

CSG工法による胆沢ダム貯水池内押え盛土の施工について

Construction of the counterweight fills in the reservoir by the CSG method

大石 一明*

Kazuaki Oishi

串田 雅宏***

Masahiro Kushita

塚元 裕一郎****

Yuuichirou Tukamoto

大木 洋平**

Yohei Ohki

菅原 正宏***

Masahiro Sugawara

芦原 真志*****

Masashi Ashihara

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。

しかし、同工法は発展途上の技術であり、CSG品質管理手法に基づいた施工事例はまだ少ない。

本論は、当該工法を適用した胆沢ダム貯水池内押え盛土の施工概要および課題と対策について報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. CSGの施工
- § 3. 施工上の課題と対策
- § 4. まとめ

工事の1つとされた。この貯水池内押え盛土にCSG工法が採用された。しかし、施工にあたり工程確保と施工上の様々な課題を解決する必要がある。

本論は、胆沢ダム貯水池内押え盛土の施工概要および課題と対策について報告するものである。

§ 1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel) とは、建設現場周辺において容易に得られる材料を、分級・粒度調整、洗浄を行わず、簡易な設備を用いてセメントと水を添加し、混合したものである。また、CSG工法は、CSGを汎用機械であるブルドーザ、振動ローラで敷き均し・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、コンクリート打設等の施工に比べ、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注目されている。

胆沢ダム事業は、これまでの工事期間中に幾多の自然災害に見まわれた。そのため、胆沢ダム貯水池内押え盛土工は、決定された試験湛水開始日までのクリティカル

§ 2. CSGの施工

2-1 工事概要

胆沢ダムは、堤体積 1,350 万 m³ を有する日本最大規模のロックフィルダムである。

胆沢ダム右岸上流部は、地表面に崖錐堆積物が分布することが明らかになっており、それらが湛水によって不安定化することが懸念されていた。

斜面に分布する主な地質は、新第三紀中新世尿前層の石英安山岩類を基盤とし、被覆層として第四紀の崖錐堆積物、沖積錐段丘堆積物、現河床堆積物である²⁾。

右岸上流法面保護工は、崖錐斜面を面的に覆うことが可能である押え盛土工を基本とするが、胆沢ダム堤体右岸上流部に位置する取水設備及び仮排水路トンネルの機能を維持するために、盛土下部にCSG工を併用する。

当該工事は、平成 20 年 6 月に発生した岩手・宮城内陸地震により崩落した斜面の直下が施工箇所である。また、本来必要な 2 箇所の仮排水路トンネルのうち、1 箇所を閉塞し、かつ胆沢川の流下を確保しながら河床部で施工を行うという施工条件の厳しいものであった。

* 北日本 (支) 津軽ダム (出)

** 北日本 (支) 胆沢ダム 2 期工事 (出)

*** 北日本 (支) 陸前高田 (出)

**** 北日本 (支) 大船渡土木 (出)

***** 北日本 (支) 土木課付

工 事 名：胆沢ダム洪水吐き打設（第2期）工事
 工事場所：岩手県奥州市胆沢区若柳地内
 発 注 者：国土交通省 東北地方整備局
 工 期：平成22年3月12日～平成24年12月20日
 請 負 者：西松・佐藤・東急特定建設工事共同企業体
 該当工種：右岸上流法面保護工
 主要数量：土石掘削 96,300 m³，岩盤盤面処理 5,610 m²
 盛土工 157,900 m³，捨石工 16,300 m²
 CSG製造工 256,300 m³，CSG打設工 256,300 m³
 型枠 一式，コンクリート吹付 6,564 m²

2-2 CSGの設計^{2),3)}

押え盛土形状は、他工事の施工事例から胆沢ダム貯水池内盛土に適用される安定勾配1:2.5とし、盛土天端EL338 m、盛土天端幅W=5.0 mである。この形状は、崖錐堆積物内の円弧すべりに対して計画安全率Fs=1.1を満足する。盛土材物性値は、貯水池内の他工事と同じ材料を使用することから、 $\phi=35^\circ$ 、 $C=0 \text{ kN/m}^2$ である。

CSG構造物は、底面全域で鉛直応力が圧縮状態となる台形状とし、必要強度を小さくすることを基本として設計された。CSGの勾配は、台形CSGダムで標準的な勾配とされ、施工事例の多い1:0.8である。CSG構造物の形状は、転倒・滑動に対する外的安定性と応力に対する内的安定性の両者を満足するものである。内的安定性の検討は、有限要素法により弾性領域での応力解析をおこない、必要CSG強度を算定している。

