

三笠ぼんべつダムの施工仕様決定のための確認試験について

札幌開発建設部 幾春別川ダム建設事業所 えん堤班

○中井 健太

山口 韶

岩井 真央

三笠ぼんべつダムは洪水調節を目的として石狩川水系幾春別川支川の奔別川に建設中の直轄ダム初の流水型の台形CSGダムであり、令和6年度には基礎掘削が完了し、令和7年度には本体打設に着手したところである。本論文では、実施工で用いるCSG材および施工設備を使用し、CSG打設における施工仕様を決定するために行った確認試験について報告する。

キーワード：台形CSGダム、設計・施工・品質管理、防災

1. はじめに

幾春別川は、国内第2位の流域面積を有する一級河川・石狩川の一次支川で、幹川流路延長59km、流域面積343km²を有しており、流域には三笠市および岩見沢市が所在する。（図-1）



図-1 石狩川下流域および幾春別川流域図

幾春別川総合開発事業は、幾春別川をはじめとした石狩川下流域において、年超過確率1/100の規模の洪水（毎年、1年間にその規模を超える洪水が発生する確率が1/100(1%)）を想定した場合に氾濫のおそれがある区域に対して、洪水による災害発生の防止または低減を目標とする洪水調節のほか、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給、工業用水の供給、発電を目的に事業を進めているところである。対象となる区域には、三笠市をはじめ、札幌市、岩見沢市など8市4町1村を含み、約250万人が暮らしている。

当事業では、幾春別川に昭和32年度に建設された桂沢ダムを嵩上げする「新桂沢ダム」と、新設する「三笠ぼ

んべつダム」の2つのダムを建設する実施している。このうち、「三笠ぼんべつダム」は、洪水調節を目的として、幾春別川支川の奔別川に建設中の直轄ダム初の流水型の台形CSGダムである。

本報告は、三笠ぼんべつダムの実施工で用いるCSG材および施工設備を使用し、CSG打設における施工仕様を決定するために行った確認試験について報告するものである。

2. 台形CSGダム

「台形CSGダム」とは、「台形ダム」と「CSG工法」の特徴を併せ持つダム型式であり、材料、設計および施工の合理化を目的に考案された新しい型式のダムである。CSGとは、Cemented Sand and Gravelを略したものであり、砂礫の分級、粒度調整を基本的に行わず、石や砂礫にセメントと水を添加し混合したものである。台形CSGダムの概念図を図-2に示す。

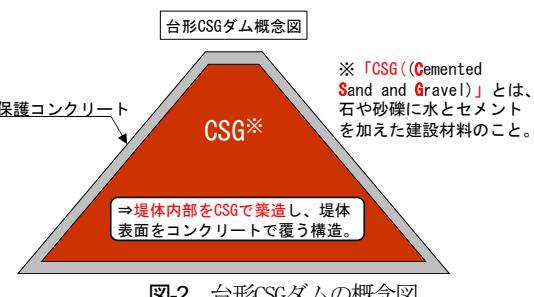


図-2 台形CSGダムの概念図

「台形ダム」は、安定性に優れ、堤体内部に作用する応力が小さくなるため、堤体材料の強度を比較的小さくできるなどの特徴がある。また、「CSG工法」は、効率

の良い材料確保が可能であること、簡易な設備で製造が可能であること、急速施工が可能であることなどの特徴がある。これまでに北海道内では、サンルダム（北海道開発局）、当別ダム（北海道）および厚幌ダム（北海道）などの施工実績がある。

3. 施工仕様決定のための確認試験

（1）確認試験の目的

確認試験は、本体工事に先立ち、実際に使用するCSG材および施工設備を用いて現地試験を行うことで、本体工事における施工仕様を決定することを目的に実施するものである。

（2）確認試験の項目

三笠ぼんべつダムにおける確認試験は、技術資料¹⁾に記載されている項目を基本とし、試験施工ヤード（図-3）およびダムサイト基礎岩盤部（図-4）において表-1のとおり10項目を実施した。本項では、転圧回数の確認、

