

サンルダムにおける台形CSGダムの品質管理について

旭川開発建設部 サンルダム建設事業所

○辻 弘平
前田 章博
若林 英樹

サンルダムは洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給、発電を目的として天塩川水系サンル川に建設中の多目的ダムであり、平成26年度から堤体建設工事に着手したところである。本報告は、台形CSGダムの品質管理のうち、現地条件により異なる堤体材料の表面水量を調整する取り組みと施工状況を報告する。

キーワード：基礎技術、台形CSGダム、設計・施工

1. サンルダム建設事業の概要

サンルダムは、北海道上川郡下川町に位置し、国土交通省直轄ダムとしては日本最北のダムとなる(図-1)。諸元は堤体積49.5万 m^3 、総貯水容量5,720万 m^3 、堤高46mの台形CSGダムである(図-2)。

事業の経緯としては昭和63年度に実施計画調査、平成5年度に建設事業に着手し、堤体関連工事としては平成25年度に基礎掘削工事、平成26年度から転流工事、堤体建設工事に着手したところである。

平成28年度の進捗としては、堤体積49.5万 m^3 のうち約50%の打設、関連設備として取水放流設備据付を行っており、平成30年度の事業完了に向けて工事を進めているところである。(写真-1、図-3)

本報告は、台形CSGダムの品質管理のうち、現地条件により異なる堤体材料の表面水量を調整する取り組みと施工状況を報告するものである。

2. 台形CSGダムの概要

「CSG」とは「Cemented Sand and Gravel」つまり「セメ



図-1 サンルダム位置図



図-2 イメージパース



写真-1 現場状況(平成28年11月14日)

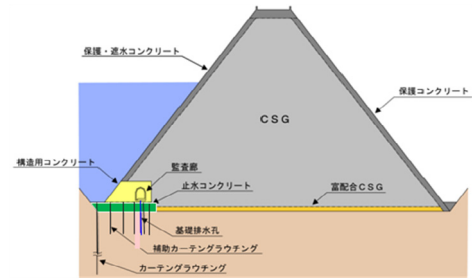


図-4 台形CSGダムの標準断面¹⁾

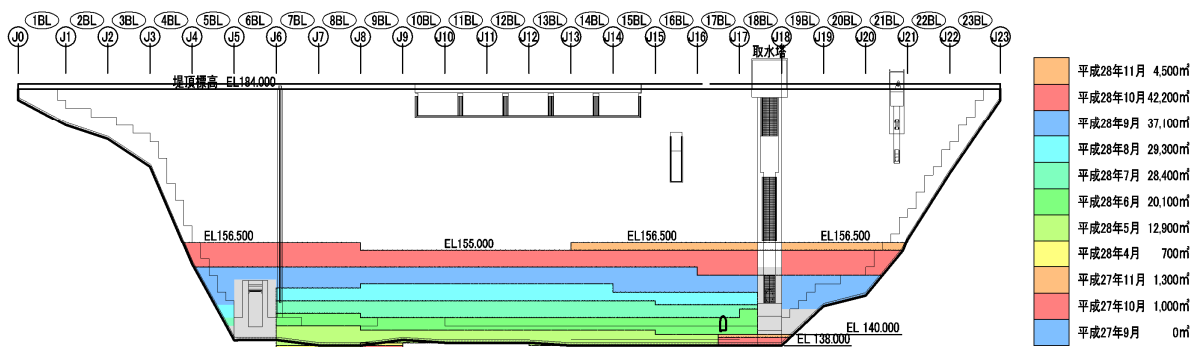


図-3 CSG打設実績(平成28年11月14日現在)