検討の結果、設計断面において必要なCSG強度は、経済性に対する検討から、2.5、3.5、4.0 N/mm²の3パターンにゾーニングされた。

また、発注前の試験施工により、CSG材の粒度範囲、単位水量とCSGの強度の関係である「ひし形」が決定されている（図-4、図-5参照）。

2-3 CSG製造設備

CSGの混合装置は、DKS-IIミキサ（CRTミキサ）を採用した。

同ミキサは、CRT（Continuous Rotary Tube）ミキサシステムと呼ばれ、材料供給装置、材料運搬装置およびCRTミキサから構成されるCSGおよびRCD用製造システムである。特徴は、筒状の装置の内側に攪拌羽根を設け、ある回転と角度を持たせることにより、材料を連続的に混合することが可能な点である。これにより、従来のバッチ式のミキサに比べ、1バッチ毎の計量練混ぜ排出のロスタイムがなくなり、比較的簡易な設備で大量のCSGの混合が可能となったものである（NETIS：CB-020022-A）。

2-4 確認試験

本工事着手に先立って、実際に使用するCSG材や一連の施工設備を用いて、発注前に定めている基本事項の

確認を行うとともに細部施工仕様の決定、CSGの施工技術の習熟を図るために確認試験を実施した。

確認試験の主な項目は次の通りである。

- (1) 本工事に使用する母材、CSG材の性状確認
- (2) CSG混合設備の性能確認
- (3) 施工仕様の決定
- (4) 品質管理手法の確認
- (5) CSGの施工技術の習熟

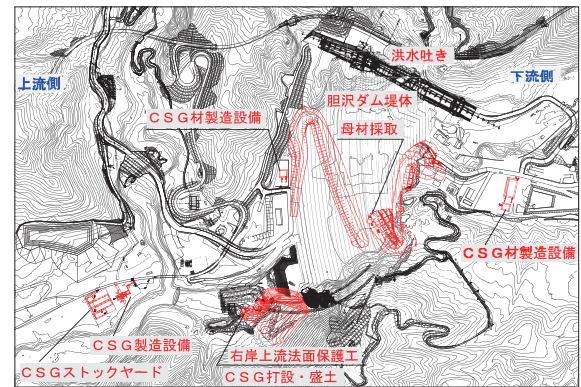


図-1 右岸上流法面保護工 平面図

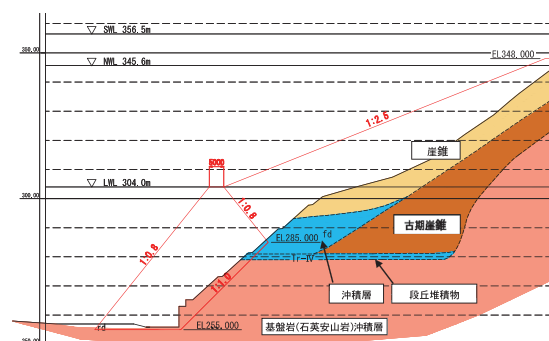


図-2 右岸上流法面保護工 縦断面図

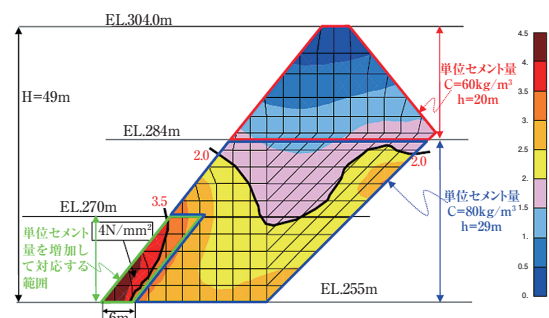


図-3 必要CSG強度



写真-1 確認試験状況

2-5 CSG打設フロー

本工事におけるCSG製造打設フローを図-6に示す。

母材は、ダム本体工事JVにおいて原石山廃棄岩で造成した堤体腹付け道路を流用した。母材採取、CSG材製造および運搬は、本体工事JVの施工となった。CSG材は、母材を移動式破碎機で80mm以下に破碎（開度OSS 80mm）し、55t級重ダンプトラックでストックヤードまで工事用道路を約1km運搬する。ストックヤードは、品質管理のタイムラグを考慮し4日分のCSG材をストックする計画とした。