CSGの転圧許容時間の確認、端部締固め仕様の確認、セメントペースト・モルタルの配合選定、狭隘部の施工仕様の確認の試験結果について詳述する。



図-4 ダムサイト基礎岩盤部試験位置

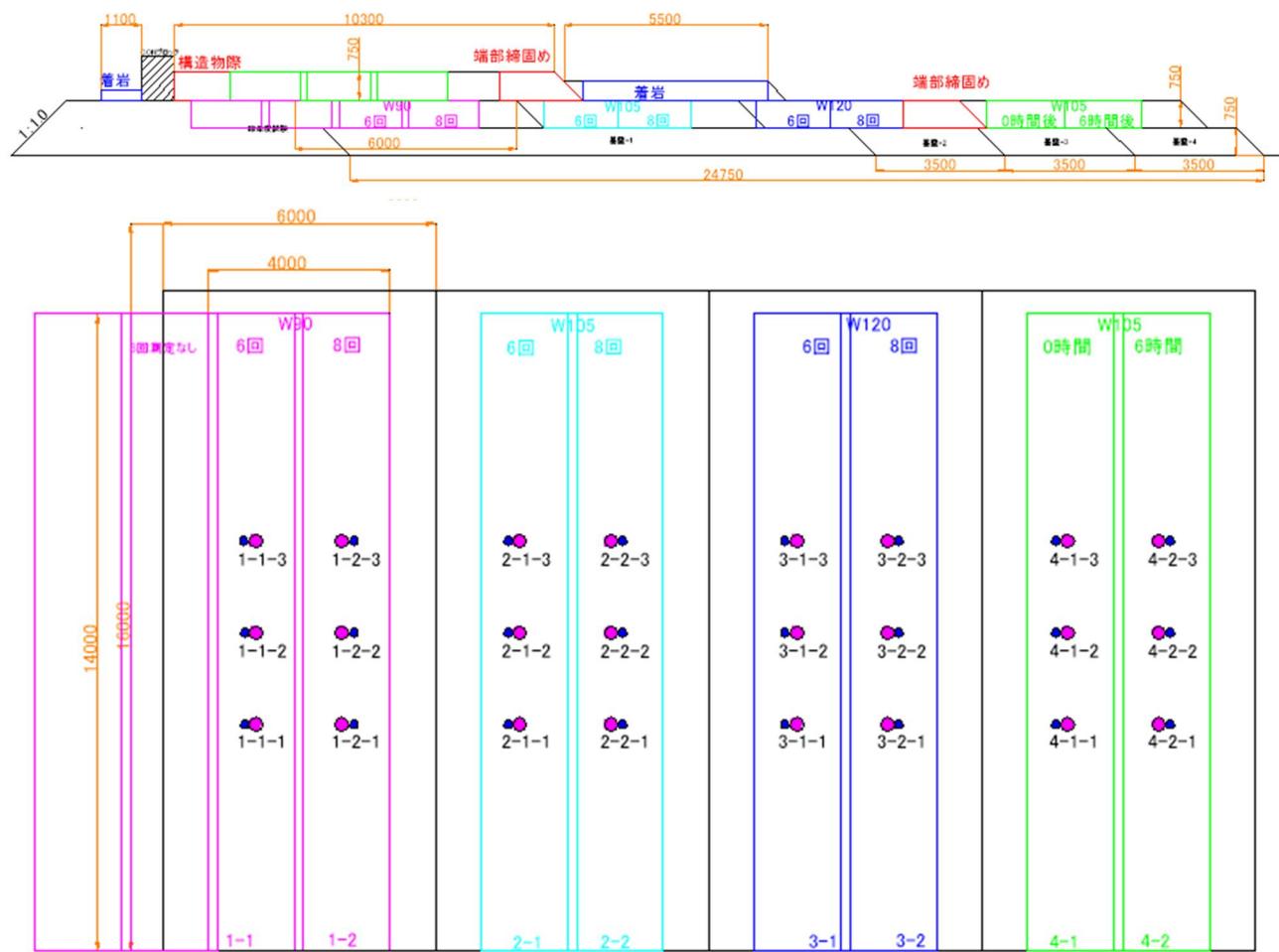


図-3 試験施工ヤードレイアウト

表-1 確認試験の試験項目

区分	試験項目	試験場所	概要
施工における基本事項	転圧回数の確認	試験施工ヤード	※は前回の試験施工で定められている振動ローラによるCSGの転圧回数の妥当性を確認する。
	品質管理手法の確認	試験施工ヤード	実施工で行う品質管理手法(現場密度および強度の相関性)を確認する。
細部施工仕様の確認	転圧完了許容時間の確認	試験施工ヤード	CSGの混合開始から転圧までの許容時間を確認する。
	構造物際の施工仕様の確認	試験施工ヤード	堤内構造物周辺の締固め施工機械(FPC)と締固めの施工仕様を決定する。
	端部締固め仕様の確認	試験施工ヤード	CSGの端部表面の締固めに使用する施工機械(FPC)と施工仕様を決定する。
	仕上げ転圧仕様の確認	試験施工ヤード	仕上げ転圧に使用する施工機械と施工仕様を決定する。
	セメントベースト・モルタルの配合選定	試験施工ヤード	セメントベーストおよびモルタルの配合を施工性の観点から決定する。
