後、混合性能と称す)が0.8程度と1.0より小さくなった。そのため、混合性能で補正した実機混合装置に相当するひし形は設計強度以下となり、混合装置の改良が必要となった。しかし、混合装置の改良と性能確認に伴う工期の遅延を回避するため、本工事では単位セメント量を増加することで設計強度を確保した。その後、すべての打設を完了した後に混合装置の混合性能の向上を目的とした混合試験を実施した。表-13に実験概要、写真-16に3連式および4連式混合装置を示す。小型傾胴式ミキサ、3連式混合装置および4連式混合装置で混合したCSGを用いた大型供試体のピーク強度を比較した。表-14に強度試験結果を示す。3連式混合装置からパドルを1軸増

加して4連式とすることで、混合性能が0.84から0.95に大きくなった。さらに、小型傾胴式ミキサと同等以上の混合性能を得るためには、混合装置の傾斜角度を小さくすることやパドルの回転数を増やすこと等の方法がある。

表-13 実験概要

実験ケース	No	混合装置の種類	条件	
	1	小型傾胴式ミキサ	容量 120ℓ、空練り 60 秒 給水後混合 120 秒	
2	3 連式混合装置	パドル回転軸数 3 軸 傾斜角度 50°、回転数 75rpm		
3	4 連式混合装置	パドル回転軸数 4 軸 その他は 3 連式と同様		
配合	設計強度	CSG 材	単位セメント量	単位水量
	2.5N/mm^2 (ピーク強度)	購入材	70kg/m^3	120kg/m^3
測定項目と方法	<ul style="list-style-type: none"> 大型供試体(直径 300mm×高さ 600mm)の圧縮強度 各ケース 2 回の混合を行い、3 本×2 回の計 6 本の供試体を採取 供試体の締固め時間は、電動ハンマで 40 秒とした 			

表-14 混合性能に関する圧縮強度試験結果

装置の種類	回	ピーク強度(N/mm²)		混合性能 (傾胴式ミキサに対する強度比)
		3本の平均	2回の平均	
小型傾胴式ミキサ	1	4.05	4.12	1.00
	2	4.18		
3連式混合装置	1	3.43	3.46	0.84
	2	3.48		
4連式混合装置	1	3.94	3.91	0.95
	2	3.87		

7. あとがき

本報告では、主にCSG材に購入材を用いた単位セメント量 110kg/m^3 の配合のひし形および施工仕様の決定方法、品質管理の結果について述べた。残りの配合についても同様にひし形と施工仕様を決定し、施工および品質管理を実施して、CSG材の粒度、単位水量、CSGの強度および密度等を範囲内に管理した。また、施工中は混合装置の大きなトラブルもなく、日最大打設量で $1,228\text{m}^3$ 、月最大打設量で $20,232\text{m}^3$ と大規模な施工を実現し、無事に工期内の竣工を迎えた。今回の施工から混合装置内の清掃作業の軽減および混合性能のさらなる向上が課題となった。今後は、これらの課題を改善し、CSG工法の新たな構造物への普及展開を図りたい。

最後に、本工事へのCSG工法の適用にあたり、数々のご指導とご助言をいただいた(財)ダム技術センターの藤澤侃彦顧問、ならびにご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表す。

【参考文献】

- 井上貴嗣ほか、「地すべり対策工事におけるCSG工法の適用」、ダム技術、No.277、pp.23-pp.41、2009.10
- (財)ダム技術センター、「台形CSGダム施工・品質管理技術資料」、2007.9
- 廣中哲也ほか、「CSG混合装置の開発」、(株)奥村組技術研究所年報、No.30、pp.39-pp.44、2004.10