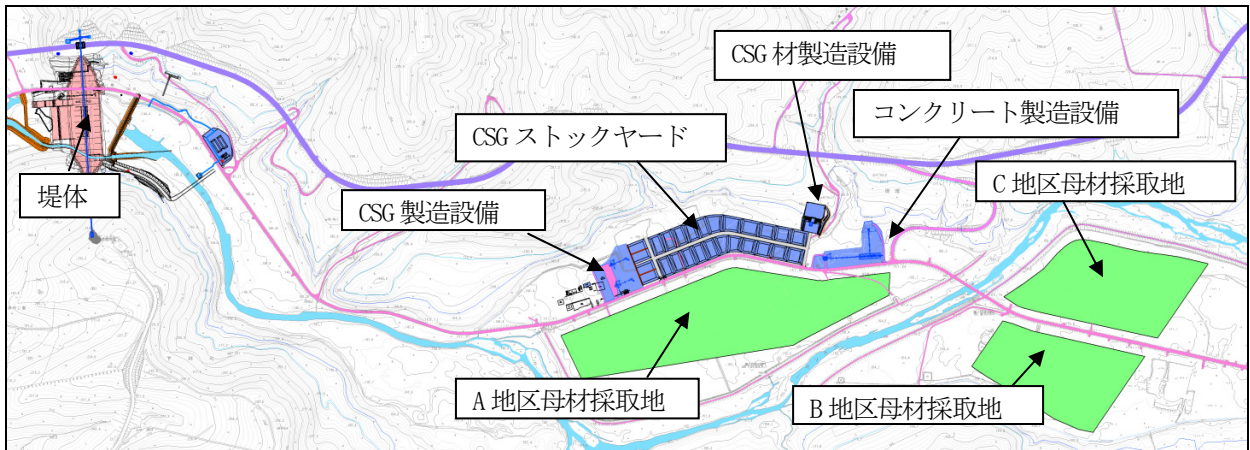


図-5 母材採取地の位置

ントで固めた砂礫」を意味し、「台形CSGダム」は「CSG」を用いた台形状のダムを示している。構造は本体にCSGを用い、上下流面の保護コンクリート、止水コンクリート、監査廊及びカーテングラウチングから構成されている(図-4)。サンルダムでは、先例の台形CSGダムの施工を通じて得られた知見を基にとりまとめられた「台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料」¹⁾に基づき設計している。

3. 堤体材料の物理性状とCSG強度特性について

サンルダムのCSGに用いる材料は、ダムサイト上流の貯水池内に分布するサンル川の氾濫原の河床砂礫であり、この原材料を母材という(図-5)。母材は、オーバーサイズの除去を行うほかには、無分級で粒度調整を行わず、分級後の材料をCSG材という。CSG材は基本的に粒度にバラつきを有することになり、表面水量も、粒度や採取条件により異なる。したがって、単位セメント量及び締め固め方法を一定としても粒度と単位水量の幅の範囲でCSGの強度がバラつくため、「ひし形」理論¹⁾によりCSGの強度を設定している。

(図-6)に大型供試体による室内のCSG強度試験結果を示す。同図に示す粒度範囲と単位水量範囲で囲まれる範

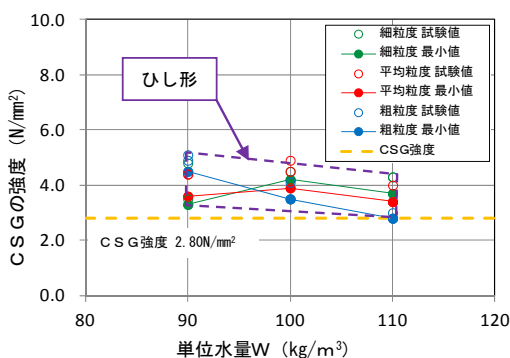


図-6 各粒度における単位水量とCSGの強度との関係 (セメントC=80 kg/m³, 60秒締め固め, 材令91日)

囲を「ひし形」と呼んでおり、この「ひし形」における最低強度値をサンルダムにおける「CSG強度」と設定し、「CSG強度」を確保するために、単位水量 90~110kg/m³となるように品質管理を行っている。