	CSG打継ぎの仕様確認	試験施工ヤード	CSGの打継ぎ部の一体化を確認する。
	跳躍部の施工仕様の確認	ダムサイト	モルタル敷設の有無の確認を行う。

(3) 転圧回数の確認

まず、発注前の試験施工で定めている振動ローラーによるCSGの転圧回数の妥当性を確認するため、16t級ブルドーザによるCSG敷均し、11t級振動ローラーによる締固めを行い、実施フローに則り確認を行った。(図-5) 試験ケースを表-2に示す。

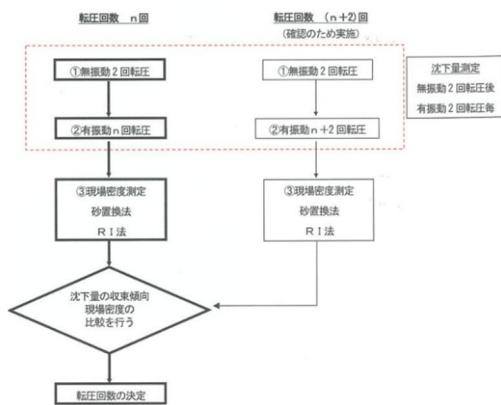


図-5 転圧回数の確認 実施フロー

表-2 転圧回数の確認 試験ケース

レーンNo.	配合	転圧回数	備考
1-1	C80W90	無振動2回+有振動6回	
1-2	遮断剤あり(25%)	無振動2回+有振動8回	
2-1	C80W105	無振動2回+有振動6回	
2-2	遮断剤あり(25%)	無振動2回+有振動8回	
3-1	C80W120	無振動2回+有振動6回	
3-2	遮断剤あり(25%)	無振動2回+有振動8回	

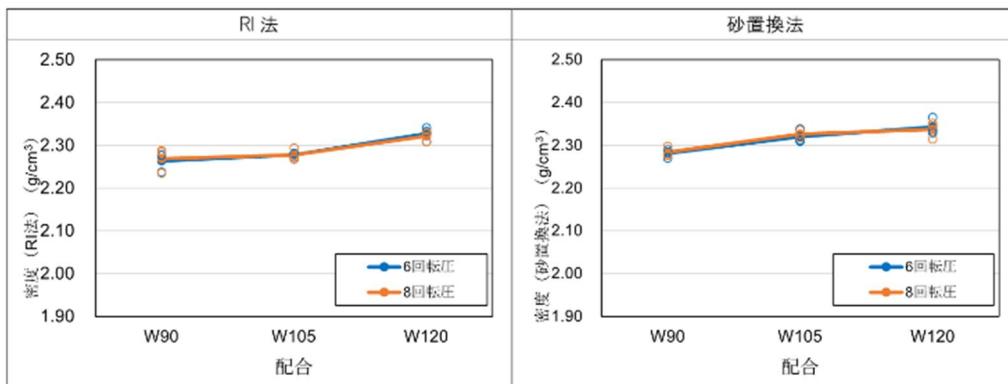


図-6 現場密度試験の結果 (転圧回数の確認)

