

地すべり対策工事における CSG工法の適用

江田正敏¹・大前博²・斎藤博行³・小菅憲正⁴・岡谷豊⁵・三澤輝芳⁶・原山之克⁷

¹大成建設(株)土木本部土木技術部ダム技術室(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

²大成建設(株)関西支店土木部技術部技術室(〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場1-14-10)

³大成建設(株)北信越支店土木部技術室(〒950-8585 新潟県新潟市中央区八千代1-4-16)

⁴正会員 大成建設(株)東北支店胆沢ダム原石山材料採取工事(〒023-0403 岩手県奥州市胆沢区若柳字愛宕488-1)

⁵正会員 大成建設(株)国際支店アルジェリア東西高速道路建設工事(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

⁶正会員 大成建設(株)東北支店東電広野6号機復水器冷却用水路他工事(〒979-0402 福島県双葉郡広野町下北迫新町)

⁷大成建設(株)札幌支店夕張シューパロダム堤体建設工事(〒068-0545 北海道夕張市南部東町)

白屋地区地すべり対策工事は、紀ノ川水系吉野川に建設された大滝ダム貯水池内の地すべり対策工事として、平成17年4月に設計施工一括発注・総合評価方式の一般競争入札により発注され、平成21年2月に完成をみている。

本工事は、抑制工としての押え盛土工の擁壁部分にコンクリートに比べ経済的で、要求された強度を確実に担保できるダム施工技術のCSG工法を採用している。また、CSGの大量施工と必要強度に対応するため、混合設備には螺旋型アームを用いた「ジクロス式混合設備」を採用している。

キーワード：CSG工法、地すべり対策工事、CSG混合プラント

1. はじめに

大滝ダムの白屋地区地すべり対策工事は、平成17年4月に設計施工一括発注・総合評価方式の一般競争入札により『白屋地区地すべり対策工事』として発注され、抑制工（押え盛土工・地下水排除工）、抑止工（鋼管杭工、グラウンドアンカー工）などの工種を実施してきた。

本工事は、大規模な重要構造物の構築工事であり、抑制工としての押え盛土工の擁壁部分に対して、コンクリートに比べ経済的で要求された強度を確実に担保できるCSG工法を採用している。

本報告では当該工事に採用されたCSG工法について報告する。

2. 設計条件と対策工

(1) 設計条件

当該地すべり対策工の設計、施工条件は次の通りである。

1) 大滝ダム運用貯水位

・サーチャージ水位 : EL. 323.0m

・第2期制限水位 : EL. 290.0m

・設計最低水位 : EL. 271.0m

2) 斜面安定におけるすべり土塊の土質定数設定

・地すべり域 : 貯水位 EL. 284.0m 時 (地すべり発生)

地すべり安全率 $F_s=1.00$

・ゆるみ域 : 貯水位 EL. 304.8m 時 (既往最大)

地すべり安全率 $F_s=1.00$

3) 大滝ダム運用貯水位における水位急低下

サーチャージ水位 EL. 323.0m から第2期制限水位 EL. 290.0m へ急低下させる。低下速度 5m/day とする。

4) 対岸掘削等改変

白屋地区対岸の人知地区の地山改変はできない。

5) 流水の連続性

供用時には EL. 271.0m 以上の流水の連続性を確保する。

6) 施工期間

洪水期 (6/16~10/15) も含め通年施工を行う。

被災リスクを考慮の上、施工時河積断面を確保する。

7) 施工時運用貯水位

非洪水期 (10/16~6/15) 利水目的に貯水を行う。

- ・初年度 : EL. 272.0m
- ・次年度以降 : EL. 273.0m

(2) 対策工

一般に、地すべり対策工は抑制工および抑止工から構成される。

抑制工：地形・地下水位等の自然条件を変化させて対策する工法（押え盛土工・切土工・地下水排除工）

抑止工：構造物を設けて、その抑止力によって抵抗させて対策する工法（鋼管杭工・グラウンドアンカー工）

地すべり対策工を図-1、図-2、主要工事数量を表-1に示す。

表-1 主要工事数量

工種	仕様	単位	数量
a) 本体CSG工	1.6, 3.4, 5.8N/mm ²	m ³	143,100
b) 先行CSG工	0.7, 1.0N/mm ²	m ³	48,800
c) 中詰め盛土工	$\gamma = 19\text{kN/m}^3$	m ³	248,200
d) 基礎コンクリート工	18N/mm ²	m ³	18,000
e) 集水井工	$\phi 3500, H=30\sim 60\text{m}$	基	6
f) 排水トンネル工	L=435m	本	435
g) 鋼管杭工	$\phi 900, L=26.5\sim 46.0\text{m}$	本	122
h) グラウンドアンカー工	SWPR7B 15.2×7	本	173

