22. 連続・高速・大量CSG製造設備の開発と合理化システム -世界初となる台形CSGダム-

鹿島建設㈱ 機械部 ○ 青野 隆 鹿島建設㈱ 北海道支店 長谷 弘行 鹿島建設㈱ 関西支店 船迫 俊雄

1. はじめに

当別ダム建設事業本体工工事(北海道)は世界で初めて本格的な台形CSG(Cemented Sand and Gravel)ダムを施工する工事である。CSGはダムサイト近傍で入手が容易な河床砂礫や掘削ずりにセメント・水を加え攪拌・混合したものである。当別ダムでは、堤体基礎掘削敷並びに堤体直上流に賦存する河床砂礫を使用して約690,000m³のCSG打設を11.5ヶ月で完了した。

本編では施工の合理化策として開発した「連続・高速・大量CSG製造設備システム」並びに本システムの他工事への応用例について報告する。

2. CSG製造設備システムの開発

当別ダムのCSG打設のリフトスケジュールから、月最大打設計画量は約124,000m³、日最大打設計画量は7,250m³であり、CSG混合設備には計画上450m³/h以上の製造能力が必要不可欠である。

2.1 CSG

CSGについて以下に用語の定義を示す。

CSG母材: CSGに用いる岩石質の原材料

CSG材:原材料である母材を必要に応じてオー バーサイズの除去等によって所定の最 大粒径以下に調整した材料

CSG: CSG材にセメント、水を添加し混合し たもの

2.2 CSG製造設備

CSG製造設備は、CSG材・セメント・水の 各材料を貯蔵・供給輸送及び計量する設備、それ らを混合するCSG混合装置、製造したCSGを 輸送・貯蔵・積込する設備で構成されている。

CSG製造設備の主要装置であるCSG混合装置には、当社で実績を有し当工事向けに開発を進めてきたSPミキサ(ϕ 1,200mm)を採用している。

2.3 SPS+サ

SPミキサは、当社を含めた8社(独立行政法人水資源機構他)による共同特許技術であり、CSG工法混合用に開発した簡易な装置である。また、本装置は「CSG工法用混合設備小委員会(財

団法人日本ダム協会)」で承認された 14 機種の「D K系ミキサ」の一つであり、DK系CSG混合装置の区分では、「重力・動力併用型で形状がパイプ系」に分類される。

(1) SPミキサ使用実績

当別ダム工事以前の当社におけるSPミキサを用いたのCSG等の製造実績を表-1に示す。

表-1に示す各現場で採用したSPミキサは、混合筒径がφ500mm又はφ700mmの3連式である。CSG材、セメント、水を正転・逆転・正転の順に回転する混合筒を通過させ、攪拌・混合製造しいずれも良好な結果を得ている。

表-1 SPミキサの施工実績

工事名	製造量	混合筒径	能力
滝沢ダム	$17,600 \text{m}^3$	ϕ 500mm	$50 \text{m}^3/\text{h}$
稲葉ダム	$49,200 \text{m}^3$	φ 700mm	80m ³ /h
湯西川ダム	$19,500 \text{m}^3$	ϕ 700mm	80m ³ /h

(2) ø1,200mmSPミキサの開発経緯

当別ダムのCSG製造には、 $450m^3/h$ 以上の製造能力が必要なことから、表-1に示す従来設備の ϕ 700mmSPミキサでは製造能力が $80m^3/h$ 程度であるため、6基以上の設備が必要と想定された。

したがって、連続・高速・大量製造への対応と、 設備コストや製造手順などを勘案し、1 基当り $250 \text{m}^3/\text{h}$ 以上の製造能力を有する ϕ 1, 200 mm S P ミキサを開発した。

(3) 混合方法の開発

CSG材は、建設現場周辺で容易に得られる材料を分級・粒度調整・洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破砕を行う程度であることから、粒度は同一採取地の材料であっても変動する。したがって、CSG混合装置の開発目標は、「所定範囲内で粒度変化がある材料でも品質を確保できる混合方法」と「CSG材の粒度変化があっても 250m³/h 以上の製造能力を安定して確保できる混合方法」とし、これらの実現可能な設備を開発した。