4. 表面水量低下手法の検討

4.1 表面水量低下試験

サンルダムの母材は、サンル川の氾濫原の河床砂礫を使用することから、融雪や河川水位の影響により、表面水量が高くなる可能性が考えられた。

CSG材の表面水量は、給水等により上昇させることは容易であることから、施工で使用するまでに、CSGの単位水量範囲の下限値である 90kg/m³未満に低下させることを管理目標とした。したがって、母材採取地の表面水量の変化傾向を把握するとともに、表面水量が 90kg/m³以上の場合に確実に低下させることが可能な対策を施工前の確認試験にて選定することとした。表面水量の低下対策として、大きく分けて以下の2つを手法を主眼に対策を考えた。

- ① 母材採取地において母材採取前に表面水量を低下させる手法
- ② 母材採取後にストックパイルにて表面水量を低下させる手法

1) 母材採取地における表面水量経時変化試験

母材採取地における表面水量低下対策の手法として、(表-1)のケースで試験を実施した。

結果として、これらの方法だけでは、表面水量が 90kg/m³未満とならない母材が存在したため、ストック

表-1 表面水量に関する試験一覧

1) 母材採取地における表面水量経時変化試験	
①	除雪による融雪水の影響を排除する効果を確認する。
②	トレンチ及びポンプにより地下水を低下させる効果を確認する。
③	リッピングによる曝気効果を確認する。

表-2 表面水量に関する試験一覧

2) ストックパイルにおける表面水量経時変化試験	
①	CSG 材のストックパイルを高さを 3.0m, 4.0m, 5.0m で造成し、表面水量低下速度を確認する。
②	CSG 材のストックパイルを高さを 1.0m, 2.0m で造成し、表面水量低下速度を確認する。
③	CSG 材をルーズな状態でストックする効果を確認する。
④	母材の状態でストックする効果を確認する。
⑤	80mm オーバー材を排水層としてストックパイル下層に敷設する効果を確認する。
⑥	ストックパイル内に空気圧送管を設置する効果を確認する。
⑦	CSG 材と母材を薄層ストック (H=50cm) した場合の曝気効果を確認する。

パイルに貯蔵する際の置き方を工夫する方法の検討を行った。

2) ストックパイルにおける表面水量経時変化試験

サンルダムでは、品質・施工工程の確保のため、製造した CSG 材約 110,000m³(1 ヶ月分)を一次ストックヤードに確保することとし、1 日当たりの最大施工量 5,000m³毎に CSG 材のストックパイルとして貯蔵している。

ストックパイルでの対策として、盛土高さ 3.0m を基本形にして表面水量の経時変化試験を(表-2)のケースで実施した。

これらの方法にて、1 ヶ月観測を行った結果、⑦の薄層ストック (H=50cm)のみ、CSG 材及び母材の表面水量を 90kg/m³未滿に低下させることが出来たため、対策としては薄層ストックを選定した。なお、一次ストックヤードでは、二次ストックヤードへの運搬や降雨時に表面水量が上昇しないようにブルーシート等で養生を行うため、CSG 材のストックヤードを薄層で造成することは広範囲となるため効率的ではない。そのため、母材で薄層ストックを実施することとした。

4.2 効率的な薄層ストック厚について

1) 試験概要

前項までで、表面水量の低減効果が認められた母材の薄層ストックに対し、より効率的なストック厚を確認するため、ストック厚 H=50cm、75cm、100cm とした場合の表面水量低下速度を把握する追加試験を実施した。

(表-3)

2) 各対策試験方法

薄層ストックパイルの形状を(図-7)に示す。試験には表面水量の高いA地区から採取した材料を使用した。

なお、試験ヤードの排水、ヤード内への雨水の浸入防止のため、パイル周囲に素掘り側溝を設け(図-8)、また、降雨時に表面水分が増加しないよう、降雨が予想される場合にはブルーシートによる養生を行うこととした。