に本体CSG工の構造断面を示す。
構造検討は大別して下記の3項目から成る。

- ・斜面安定検討
- ・外的安定検討
- ・内的安定検討

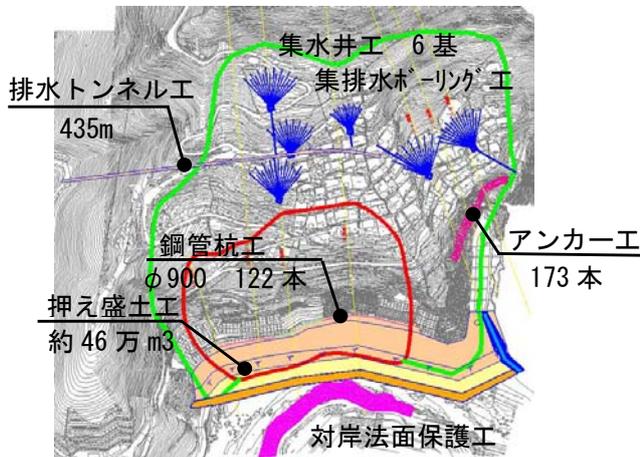


図-1 地すべり対策工平面図

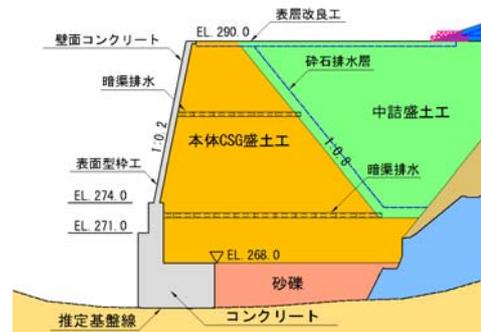


図-3 本体CSG工 構造断面図

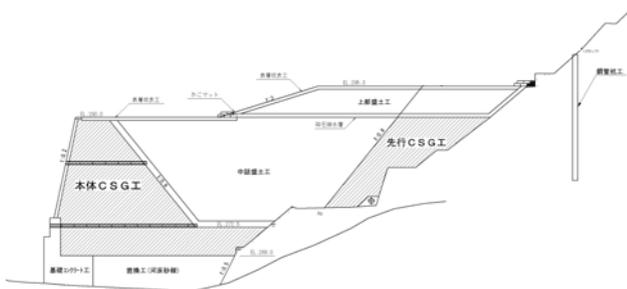


図-2 地すべり対策工断面図

3. 抑制工の構造検討

(1) 概要

本体CSG工は抑制工の押え盛土工の一部として構築される。以下に、本体CSG工に着目しながら押え盛土工の構造検討の概要について述べる。図-3

(2) 斜面安定検討

当該工事における押え盛土工は、護岸機能を備えた本体CSG工とその背面を構成する中詰め盛土工に大別され、基本的にその重量によって斜面安定性を向上させるものである。したがって、設計条件ならびに現地施工環境が許容する範囲内において、できる限り本体CSG工を採用し、単位体積重量を重く、施工量を縮小させることが押え盛土工の構造決定に対する評価指標のひとつとなる。一方、施工効率あるいは工事費に着目した場合には、中詰め盛土工の多用が同様にその評価指標となる。

押え盛土工の構造断面は、これら2つの着目点のバランスによって決定した。

なお、押え盛土工の標高を上げて断面を大きくし、地すべりに対する抵抗力を増大させる場合には下記の点に留意する必要がある。

- ・水位急低下時における地山内の間隙水圧残留率を増加させ、地すべり土塊の滑動力を大きくするため、必ずしも有利でないこと。
- ・河床面から盛土天端までの施工時の仮設動線が長く、仮設盛土工が増大するため、工期および工事費に対して有利でないこと。

(3) 外的安定検討

本体CSG工は、その前面あるいは背面からの土圧および水圧に抵抗する護岸重力式擁壁として、剛体としての安定性確保が要求される。安定性検討は滑動・転倒・支持力の3項目である。なお、検討は常時、地震時に対して行い、地震時設計水平震度0.15とした。

なお、本体CSG工前面法先部分はL型コンクリート擁壁構造とし、供用時には本体CSG工と一体となって押え盛土工としての性能を発揮するばかりでなく、施工時には狭隘部での流水の連続性を確保した。また、施工期間中における洪水期の被災リスクの軽減を図るとともに、非洪水期には運用貯水位(EL272 および EL273)を確保するために必要な構造形状とした。