CSGに用いるCSG材は、通常のコンクリート材料と異なり、分級、粒度調整および洗浄を行わないため、粒度と表面水量が変動する。それによりCSGの単位水量も変動しうることから、CSGの単位水量に下限値、中間値、上限値を設けている。(具体的には、単位水量90kg/m³ (下限値)、105kg/m³ (中間値)、120kg/m³ (上限値)の3配合)

このため、転圧回数の確認は、単位水量が異なる3配合それぞれについて、発注前の試験施工で定めている有振動6回と、転圧回数を増やした有振動8回の2ケースで実施した。

また、16t級ブルドーザで敷均し後、11t級振動ローラーで一往復転圧(2回転圧)するごとに沈下量、各ケースの有振動転圧完了後に砂置換法およびRI法により現場密度を測定し、沈下量と密度の収束傾向から適切な有振動転圧回数を確認した。

砂置換法およびRI法による密度試験の結果、転圧回数6回と8回で現場密度に差異は見られなかった。(図-6)

また、沈下量においても、転圧回数6回でおおむね収束する傾向を確認したことから、11t級振動ローラーによる有振動転圧回数は6回と決定した。

(4) CSGの転圧許容時間の確認

CSG混合後、転圧までの時間が長くなると硬化が進み、転圧を行っても十分な強度が得られなくなることが考えられる。そこで、CSGの混合から転圧開始までの時間を変化させ、どの程度であればCSGを放置しても品質に影響を与える施工できるかを確認した。具体的には、発注前の試験施工で定めた、混合から6時間後転圧と、敷均し直後に転圧したケースでの密度と沈下量の対比により確認を行った。

試験の結果、密度においては、混合から6時間後に転圧を行った場合と、敷均し直後に転圧した場合の差は小さく、ほぼ同程度であった。(図-7,図-8) 沈下量もほぼ同程度であることを確認した。

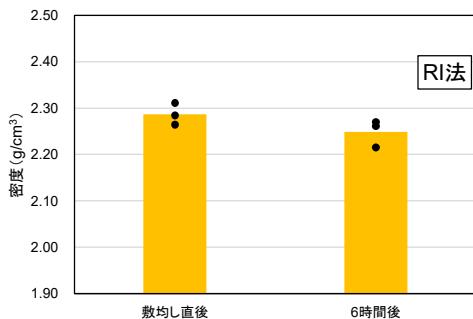


図-7 現場密度試験 (RI法) の結果

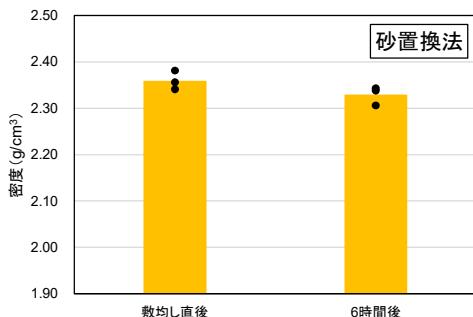


図-8 現場密度試験（砂置換法）の結果

(5) 端部締固め仕様の確認

保護コンクリート付近のCSG端部法面においては、端部締固め機（FPC：フラットプレートコンパクター）により締固めを行う。CSGの端部においても、一般部と同等の密度を確保することで、ダム全体の均質性と一体性を確保する必要がある。そこで、端部締固め機（写真-1）により締固めた法肩部と、11t級振動ローラー転圧により締固めた一般部との密度の対比により端部締固め機による締固め秒数の確認を行った（図-9）。具体的には、先例の東北地方整備局成瀬ダム等の実績を参考に、締固め時間を20秒（法肩20秒・法面20秒）、30秒（法肩30秒・法面30秒）、40秒（法肩40秒・法面40秒）に変化させて行った。

試験の結果、締固め秒数を40秒とすることで一般部と同程度の密度を得られることを確認した。(図-10) 締固め面は、締固め時間20秒では、表面に大玉が見られ荒れていたが、30秒、40秒では良好な締固め面となったことを確認した。(図-11) これらの結果から、端部締固め機による締固めは秒数は40秒と決定した。