① 製造能力・品質の確保

S P ミキサの使用実績から ϕ 500mm $\rightarrow \phi$ 1, 200mm とすることで断面積が 6 倍で製造能力は約 5 倍 ($50\text{m}^3/\text{h} \times 5$ 倍= $250\text{m}^3/\text{h}$) になると推定された。また、ある程度の粒度のばらつきがあっても品質を満足し、均一に混合できるしくみも併せて必要であるため、新たな混合方法を考案し試験機を製作し確認実験を行うこととした。

考案した混合方法は「セメントとCSG材の均一な混合」「給水タイミングと均一な給水」上部2連の混合筒はCSG材とセメントをドライミックスする工程、下部3連の混合筒はウエットミックスする工程とし、それらを組合せた新混合方式を開発した(図-1,写真-1参照)。

実証試験し製造したCSGから試料を採取して大型供試体を作製し、強度を確認した結果、製造能力は最大で 250m³/h 以上であることが確認された。

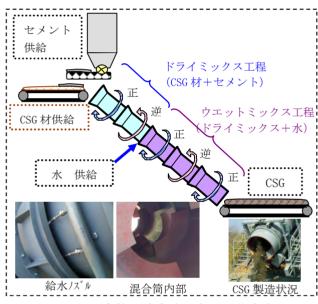


図-1 混合筒 5 連方式と各種設備内容



写真-1 混合筒 5 連方式の S P ミキサ

② 混合性能向上策

a. 5連混合筒の回転

実験によって正転・逆転・正転・逆転・正転 方式の有効性を確認し採用

b. 二種類のミキシング工程

実験によってドライミックス+ウエットミックス方式の有効性を確認し採用

c. 混合羽根の形状

実験によって最適な羽根高さ、幅、据付角度 を検証し設計

d. 円周式給水ノズル

ドライミックス+ウエットミックス方式の実現のため筒隙間からの給水と均等な水供給方法として円周式給水ノズル方式を考案

③ 付着防止策

- a. ホッパ、ライナ、羽根 コンクリート付着軽減ゴムの採用
- b. 混合筒内部

エアノッカによる付着物剥離

(4) 二種類のミキシング工程方式の有効性

ドライミックス有無の効果を確認するため、 実証試験で製造したCSGから試料を採取して 大型供試体(写真-2参照)を作製、強度を確認 することとした。なお、使用したCSG材は購 入した模擬CSG材に砂(細粒材)をブレンド し、当別ダムのCSG材粒度に近い状態とした (図-2参照)。

試験結果は、表-2に示すとおりドライミックスありの大型供試体による σ 28強度が、ドライミックス無しの結果より約12%向上する結果となりドライミックスの効果が確認された。



写真-2 CSG試験製造と大型供試体作製

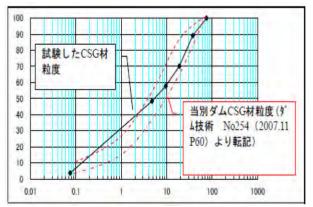


図-2 試験に使用したCSG材の粒径加積曲線

表-2 ドライミックス有/無の σ 28 強度結果 単位 (N/mm2)

試験数	ドライミックス無し	ドライミックス有り
1	4. 27	4. 90
2	4. 53	4. 84
3	4. 25	5. 15
4	4. 78	5. 55
5	4. 53	5. 35
平均	4. 47	5. 16

2.4 連続・高速・大量製造設備の特徴

(1) CSG製造設備の製造フロー

4m³ 級油圧ショベルで投入ホッパに投入された CSG材は、投入ホッパ下部のベルトフィーダで 引き抜かれ、ベルトコンベアを経由してSPミキサへ搬送される。一方、セメントは 30t サイロからロータリフィーダで切り出され、ベルトコンベア経由でCSG材上に供給される。

CSG材とセメントはSPミキサ上部2連でドライミックスされた後、途中給水され下部3連でウエットミックスという工程を経てCSGとなる。SPミキサから吐出したCSGは、更にベルトコンベアで移送されスライドコンベアを経由して積込ホッパに一時貯蔵された後、最終的に重ダンプに積込まれる(図-3,写真-5参照)。