CSGは、CSG材、セメントおよび水をCSG製造設備で混合して製造する。製造したCSGは、10tダンプトラックで施工箇所まで運搬し、16t級ブルドーザで敷均した後、11t振動ローラで所定回数を転圧した。

着岩際幅1mと置き型枠際幅2mは、大型重機が寄れないため、60kg級ランマ、1t級ハンドガイドローラにより転圧を行う仕様とした。

2-6 CSGの品質管理¹⁾

施工時の品質管理は、母材、CSG材、CSGを対象として行う。母材の品質管理は、使用する母材の粒度や材質変化を把握することにある。CSG材の品質管理は、施工前日までの材質（表乾密度・吸水率）、施工当日使用予定の材料の粒度および表面水量を計測し、目標とする単位水量とするための給水量を決定するために行う。

しかし、1日の中で粒度および表面水量が変動することが想定される。このため、粒度と単位水量がひし形の中に入っていることを確認するとともに、必要に応じて給水量を補正するため、1回/hrの頻度で粒度と表面水量を簡易法で測定し、CSG配合における給水量を補正した。CSGの品質管理は、CSG混合設備におけるCSG材量、給水量、セメント量の計量管理のほかに、CSGの強度を管理するための締固めエネルギー管理（転圧回数の管理）および現場密度の測定を行う。現場密度は、施工初期段階で砂置換法とRI法の両者の相関を調べた後、RI法のみで測定した。

また、CSGの強度の変動傾向を早期に把握するために大型供試体と標準供試体を作成し、両供試体の強度の関係を把握するとともに標準供試体での短期材齢の強度確認を行った。

	粒度区分(mm)と通過百分率							
	0.075	0.3	1.2	5	10	20	40	80
細粒度	1	10	24	42	50	60	77	100
平均粒度	1	6	15	29	36	45	60	100
粗粒度	1	1	5	15	21	30	43	100

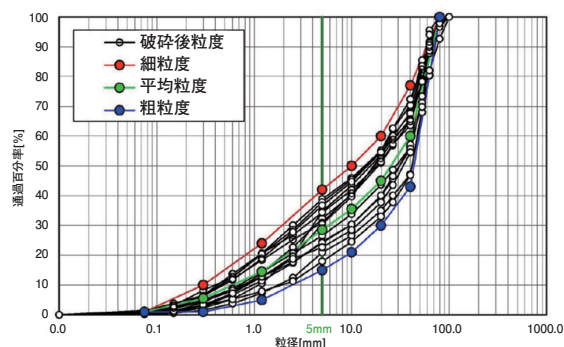


図-4 「ひし形」における粒度範囲^{3),4)}

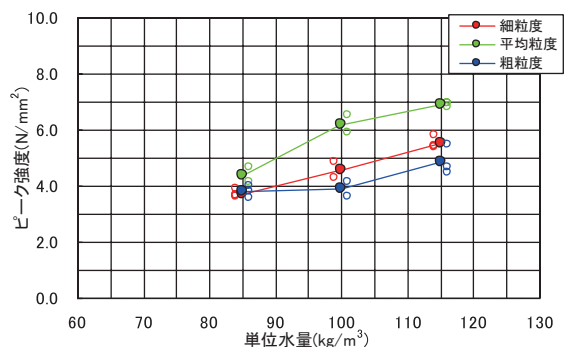


図-5 「ひし形」^{3),4)}
単位セメント量 80kg/m³

表-1 胆沢ダムCSG品質管理基準⁴⁾

管理場所	項目	管理項目	測定手法	測定頻度
CSG材ストックヤード	CSG材の管理	表乾密度・吸水率	密度及び吸水率試験 JIS A 1110 JIS A 1109	1回/日
		粒度	乾燥法 JIS A 1102	
		表面水率	乾燥法 JIS A 1125	
	製造時の単位水量及びCSG材粒度管理	粒度	簡易法	施工初期:1回/1h程度適切な測定頻度を定め表面水率を
		表面水率	簡易法	
混合ヤード	計量管理	CSG材量 給水量 セメント量	計測器による計測	1混合毎
打設現場	転圧回数管理	転圧回数	カウンタ等又はGPS装置を利用した転圧機械の軌跡管理	転圧毎
		密現度場	砂置換密度	1回(3点)/日 配合毎
		R I 密度	R I 法	1回(3点)/日 配合毎, 転圧仕様毎
		大型供試体密度	強度試験供試体を用いる	1回(3本)/日 配合毎
試験室	供試体強度による確認	標準供試体(材齢7日, 28日)	圧縮強度試験	1回(各3本)/日 配合毎
		大型供試体(材齢28日, 91日)		1回(3本)/日 配合毎
セメント工場	セメント試験及びセメント単体試験		JIS R 5201 セメントの物理試験方法 JIS R 5202 セメントの化学分析方法 JIS R 5203 セメントの水和熱測定方法	セメント 1回/月