表面水量の測定は 1 回/2 日の頻度 (10 日後まで) で

表-3 薄層ストックの追加試験ケース

試験項目	パイル高さ (cm)	測定頻度
1	50	1回/2日 2箇所測定
2	75	
3	100	

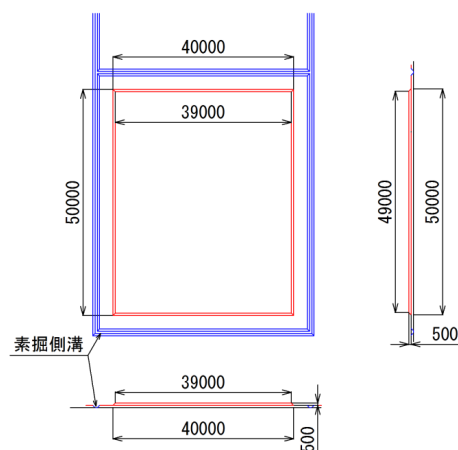


図-7 薄層ストックパイル形状 (厚さ H=50cm の場合)

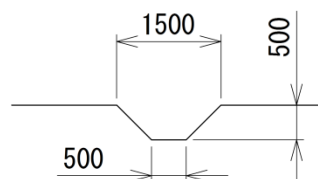


図-8 素掘り側溝断面図

行い、ストックパイル底部における 2 箇所の表面水量の平均値により評価した。

3) 試験結果

各ケースにおけるストックパイル底部の表面水量経時変化を(図-9)に示す。

厚さ H=50cm のストックパイルでは 4 日間で、厚さ H=75cm のストックパイルでは 8 日間で表面水量が 90kg/m³未滿まで低下することを確認した。なお、厚さ H=100cm のストックパイルでは 10 日間経過しても表面水量が 90kg/m³未滿までは低下しなかった。

したがって、厚さ 50cm と 75cm の薄層ストックによる対策が選定候補となる。そこで、表面水量を 90kg/m³未滿に低下させる母材の製造速度を比較した。厚さ 50cm の薄層ストックの方は、厚さ 75cm の薄層ストックに対し 1 回当たりのストック量は 2/3 となるものの、低下速度が 4 日と、厚さ 75cm の 8 日の 2 倍であることから、4/3 倍の速度で表面水量が低下した母材を製造することが可能となる。