に対して 4.0 である。

b) 本体CSG工および周辺地盤等をモデル化した有限要素法による静的/動的解析検討

既往の「台形CSGダム」の解析手法に準じて、有限要素法による常時および地震時動的解析を行った。解析には周辺地盤もモデル化し(図-5)その影響を考慮した。なお、地震時における入力地震動には「一庫波」「権現波」「箕面川波」の3波を対象とした。検討の結果、弾性領域強度に対する材料安全率を1.5とすれば、最大設計強度5.8(N/mm²)が必要となった。設計強度のゾーニングを図-4に示す。

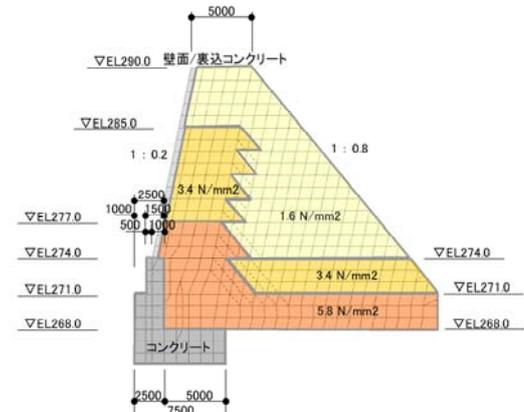


図-4 本体CSG工 設計強度ゾーニング

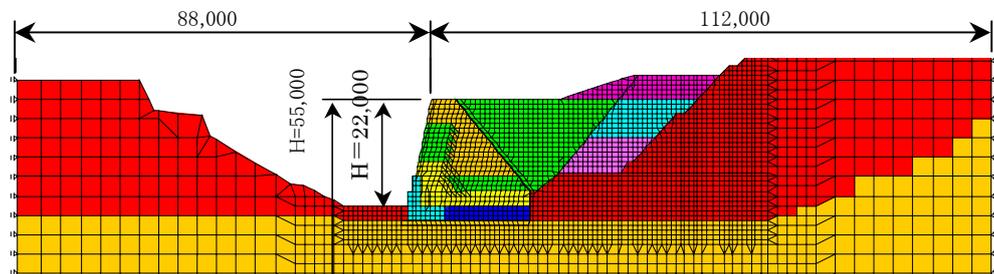


図-5 有限要素法による解析モデル

(4) 内的安定検討

本体CSG工には、作用する外力に応じてその内部に応力が発生し、本体CSG工の設計強度は発生応力度を満足するよう決定される。なお、検討は常時、地震時に対して行い、地震時設計水平震度0.15(地震時動的解析 0.15G)とした。

検討に際しては次の2つの方法を行った。

- ・通常の手法による検討
- ・本体CSG工および周辺地盤等をモデル化した有限要素法による静的/動的解析検討

a) 通常の手法による検討

外力の釣り合いから算出される内部応力によって決定される設計強度は、最大値で3.1(N/mm²)となった。なお、このときの材料安全率はピーク強度

4. CSGの配合試験と試験施工

(1) CSGに使用する母材

CSG工に使用する母材は、現場から11km離れた大迫ダム堆積土砂(大迫材)と大滝ダム貯水池上流平戸地区の河床砂礫(大滝材)、および購入砕石(大淀町芦原地区産の花崗岩)の3種類とした。主に大迫材と大滝材を使用し、材料の不足分として購入材を使用した。

母材試験用の試料はそれぞれの採取場所において、広範囲から材料を採取し最細粒側、最粗粒側の粒度を確認した。表-2に大迫材の密度及び吸水率試験

結果を、図-6 に大迫材の粒度分布とそれを包含する「最細粒度」「最粗粒度」および「平均粒度」を重ね合わせた図を示す。

表-2 現地発生材の物性値

採取地	粒径 (mm)	表乾密度 (t/m ³)	絶乾密度 (t/m ³)	吸水率 (%)
大迫材	80~40	2.63	2.61	0.82
	40~20	2.62	2.58	1.29
	20~10	2.61	2.56	1.71
	10~5	2.6	2.55	2.17
	全体	2.62	2.58	1.4
5~0	5~0	2.57	2.47	3.79