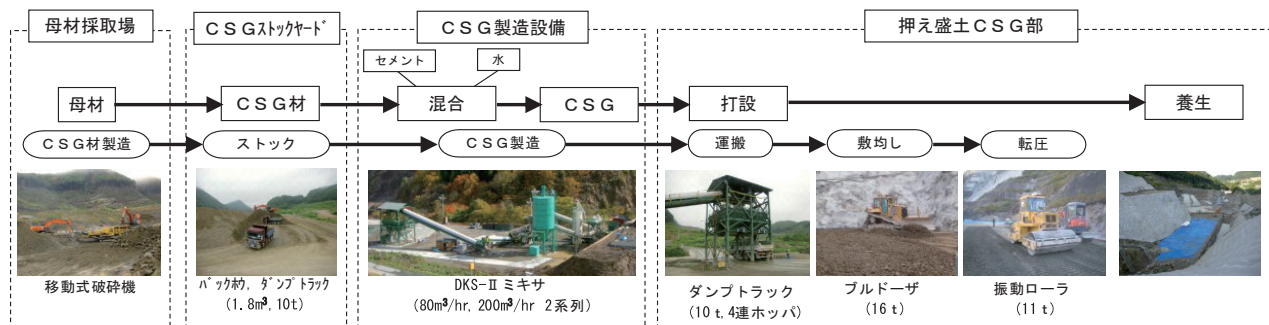
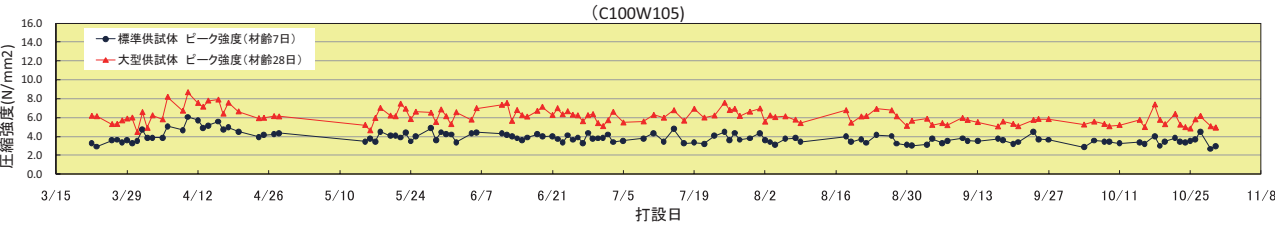
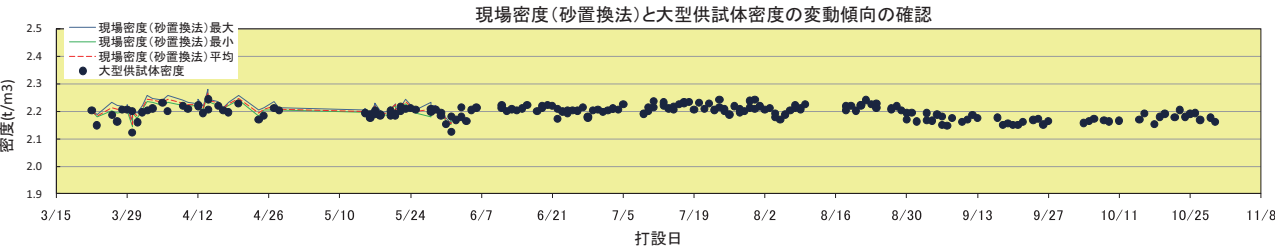