写真-1 FPC端部締固め状況

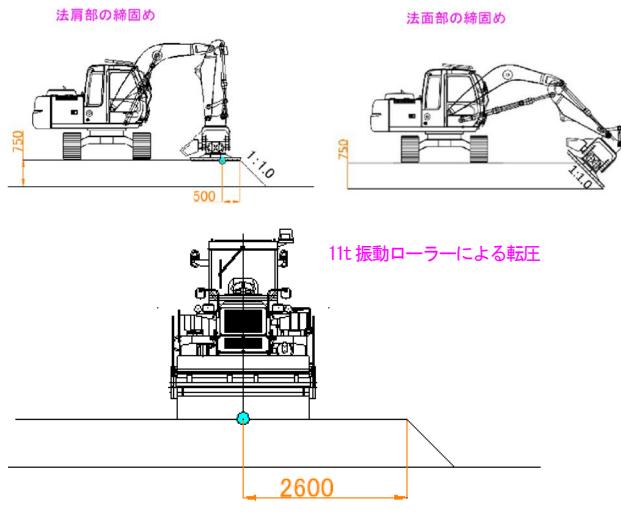


図-9 端部締固め仕様の確認

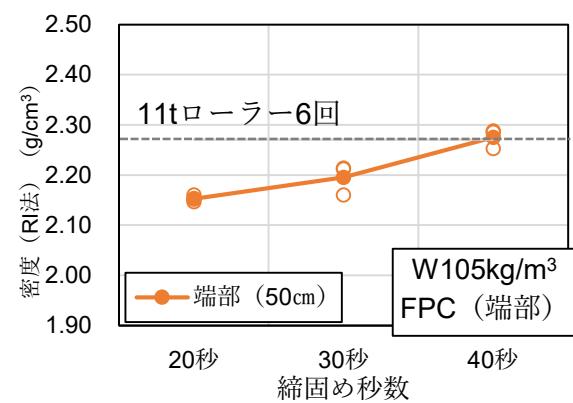


図-10 現場密度試験（砂置換法）の結果

締固め時間	20秒	30秒	40秒
W105kg/m ³			

図-11 締固め面の状況

(6) セメントペースト・モルタルの配合選定

CSG打継ぎ面に塗布するセメントペーストおよび、着岩部分や構造物際に使用するモルタルについて、施工性の観点から配合を検討した。

CSG打継ぎ面に塗布するセメントペーストは、転圧したCSGの上（水平部および1:6法面部）に塗布し、施工性やペーストの分離の有無を確認した。その結果、傾斜打ち継ぎ部を想定した1:6法面では、W/C70%で必要な塗布厚5mmを確保することができたことから、W/C70%を選定した。（表-3）

また、着岩部分や構造物際に使用するモルタルは、コンクリートブロックの側面に塗布し、施工性やモルタルの分離の有無を確認した。その結果、モルタルはC:S=1:3で必要な塗布厚さを確保できたことから、これを選定した。（表-4）

表-3 セメントペーストのフレッシュ性状の試験結果

No.	ケース W/C%	塗布面 CSG面	塗布厚さ（水平面） 5mm	塗布厚さ（1:6法面） 3mm	評価 ×	記事 塗布厚さ確保できない
1	セメントペースト W/C80%	CSG面	5mm	3mm	×	塗布厚さ確保できない
2	セメントペースト W/C70%	CSG面	7mm	5mm	○	塗布厚さ確保できる

No.	ケース W/C%	塗布面 CSG面	塗布厚さ（水平面） 8mm	塗布厚さ（1:6法面） 6mm	評価 ○	記事 塗布厚さ確保できる
3	セメントペースト W/C60%	CSG面	8mm	6mm	○	塗布厚さ確保できる

表-4 モルタルのフレッシュ性状の試験結果

No.	ケース	塗布面	塗布厚さ（鉛直面）	評価	記事
4	モルタル（C:S=1:3）	コンクリート面	16mm	○	塗布厚さ確保できる
5	モルタル（C:S=1:2）	コンクリート面	10mm	×	塗布厚さ確保できない

(7) 狹隘部の施工仕様の確認

着岩部や狭隘部においては、11t級振動ローラーによる転圧ができないことから、小型の1t級振動ローラーやランマーによる締固めが必要となる。そこで、1t級振動ローラーおよびランマーにより締固めを行った箇所と、11t級振動ローラー転圧により締固めを行った一般部との密度の対比により確認を行った。1t級振動ローラーによる締固めは、先例の東北地方整備局成瀬ダム等の実績を参考に、有振動転圧回数を6回、8回、10回に変化させて行った。60kg級ランマーによる転圧も同様に、他ダム実績を参考に6回と8回の2ケースで実施した。現場密度試験（RI法）の結果を図-14に示す。