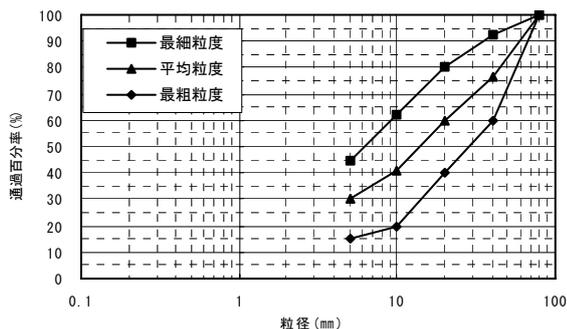
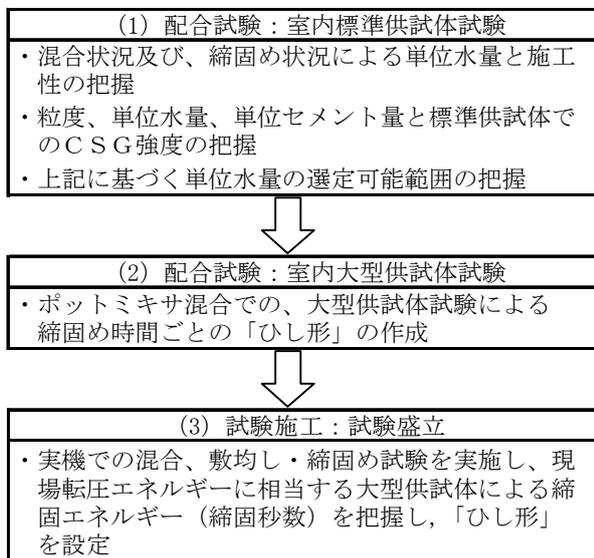


図-6 現地発生材（大迫材）の粒度範囲

(2) ひし形の作成

母材の粒度範囲を把握した後、「ひし形」の作成を以下のフローで実施した。



本工事に使用するCSGは、CSG材が現地発生材（大迫材・大滝材）と購入材の3種類、設計強度が1.6N/mm²、3.4N/mm²、5.8N/mm²の3種類、計9つの組合せが考えられる。この中からゾーニングと施工工程を考慮し、3つのひし形を作成して品質管理を行った。ここでは、大迫材を使用した設計強度5.8N/mm²の「ひし形」の設定について述べる。

a) 配合試験：室内標準供試体試験

① CSG材

CSG材は「最粗粒度」「最細粒度」「平均粒度」の3種類とし、母材を粒径別に篩ったものを試験室にて混合して試料とした。試験の手順は、平均粒度を使用した試験を最初に実施し、その結果を踏まえて「最粗粒度」「最細粒度」の適用性の確認を行った。

② 単位水量

単位水量は、CSG材の自然含水比と施工上の限界を考慮して設定する必要がある。単位水量の下限値を75kg/m³に設定し、15kg/m³ピッチで135kg/m³までの5段階に変化させた。

③ 単位セメント量

単位セメント量は、C=120kg/m³とした。

尚、各試験ケースの標準供試体は3本とした。検討ケースを表-3に示す。試験の結果全てのケースで5.8N/mm²以上の強度を確認した。

表-3 室内標準供試体試験ケース

試験粒度	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)
最細粒度	120	90・105・120
平均粒度		75・90・105・120・135
最粗粒度		90・105・120

ポットミキサでの練混ぜは、CSG材とセメントを投入して60秒空練りした後、水を加えて90秒混合し、ミキサ内部の付着状況を確認後、更に90秒混合した。

平均粒度のCSG材を使用して単位水量を5段階に変化させた結果、弾性領域強度は目標値を満足したが、フレッシュ性状は単位水量が75kg/m³では水不足でばさつき、135kg/m³ではべたつきが見られた。

b) 配合試験：室内大型供試体試験

標準供試体試験の結果より、単位水量の範囲は90kg/m³~120kg/m³とし、大型供試体作成時の締固め時間は、20秒と40秒の2段階とした。尚、各試験ケースの標準供試体は3本とした。検討ケースを表-4に示す。

表-4 室内大型供試体試験ケース

試験粒度	単位セメント量 (kg/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	締固め時間 (秒)
最細粒度	120	90・105・120	20・40
平均粒度			
最粗粒度			

大型供試体の試験結果より、設定した CSG 材の粒度の範囲内において、単位セメント量 $120\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位水量 $90\sim 120\text{kg}/\text{m}^3$ で設計強度が確保されることが確認できた。

c) 試験施工

① 使用材料及び配合

試験施工の目的は、実機による現地試験を行うことで施工性を確認し、施工仕様と「ひし形」を決定する。試験施工の主な仕様は次のとおりである。

- 配合 : C120W90 C120W105 C120W120
- CSG 敷均し : ブルドーザ (7t)
- CSG 転圧 : 振動ローラ (17t:コンバインド型)
- CSG 材 : 大迫材を使用し、事前にほぼ平均粒度であることを確認した。

② 試験項目

敷均しは $25\text{cm}/\text{層} \times 2$ 層で、1層厚 50cm を無振動 2回+振動 2回~10回で転圧した。測定項目は、各転圧回数毎に沈下量と現場密度とした。

締固めエネルギーに相当する大型供試体の締固め時間の確認は、事前の確認で締固め秒数が 20 秒程度であることが予想されていたため、締固め秒数を 10 秒、15 秒、20 秒の 3 段階とし各 3 本作成した。