図-6 CSG打設フロー



図一七 標準供試体短期材齢と大型供試体強度（40 秒締固め）の変動の推移（平成 24 年度）



図一八 現場密度の砂置換法と大型供試体密度の変動傾向（平成 24 年度）

2-7 ICTの利用

本工事では、C S Gの打設においてダム管理システムを採用した。

当該システムは、C S Gの製造から打設までを一貫管理し、リアルタイムな製造・打設管理による品質向上とトレーサビリティの確保を可能にするものである。本工事では、現場内LANを介して「現場事務所」「打設現場」「製造設備」「試験室」のそれぞれの場所で打設計画や出荷ダンプ台数などの施工情報をリアルタイムで共有できるようにした。また、GPSを利用した転圧管理システムと連動させ、C S Gの転圧管理情報の共有を図った。共有した情報は、企業体事務所で印刷し、C S G打設日報や品質管理グラフとしてそのまま発注者に提出できるように改良を加えた。

さらに、今後のコンクリートダムにおける温度計測、型枠脱型及び温度解析へのフィードバック等を可能とする温度管理システムを新たに開発し、試験運用を行なっている。

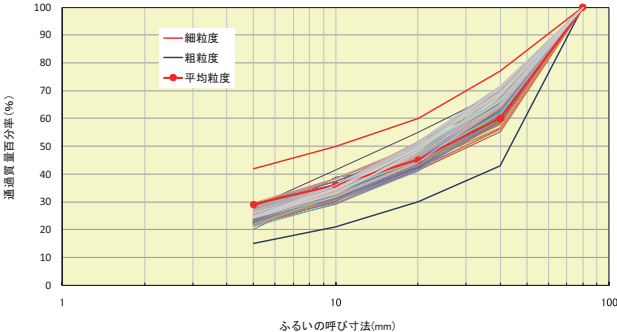
しかし、打設現場での打設情報や試験室における品質管理情報の入力や打設現場でのタブレット型PCの取扱い手間があるので、使いやすさの向上が今後の課題である。

§ 3. 施工上の課題と対策

3-1 工程の確保

(1) 計画最大打設量の設定

原設計の打設工程は、ブルドーザの敷均し能力（16 t 級 103 m³/hr）を元に決定した 1 日当たりの打設能力から設定されていた。この打設工程では、1 日当たり 1 リフトの打設を行い、最大打設時に必要な打設機械は、ブルドーザ 3 台、タンDEM型振動ローラ（11 t 級 122 m³/hr）3 台であった。しかし、複雑な C S G 形状と地形的な制約から打設 1 レーン当たりの幅が狭く、このレーン内で複



図一九 C S G材（上流材）の粒度分布（平成 24 年度）

表一 二 C S Gの配合

名称	C S G材最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m³)			配合強度 (材齢 91 日) (N/mm²)	適用箇所
		水 (kg)	セメント (kg)	C S G材 (kg)		
C S G	80	80~110	60	2,200	2.0	一般部
C S G	80	80~115	80	2,170	3.5	一般部
富配合 C S G	80	90~120	100	2,140	4.0	一般部, 着岩部
富配合 C S G	80	95~125	120	2,110	4.0	一般部, 着岩部



写真一 二 ダム品質管理システム運用状況

表一 三 C S G打設実績一覧

時間当たり最大打設量		200 m³/hr
日 当 たり	打 設 量	2,549 m³ (H24.6.12)
最大打設量	打 設 時 間	26.0 h (転圧完了までの時間)
月 当 たり	打 設 量	44,836 m³
最大打設量	打 設 時 間	24 日
C S G打設期 間	打 設 期 間	H23.7.7~H24.10.30
	総打設日数	233 日

数台の打設機械を同時に稼働させることは困難であった。

施工計画では、当初は考慮されていなかったCSG混合設備能力、ダンプトラックのCSG運搬能力、ブルドーザの敷均し能力、法肩部および着岩部の人力施工能力、打設レーン変更時の打設面清掃時間等の組み合わせを総合的に検討し、施工効率の良い打設スケジュールを作成した。その結果、計画最大打設量は、原設計の打設能力とほぼ同等の1班当たり打設能力70~100 m³/hr程度に設定した。

1班当たりの稼働効率が良好な機械配置は、打設機械は、ブルドーザ、振動ローラ各1台、運搬機械は、運搬距離約2kmに対してダンプトラック（積載量10t）を6台とした。また、人力施工部分は、打設機械能力を上回るように人員と機械を増加して対応した。