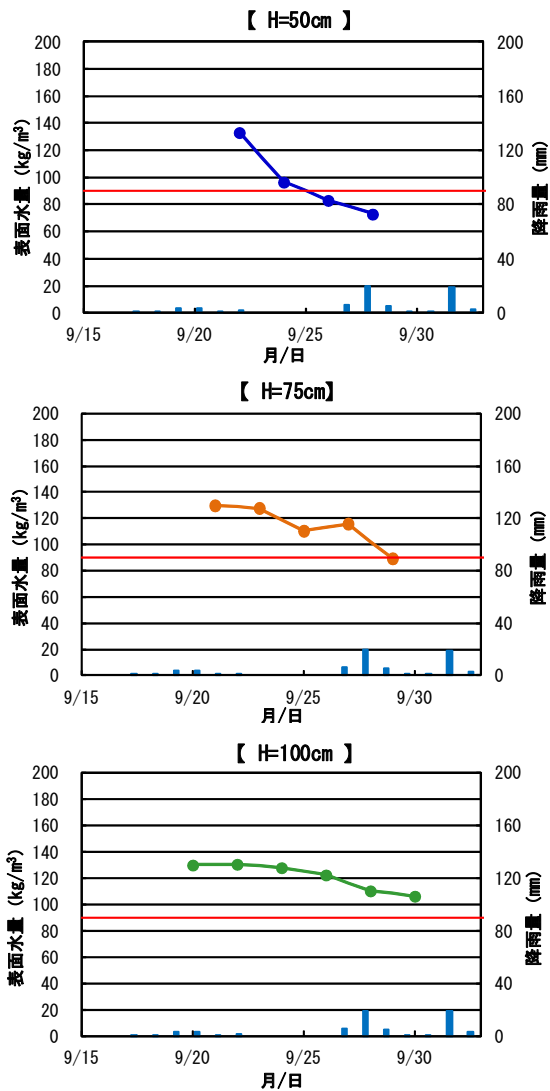


図-9 母材薄層ストックの表面水量経時変化

以上から、表面水量が 90kg/m^3 よりも高い母材に対しては、厚さ 50cm の薄層ストックにより表面水量を低下させることとした。

4.3 表面水量調整ヤードについて

ストックパイルの大きさは、CSG 材の月当たりの最大製造量 $48,000\text{m}^3$ 、稼働日数 20 日/月の施工条件に加え、母材の分級時のオーバーサイズの混入率を考慮し、日当たりの母材採取量 $3,600\text{m}^3$ (1 パイル当たり $1,200\text{m}^3$) と設定した。薄層ストックによる母材の表面水量調整は、曝気に 4 日間要することを踏まえ、1 パイルに対し造成 1 日+曝気 4 日+積出 1 日の 6 日サイクルで行うこととなる。

このことから、18 パイル (造成 3 パイル+曝気中 12 パイル+積出 3 パイル) に分割して造成することとした (図-10)。

表面水量調整ヤードは、水没のリスクが少ない場所と

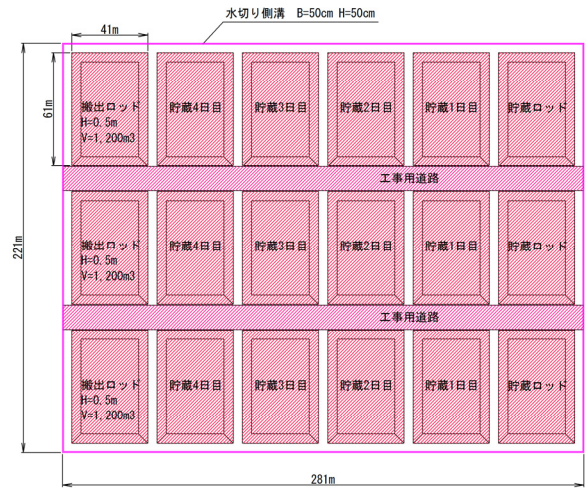


図-10 表面水量調整ヤード配置平面図

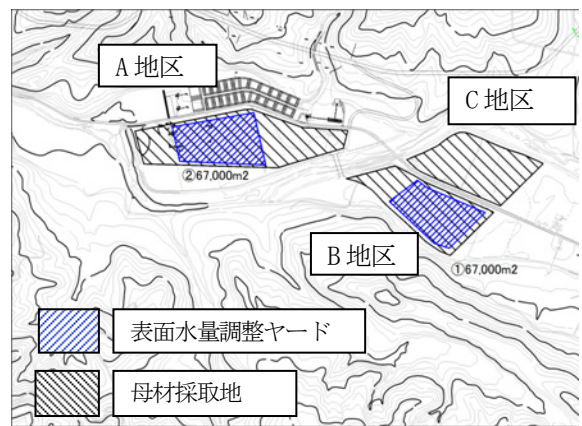


図-11 表面水量調整ヤード位置図

して、母材採取地 A、B 地区のうち、20 年に 1 回相当の冠水標高である EL151.1 より高標高の箇所を利用することとした。表面水量調整ヤードの位置を(図-11)に示す。

5. 表面水量の追跡管理状況

前章まで検討を行った表面水量低下のための取り組みを含めた打設までの一連フローを(図-12)に示す。表面水量が 90kg/m^3 未満であることが確認された母材は、そのまま固定式グリズリへ運搬して CSG 材を製造し一次ストックヤードに貯蔵する計画とした。

表面水量が 90kg/m^3 以上の母材(主に A、C 地区)に対しては、前述の確認試験結果を踏まえ、曝気効果を利用する厚さ $H=50\text{cm}$ で薄層ストックして表面水量の低下を図り、その後 CSG 材を製造・貯蔵する計画とした。

サンルダムでは母材及び CSG 材の表面水量管理のため、採取・製造・貯蔵過程での状況を把握することとした。具体的には、母材採取地、表面水量調整ヤード、一次ストックヤード、二次ストックヤードそれぞれにおいて、表面水量の測定を行うこととした(表-3)。