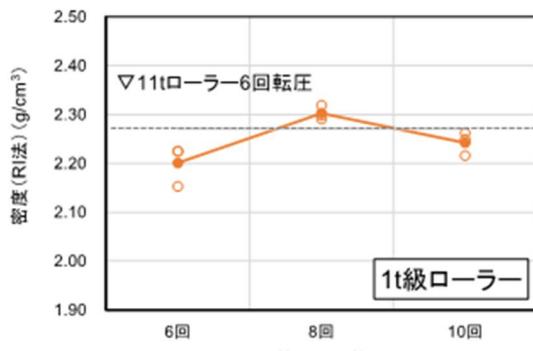


図-14 現場密度試験（RI法）結果（1t級振動ローラー）

その結果、1t級振動ローラーによる締固めでは、転圧回数8回で一般部と同程度の密度が得られることを確認した。60kg級ランマーによる締固めでも、転圧回数6回で一般部と同程度の密度が得られることを確認した。

以上より、1t級ローラーの転圧回数は8回、60kg級ランマーの転圧回数は6回とした。

(8) CSG着岩部の施工仕様の確認

CSG着岩部においては、滑動抵抗性を確保するため、CSGと岩盤を密着させる必要がある。他方、三笠ぼんべつダムの基礎岩盤は、地形性節理の発達により基礎掘削後の岩盤面に不陸が生じる特徴がある。（写真-2）そこで、ダムサイトの岩盤上にCSGを締固めて、着岩部におけるモルタル塗布の有無について確認した。（写真-3）



写真-2 着岩部の状況



写真-3 CSG締め固め状況

平坦部は1t級振動ローラー（モルタル20mm有り・無し）、狭隘部は60kg級ランマー（モルタル20mm有り・無し）により締固めを行い、コア採取により密着の程度を確認した。試験ケースを表-5、試験イメージを図-15に示す。

表-5 着岩部の施工仕様の確認 試験ケース

No.	岩盤状況	モルタル塗布	使用機械	締固め厚	コア採取Φ200
1	平坦部	あり（t=20mm）	1t級ローラー	25cm	L500mm 2本
2	なし				L500mm 2本
3	狭隘部	あり（t=20mm）	60kg級ランマー	25cm	L750mm 2本
4		なし			L750mm 2本

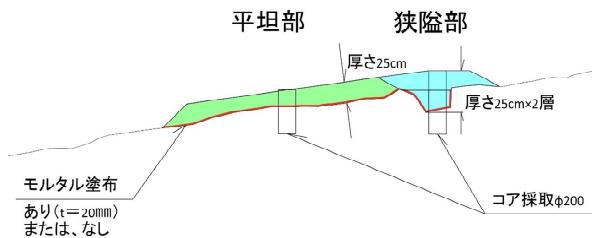


図-15 試験イメージ

その結果、平坦部においてモルタルを塗布したNo.8、No.9のコアは岩盤とCSGが密着していることを確認した。一方、モルタルを塗布していないNo.10、No.12のコアでは岩盤とCSGの間に縁切れが生じていることを確認した。

また、狭隘部においてモルタルを塗布したNo.4、No.6のコアは岩盤とCSGが密着していることを確認した。一方、モルタルを塗布していないNo.2、No.3のコアでは岩盤表面のCSGに縁切れが生じており、CSGと岩盤が密着していないことを確認した。（図-16）