③ 試験結果

無振動 2回+振動 6回の転圧回数で沈下量は収束する傾向を示している。転圧回数と沈下量の関係を図-7、転圧回数と現場密度の関係を図-8 に示す。

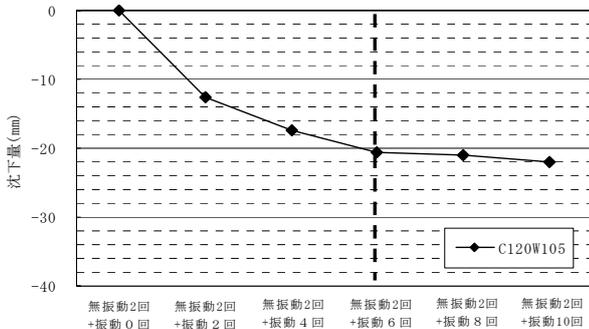


図-7 転圧回数と沈下量の関係

試験施工の結果より、転圧回数は沈下量の収束する無振動 2回+振動 6回とした。

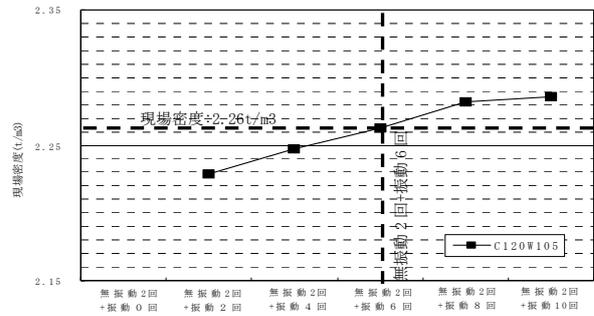


図-8 転圧回数と現場密度の関係

試験施工に使用した同一の CSG を用いて大型供試体試験を実施した結果を図-9 に示す。現場転圧 (無振動 2回+振動 6回) の締固めエネルギーに相当する大型供試体の締固め秒数は 15 秒であると判断した。

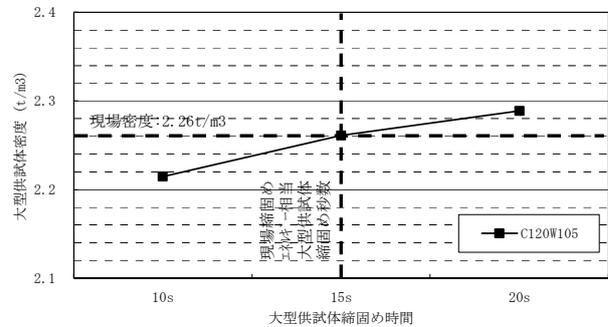


図-9 大型供試体転圧時間と供試体密度の関係

事前に室内試験で作成していた大型供試体締固め時間 20 秒と 40 秒の「ひし形」から締固め 15 秒の「ひし形」を決定した。

また、他の配合 (大迫材 : $C=100\text{kg}/\text{m}^3$, $C=80\text{kg}/\text{m}^3$ ・購入材 : $C=120\text{kg}/\text{m}^3$, $C=100\text{kg}/\text{m}^3$, $C=70\text{kg}/\text{m}^3$ ・大滝材 : $C=100\text{kg}/\text{m}^3$, $C=80\text{kg}/\text{m}^3$) についても試験施工を行い、現場転圧の締固めエネルギーが大型供試体締固め時間 15 秒であることが確認でき、「ひし形」を決定した。