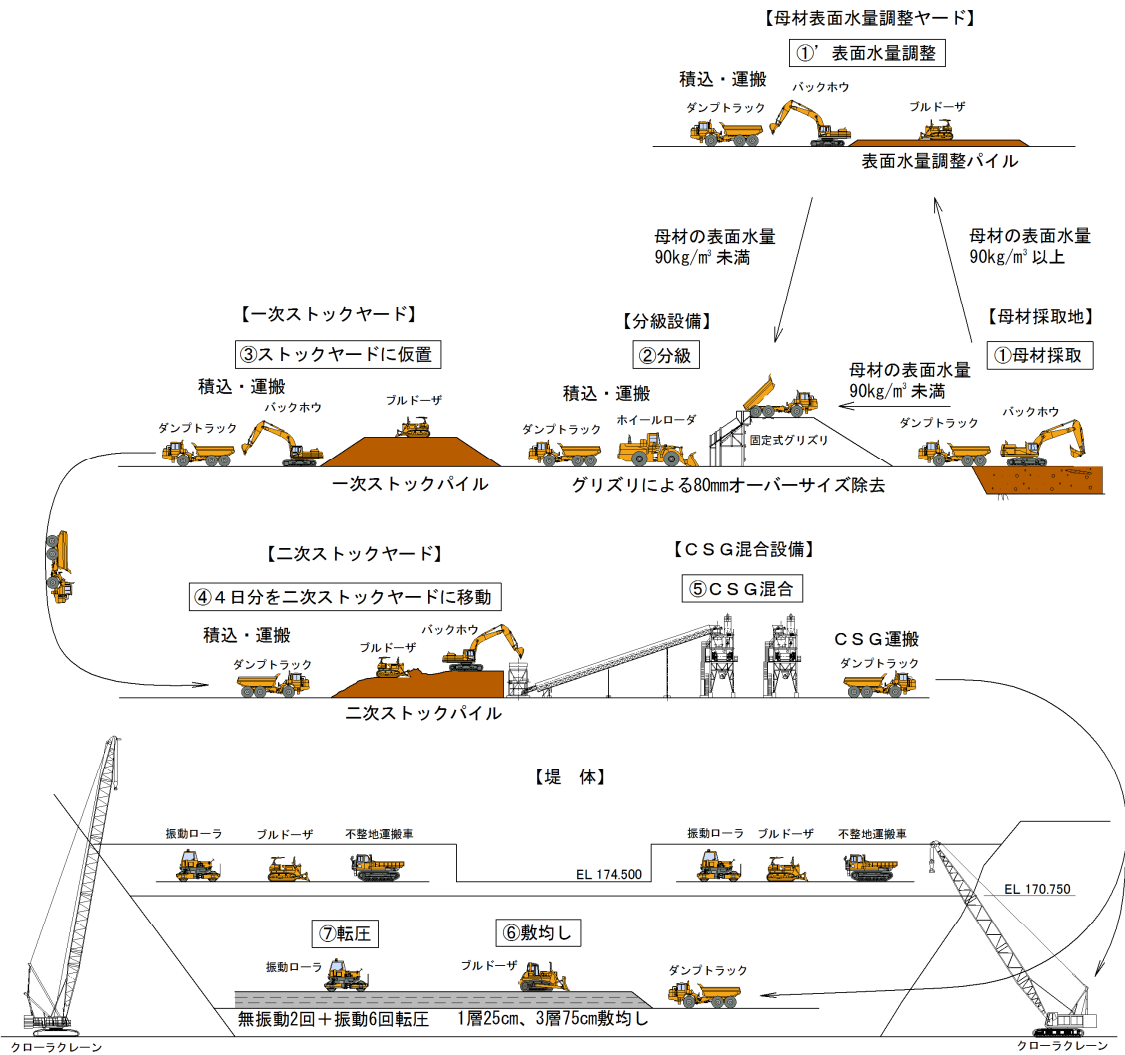


図-12 CSG 施工フロー

(図-13)に母材採取から CSG 製造までの表面水量の追跡結果を示す。(図-13)表面水量は同一採取箇所の測定結果を横軸に整理しており、母材採取地及び一次ストックパイルでの表面水量は、二次ストックパイルでの日時に合わせて記載している。