以上の結果より、着岩部にはモルタルを20mm塗布することとした。

(9) 試験結果のまとめ

本試験により決定された施工仕様を表-6に示す。

表-6 三笠ぼんべつダムのCSG転圧仕様

材料	材料仕様	施工箇所	仕上がり厚	使用機械	転圧回数/秒数	備考	
着岩部	モルタル W/C=60% C:S=1:3	着岩部	2cm	人力塗布	—	Nセメント	
	CSG		25cm	60kg級ランマー 1t級ローラー	6回 8回		
	75cm			FPC	60秒		
一般部	セメントベースト W/C=70%	打継ぎ部 CSG	5mm	人力塗布	—	Nセメント	
	水平部			11t級振動ローラー	無振動2回+ 有振動6回		
	水平部 仕上げ転圧		75cm	11t級振動ローラー	無振動2回		
構造物際	モルタル W/C=60% C:S=1:3	構造物際	15mm	人力塗布	—	Nセメント	
	CSG		75cm	FPC	60秒		
	CSG		15cm	電動ハンマ	80秒		
製造から転圧開始まで6時間以内							
■ 今回試験により決定した項目							

4. おわりに

令和7年度は、実際に使用する材料及び施工設備を用いて確認試験を実施し、基本事項の確認、CSGの細部施工仕様の決定を行った。令和8年度からはCSGの打設に着手する予定であるため、確認試験で得られた結果を基に適切に品質管理を実施し、本体工事の進捗を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 台形 CSG ダム構造・設計・品質管理技術資料整理検討会 (2025) : 台形CSGダム構造・設計・品質管理技術資料, 財)ダム技術センター

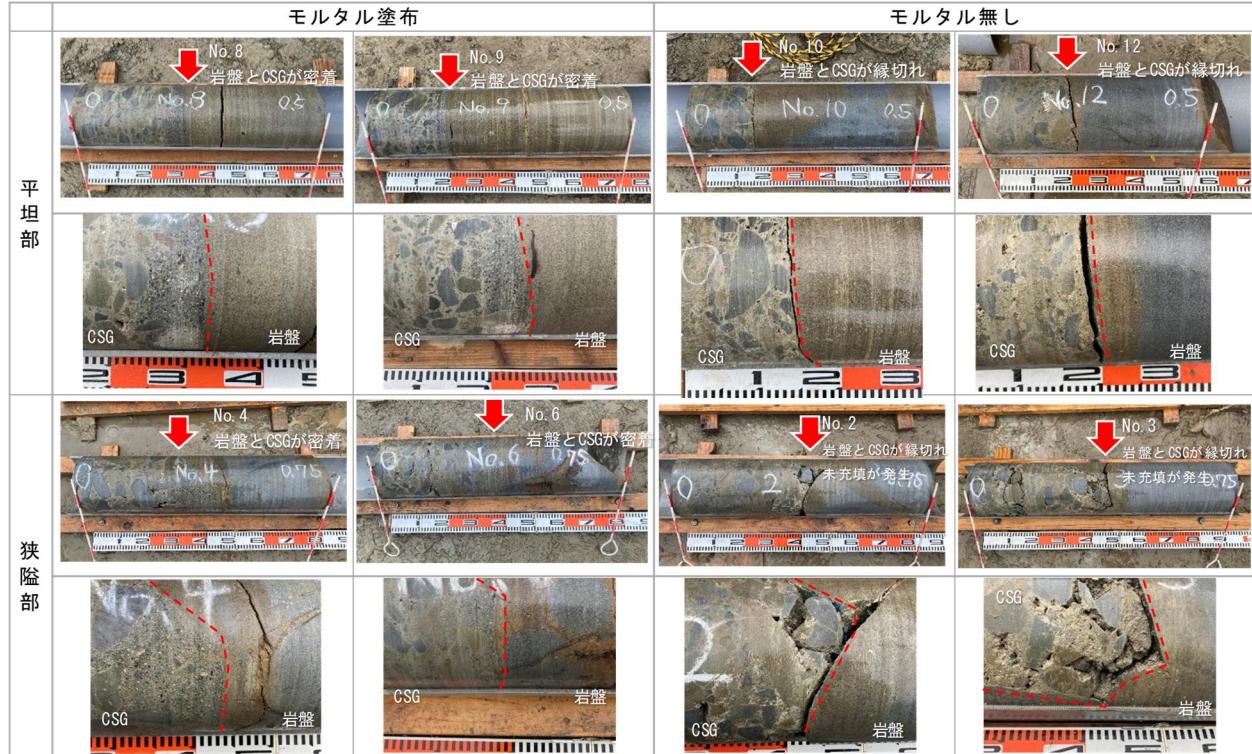


図-16 コア試料の状況（赤点線・矢印：岩盤表面）