CSG打設は、CSG製造設備の特徴を最大限に利用するため、昼夜2交代連続打設とした。

(2) 2班体制による施工方法の検討

全体的な打設速度を向上させるためには、打設のセット数を増加させる必要があった。上述のとおり、1レーンの施工に投入できる機械は限られるため、相互の施工に影響のない打設レーンを2箇所確保することとした。

打設機械と作業員の2班を無駄なく稼働させるためには、2班の打設速度をほぼ同じにする必要がある。これには、CSGの配合切り替えと打設面への進入路造成が重要なポイントとなった。

本工事のCSGの配合は、必要CSG強度毎に4配合となっている。CSG混合設備は、連続混合設備のため異なる配合を同時に混合出荷できない。このため、事前に発注者と協議を行い、2班の同時打設時の配合が異なる場合は富配合に合わせて同一の配合を打設した。

また、打設面への進入路は、低標高部では2箇所確保できたが、高標高部では地形の制約があったため、上流部からの1箇所のみとなる。そのため、背面盛土との工程調整を行い、盛土内に進入路の設置とCSG打設方向の変更を行い対処した。これにより、2班による1リフト連続打設が可能となり、連続打設時間38時間、1リフト当たり最大打設量 $V=4,200\text{ m}^3$ 、24時間あたり最大打設量 $V=2,550\text{ m}^3$ を達成した。この時、CSG混合設備は最大200 m³/hrで製造を行った。

(3) 災害等による工程の遅延

本工事では、基礎掘削時に当初想定していた高さに所定の岩盤が出現せず、3度の構造設計見直しを余儀なくされた。そのため河床部の施工が融雪出水時期と重なり、胆沢川の出水災害に度々まわられることになった。また、台風を起因とする過去最大級の胆沢川の出水により、仮設備ヤードの濁水処理設備、電気設備、セメントペースト設備が水没する被害もあった。さらに、東日本大震災による資機材、作業員の不足や下流端部斜面の崩落によ

る対策工の施工により予定工程が遅延した。施工は、昼夜2交代、4週2休のサイクルを維持するため、増員によって交代で休日を確保しておこなった。

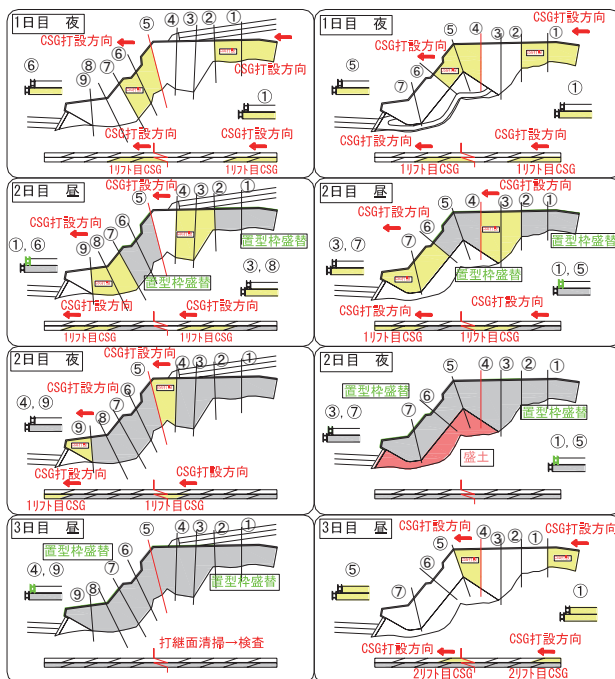


図-10 2班体制施工フロー



写真-3
出水災害状況



写真-4
2班体制施工状況

3-2 法肩部の施工

(1) 法肩締め固め機械の開発

当初、本工事では台形CSGダムにおいて一般的な端部法面締め固め方法である加圧保持型の法肩締め固め機の採用を検討した。その結果、法肩部は一般部と同等の密度を得ることができたが、法面整形に時間を要した。また、材料のロスが比較的多いこと、安全確保上の問題等が明らかとなった。そこで、従来の法面バケットよりも稼働範囲が大きく、かつ広い表面積の特殊バケットと直角面に締め固めを行うための特殊転圧板を製作した。試験の結果、1リフト75cmでは、垂直に締め固めるための撒き出しや整形が困難であり、締め固め状況も悪かった。