母材採取地あるいは表面水量調整ヤードにて表面水量 90kg/m^3 未満を確認した母材は、一次ストックパイルにおいても 90kg/m^3 未満で推移することを確認している。二次ストックパイルにおいては、 90kg/m^3 を若干上回る

表面水量が確認された。原因は降雨による一次ストックパイルの表面水量の上昇と考え、一次ストックパイルの形状を変更することにより、 90kg/m^3 未満で推移することを確認した(図-14、図-15)。その結果、目標単位水量 100kg/m^3 に対し、給水による単位水量管理が十分可能な範囲となっている。

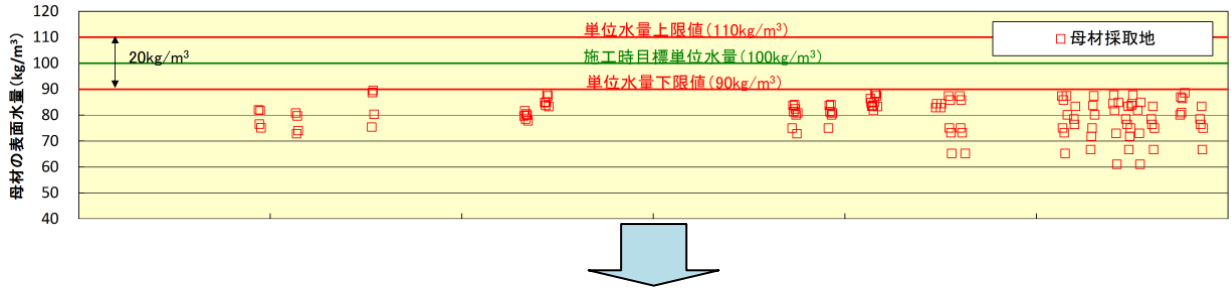
6. おわりに

本報告では、施工を進める際に課題となっている台形 CSG ダムの堤体材料として用いる河床砂礫の表面水量について、現地条件により異なる表面水量を調整する取り組みと施工状況の報告を行った。母材採取地あるいは表面水量調整ヤードにて表面水量 90kg/m^3 未満を確認した母材は、CSG 製造時に単位水量の範囲内 ($90\text{kg/m}^3 \sim 110\text{kg/m}^3$) にて管理出来ることが明らかになった。また、母材採取地、表面水量調整ヤード、一次ストックヤード、二次ストックヤードそれぞれにおいて、表面水量の測定を行い、適切な品質管理が行えることが確認出来た。