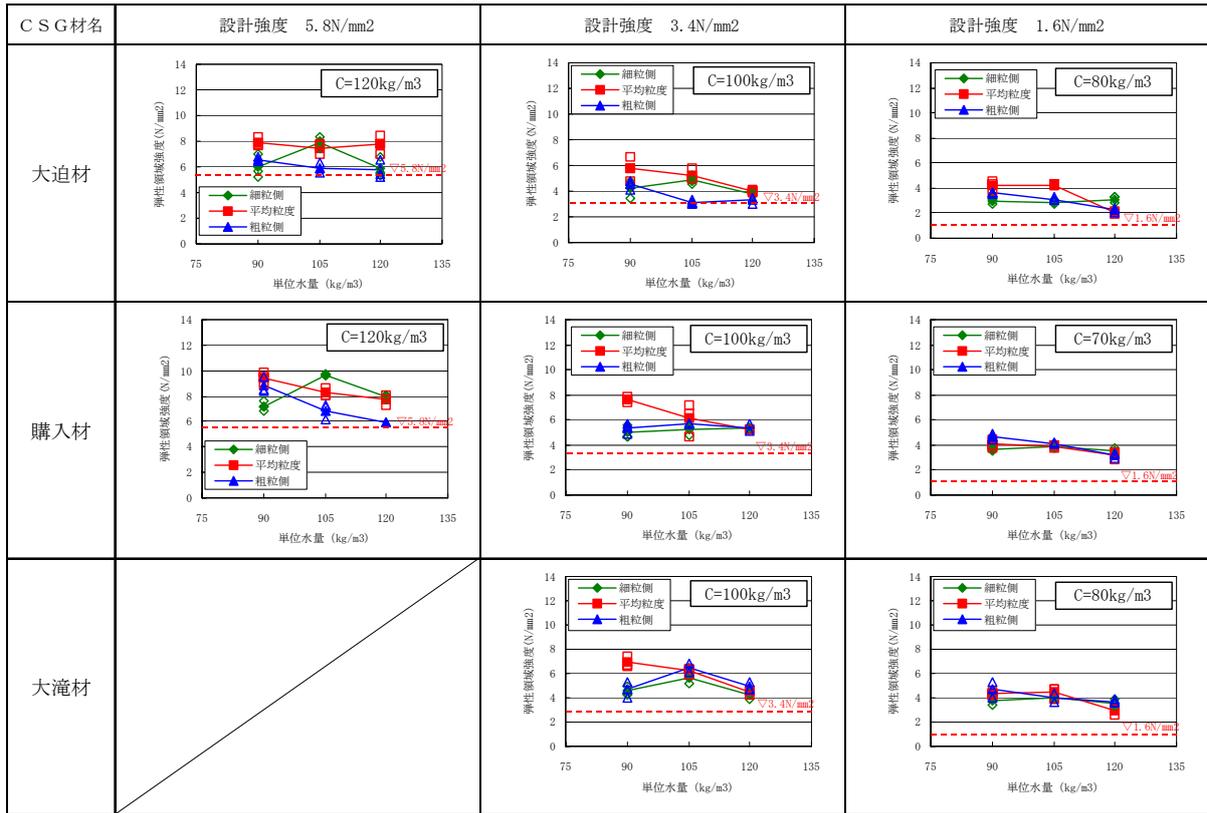
以上より、転圧仕様は「17t 振動ローラ、無振動 2回+振動 6回以上」とし、沈下量を考慮して 2 層目の敷均し厚さを 530mm (おおむね $265\text{mm} \times 2$ 層) とした。本体 CSG 工の施工仕様を表-5 に示す。

また、作成した「ひし形」を表-6 に示す。

表-5 本体 CSG 工施工仕様

本体 CSG 設計強度	$1.6\text{N}/\text{mm}^2$			$3.4\text{N}/\text{mm}^2$			$5.8\text{N}/\text{mm}^2$		
	発生材		購入材	発生材		購入材	発生材		購入材
CSG 材	大滝材	大迫材		大滝材	大迫材		大滝材	大迫材	
配合名	C80W105 ^{※1}	C80W105	C70W105	C100W105	C100W105	C100W105	C120W105	C120W105	C120W105
敷均し	7t 級ブルドーザにより 2 層敷均し (2 層目敷均し厚 530mm 以下)								
転圧機械	17t 級振動ローラ : SV160DV								
転圧回数	無振動 2回 + 振動 8回	無振動 2回 + 振動 6回		無振動 2回 + 振動 8回	無振動 2回 + 振動 6回		無振動 2回 + 振動 8回	無振動 2回 + 振動 6回	
狭陰部	パイプロコンパクタ 300kg 級、ランマ 60kg 級 (1 層 25cm 、6 回以上転圧または 5 秒以上転圧)								

表-6 「ひし形」一覧表



5. CSGの施工

(1) 母材採取

大迫材は、白屋地区より上流 11km に位置する大迫ダム堆積土砂を採取した。採取は大迫ダムの運用規定に従い、6月16日から10月15日は洪水期のため、非洪水期のみ採取した。1日当りの採取量は、国道を通行して運搬するため、周辺住民に配慮して最大1,000m³以下とした。

大滝材は、白屋地区より上流約2kmの紀の川堆積土砂を使用した。

(2) CSG材の製造

CSG材は、最大寸法を80mmとしたことから、移動式ふるいにてオーバーサイズを除去した。オーバーサイズは、大迫材・大滝材ともに20%程度であり、ふるい分け後に破碎して中詰盛土材として流用した。

(3) CSGの混合

本工事は、大滝ダムの運用を早期に開始するため工程短縮が要求され、本体CSG工は1,000m³/日を超える大量施工が必要である。また、周辺住民との協議により、CSG打設は昼間のみに制限されてい