写真-5 法肩締め固め機械による確認試験

(2) 置き型枠の使用

法肩部の施工において、ブルドーザ、振動ローラは横滑りや法肩部の崩壊による転落の恐れがあるため、法肩近くに寄れず所定の品質が確保できない懸念がある。効率の面を考慮すると極力機械施工が望ましいが、前述の法肩締め機械による施工では、品質面や材料ロスに課題が残る。そこで、灰塚ダム川井堰堤他で実績のある鋼材を使用した置き型枠による法肩部の施工を検討した。

本施工前に置き型枠を製作し、上流仮締切で試験施工を行った。転圧仕様は、着岩部と同等と仮定し、型枠際から1mの範囲を3層敷均し、各層を60kg級ランマ8回転圧、1t級振動ローラ8回転圧で締め固めを行った。その結果、一般部とほぼ同等の締め固め密度を得ることができた。型枠の寸法は、汎用機械で移動設置可能な重量を考慮して、H-400を2段重ねとし、長さは4m(重量1.4t)とした。鋼材は、汎用品でありボルト接続が便利な山留め材を使用した。

これらの結果を踏まえて、発注者と協議した結果、置き型枠による法肩部の施工方法を採用することとなった。

階段状の断面形状となるが、凍結融解に伴う品質確保余裕分としてCSG余裕幅 $W=50\text{ cm}$ を確保した施工断面を設け、体積的に過不足のない断面位置を採用することになった。

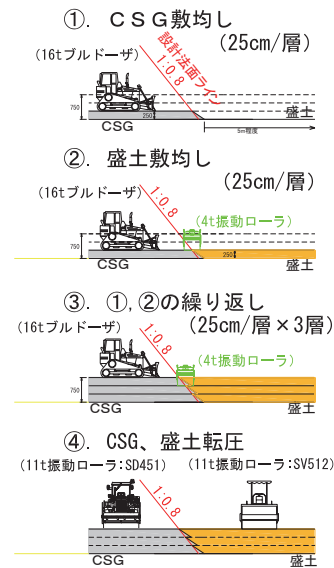
3-3 盛土競合部の施工

CSGと盛土の競合部の施工は、所定の品質を確保しながら設計ラインに対するCSGのロスを極力少なくすること、施工に時間をかけないこと、施工機械を増やさないことなどが求められた。

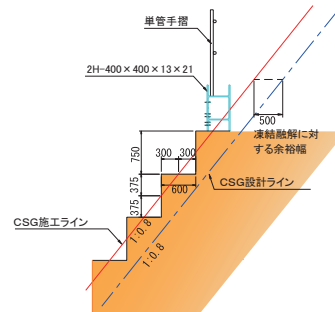
そこで、CSGのロスを極力少なくするために、1リフト3層敷均しの施工において、1層毎に盛土を摺り付け、3層敷均し後に振動ローラで転圧する方法とした。しかし、CSGと盛土材はそれぞれ転圧時の沈下量が異なることから、3層敷均し時に大型の振動ローラで転圧した場合には、競合部が均一に転圧できないことが懸念された。そこで、CSGの仕上げ転圧で用いるコンバインドローラ(4t級)で1層ごとに転圧し、品質面に配慮することとした。

§4. まとめ

CSG工法による構造物は、合理化を進める技術として、今後とも利用が促進されていくと考えられる。本工事のような押え盛土への適用事例はまだ少なく、解決すべき課題は多い。本工事での課題は、関係各所のアドバイスを頂き、様々な工夫や検討を行った結果、解決することが出来た。本工事は厳しい施工条件であったが、発注者、JV職員及び協力業者の良好なチームワークを維持できたことが要求された品質と工期を守れた大きな要因である。



図一11 盛土競合部の施工フロー



図一12 置き型枠の配置



写真一6 右岸上流法面保護工完成全景

謝辞：本工事にあたりご指導いただいた財団法人ダム技術センターの皆様、および技術研究所始め関係各部署の皆様へ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，2012.6
- 2) 財団法人ダム技術センター：平成22年度，胆沢ダムCSG施工評価業務報告書，2011.3
- 3) アイドールエンジニアリング株式会社：平成22年度，胆沢ダム管理設備詳細設計業務，【右岸崖錐斜面対策編】報告書，2011.3
- 4) アイドールエンジニアリング株式会社：平成20年度，胆沢ダム右岸崖錐斜面安定対策設計業務報告書，2009.3