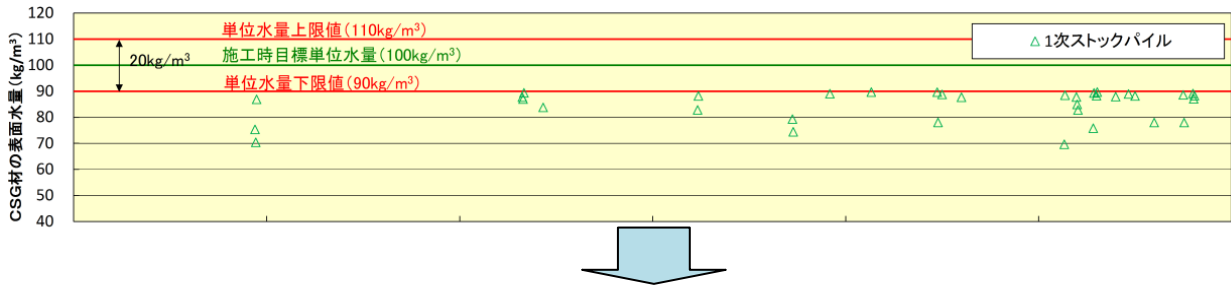
表-3 表面水量測定箇所

測定場所	測定頻度
母材採取地	1回/12時間
表面水量調整ヤード	1回/12時間
一次ストックヤード	1回/1日
二次ストックヤード	1回/1時間

【母材採取地あるいは表面水量調整ヤード】



【一次ストックパイル】二次ストックパイルに運搬する際の表面水量



【二次ストックパイル】CSG 製造設備に投入される際の表面水量

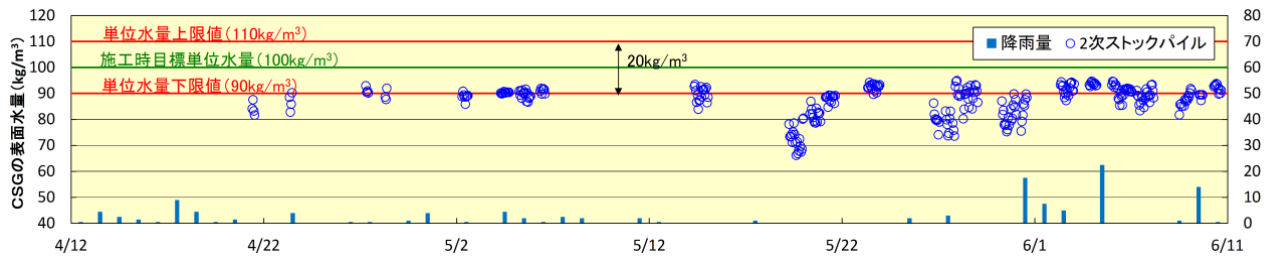


図-13 表面水量追跡管理状況(平成 28 年度)

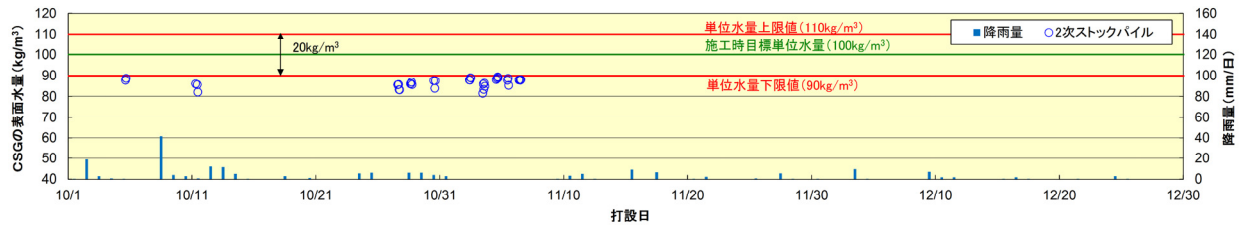


図-14 表面水量状況-ストックパイル形状見直し後(二次ストックパイル)

サンルダムでは平成 30 年度の事業完了に向けて、引き続き CSG、コンクリート打設を実施し、適切な品質管理に努めていきたい。

参考文献

- 1) 台形 CSG ダム技術資料作成検討会(2012)：台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料, (財)ダム技術センター
- 2) 若林英樹・入交泰文・中津隆文：サンルダムの設計・施工(その 3)－「発注後確認試験(その 3)母材の表面水量管理」及び「堤体材料の採取・製造・貯蔵計画」－, ダム技術, No359, pp27-49, 2016.8

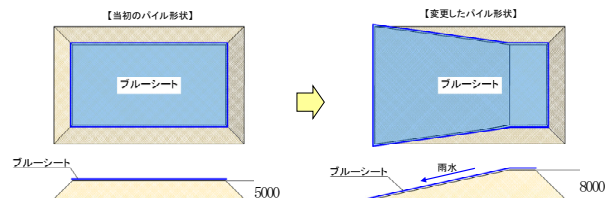


図-15 一次ストックパイル形状変更による降雨の浸透防止対策(左図:変更前、右図:変更後)