る。このため、従来のCSG混合設備に比べて製造能力の大きい設備が必要であった。そこで、CSG製造設備には、螺旋アームを用いたジクロスミキサを利用した製造設備を新たに開発し採用した。



写真-1 ジクロスミキサ

ジクロス式CSG混合設備は、ジクロスミキサと計量装置の組合せにより、CSGの製造能力を大幅に向上させた混合システムである(写真-1)。

(4) 打設前清掃と打継面処理

CSGの打設前清掃は、試験施工で打継ぎ面を観察した結果ブリージングが認められないため、グリーンカットは不要とし、CSG打設面に進入した重

機車同等の走行により損傷した箇所の除去および浮石の撤去程度を手筈やスイーパーを使用して実施した。

C S Gの打継面処理は、水平打継面の一体化を確保するため、セメントペースト（C：W=1：0.7）の敷設を行った。敷均しの前には、打継面を十分に散水し、付着性を確保した。

(5) C S Gの運搬

C S Gの運搬は、10t ダンプトラックを使用した。

C S Gの打設面は、事前の走行試験の結果から時間による走行規制は行わないこととし、施工の連続性を確保した。ただし、ダンプ、重機類の切返し等で打設面の損傷が考えられる箇所は、ゴムマット等の養生を実施した。

(6) C S Gの敷均しと転圧

C S Gの敷均しは、材料分離を起こさないように注意し、一般部は7t ブルドーザ、端部は小型のバックホウまたは人力にて敷均した。敷均し中は、C S G表面の乾燥を防止するため、状況を見ながらハイウォッシャーにて噴霧を行った。

C S Gの標準的な転圧機械は11t振動ローラであるが、施工工程より中央部分のC S Gを先行して打設するため十分な登坂力が必要と判断し、コンバインド型17t振動ローラを採用した。

混合開始から転圧完了までの時間は、「①発生材では製造開始から3.5時間以内、②購入材では4時間以内」を基本に管理を行った。

(7) 養生

C S Gの打設完了後は、C S Gの乾燥を防止するためブルーシートによる養生を行った。また、C S G打設後の気温が0℃以下になると予想される場合は、養生マット等で養生を行った。養生マットの効果は、最低気温-2.6℃の条件でC S Gの養生温度は7.5℃であった。

(8) 表面保護工（プレキャストパネル）

本体C S G工の河川側の斜面は、洪水期の制限水位では吉野川の河流を受けることから、表面保護のためプレキャストパネル型枠による保護工を実施した。

プレキャストパネルはバットレス型の自立式であり、勾配は1:0.2で控え鋼材を使用しないで設置できる形状とした。寸法は、1000mm×2000mm（重量600kg/基）を標準とし、設置には4.9tのクローラークレーンを使用した。

C S G端部は、エキスパンドメタルを使用した留枠を設置して、C S Gを層厚50cm打設した後、プレキャストパネルとの間に中詰コンクリートを打設した。（写真-2）



写真-2 プレキャストパネル設置状況

(9) 山側（1:0.8）型枠

山側（中詰盛土側）のC S G端部は、勾配が1:0.8であることからH型鋼（300×300mm）と溝型鋼（250×50mm）を用いたウェイト型枠（図-10）を使用した。1ユニット5m、重量は約800kgで、4.9tクローラークレーンにより設置し、φ19mm、l=300mmの丸鋼アンカーを打ち込んでずれ止めとした。

0

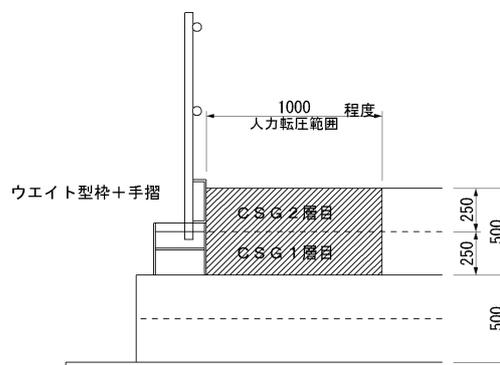


図-10 ウェイト型枠模式図

6. 品質管理

(1) C S G材管理

C S G材は粒度と単位水量がひし形の中に入ることを管理する。本体C S G工の施工における炉乾燥試験による日常のC S G材の粒度分布（1日1回）を図-11に示す。C S G材の粒度は、ひし形の最細粒度と最粗粒度の範囲内に収まっている。また、施工中の粒度管理として簡易法（湿潤状態）によるふるい分けを2時間に1回の頻度で測定を行い、粒度

が管理範囲内にあることを確認した。

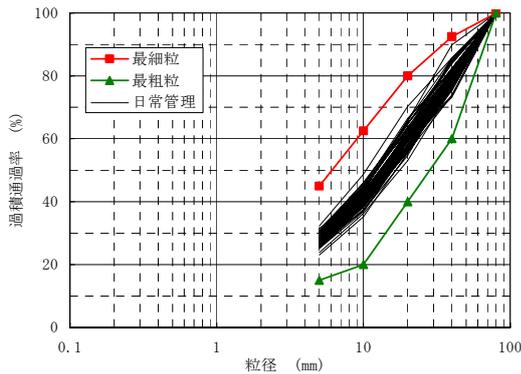


図-11 CSG材の粒度管理（大迫材）

表面水量は2時間に1回の測定を行い、単位水量の補正を行った。尚、CSG材の表面水量の測定は、変動の大きい5mm以下および5~10mmを対象とし、電子レンジ法により測定した。

単位水量は、ひし形の管理範囲である $W=90 \sim 120\text{kg/m}^3$ の中央値 $W=105\text{kg/m}^3$ を目標とし、 $\pm 15\text{kg/m}^3$ で管理を行った。

図-12に表面水量（2日分）の例を示す。施工1日間の表面水量を測定頻度1回/2時間で測定した結果、単位水量を「ひし形」の範囲である $\pm 15\text{kg/m}^3$ 以内に管理できると判断し、表面水量の管理を測定頻度1回/2時間行った。

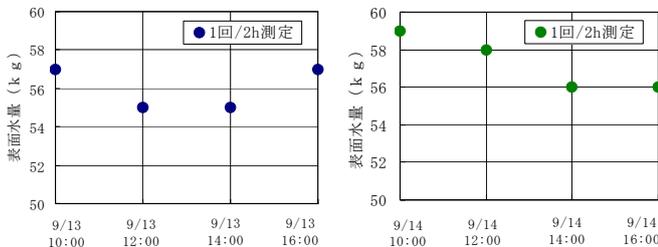


図-12 CSG材の表面水量の変動

(2) 締固めエネルギー管理

CSGの締固めエネルギーは転圧回数を管理することで行った。CSGの転圧回数は、転圧機械に搭載されたカウンター、およびGPS転圧管理システムによる走行記録によって管理した。

(3) 補足管理

大型供試体強度試験および現場密度試験によりCSG品質の変動の傾向を確認した。図-13に大迫材($C=120\text{kg/m}^3$)の大型供試体の強度試験結果を示す。

大型供試体は、試験施工で決定した締固め秒数15秒により作成し、28日強度を確認した。また、

大型供試体作成と同時に標準供試体を作成し、7日強度と大型供試体の28日強度の相関を確認した。

大型供試体による圧縮強度は、特異な変動傾向を示さず安定していると判断される。なお圧縮強度は、設計強度 5.8N/mm^2 を基準強度である91日強度以前の28日強度において満足している。

現場密度試験は、施工初期段階で砂置換法とRI法との比較を行い、日常管理はRI法にて行った。砂置換法は、1月に1回を基準とし実施した。

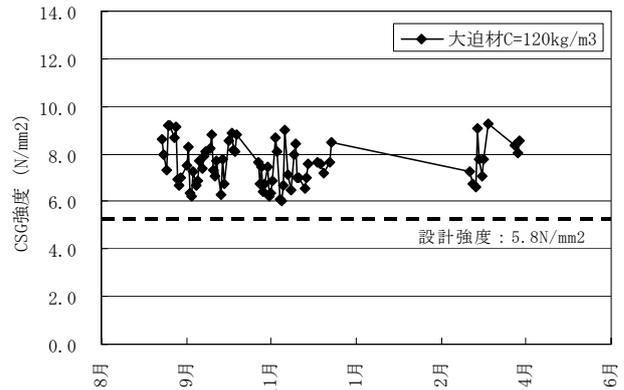


図-13 大型供試体圧縮強度試験結果（大迫材 $C=120\text{kg/m}^3$ ）

7. おわりに

本報告では、大迫材 $C=120\text{kg/m}^3$ について報告を行ったが、他の配合についても施工管理の結果から、CSG材の粒度および単位水量が「ひし形」の範囲内に管理できていることが確認でき、強度も十分に満足している。

本体CSG工は、平成20年9月初旬に $191,900\text{m}^3$ の施工を完了している。日最大打設量 $1,100\text{m}^3$ 、月最大打設量 $17,000\text{m}^3$ を超える実績となった。今後当工事で採用されたCSG工法の特徴を活かし、新たな構造物へも広く活用されることを期待する。

謝辞：本報告をとりまとめるにあたり、数々のご指導・ご助言をいただいた財団法人ダム技術センターに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター：台形CSGダム 施工・品質管理技術資料 平成19年9月