(2) セメント安定供給手法の確立

30 t サイロ底部には、気密性に優れたロータリフィーダをセメント切出し装置として採用し、切出したセメント量が常時一定になるようロータリフィーダの回転数を制御している。

①セメント供給の不安定要因

30t サイロ下部では、すり鉢形状によるセメントのブリッジ現象の発生や、800t サイロからのセメント圧送による衝撃力の伝搬などによりロータリーフィーダ内へ降下するセメント密度や供給量が不安定な状態になっていると考えられる。

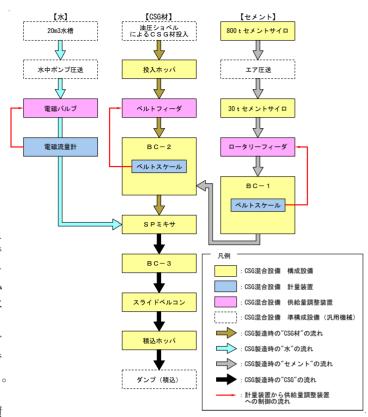


図-3 CSG製造設備の製造フロー

写真-3の供給量監視グラフはその時の3分間のセメント供給状態を示したもので現在値(緑線)が上下に振れて不安定になっているのがわかる。

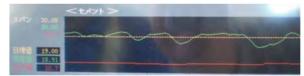


写真-3 セメント供給量監視グラフ (不安定時)

②対策方法

ロータリフィーダによるセメント切出し量を安



写真-5 当別ダムCSG製造設備(全景)

定させるためには、30t サイロ内で常に一様な密度のセメントになることが理想的である。したがって、セメントサイロに装着したエアレーション装置の作動時間、間隔やエアレーション圧などの最適パラメータ設定を行うことで、セメント残量に応じてセメント密度を定常的に安定する手法を見つけ、設定供給量に対する変動誤差1%以内を可能とした(特許申請中)。安定時のセメント供給量監視グラフを写真-4に示す。

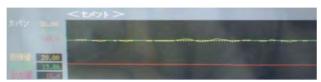


写真-4 セメント供給量監視グラフ (安定時)

(3) CSG製造総合監視システムの開発

CSG製造・搬送・一時貯蔵・ダンプ積込を 監視する総合監視操作室を設置した(写真-6 参 照)。各CSG製造設備の操作だけでなくセメン ト輸送設備、CSG材供給量、セメント供給量、 給水量、CSGホッパへの投入量などすべての 監視、操作をタッチパネル式のコントローラ上 で行うことができる。

また、CSG材の水分量確認ができるRI水分計モニタリングシステムやデジタルカメラ画像解析技術によるCSG材粒度モニタリングシステムを開発導入している。本システムによって、施工当日のCSG材の計測値が基準値に対してどのような状態にあるかリアルタイムに監視できるようになった。



写真-6 CSG製造総合監視システム

3. 合理化された設備・ICTの導入

連続・高速・大量製造されたCSGを効率よく 供給し、施工する機械的な工夫を施し合理化され た設備を紹介する。

3.1 CSG積込設備の合理化

(1) 確実なCSG積込設備

CSG運搬機械には55t級重ダンプトラック

を採用して投入台数を削減している。その際に、

積込ホッパに貯蔵されたCSGを重ダンプのベッセルへ確実に55t積荷できる工夫が必要であった。ホッパによる積込では、油圧ショベルによる積込のように積込んだ後、荷こぼれ防止やベッセル内の均一性確保のためバケットによる「荷押さえ」ができない。したがって、三次元CADでベッセル上の積荷形状をシミュレーションし、最適なホッパゲート数、ゲート間隔の設計を行うことで荷こぼれなく(写真-7荷姿参照)確実に55t積荷可能なホッパを導入した。



写真-7 55t 重ダンプベッセル荷姿

(2) CSG一時貯蔵・積込設備の工夫

1 基あたり 250m³/h の速度で連続製造するSPミキサを停止することなく安定運転するためには、SPミキサで製造されたCSGの搬送設備と積込ホッパ及び重ダンプへの積込手順が連続大量製造と連動したシステムとなっていなければならない。

図-4に示すように2台のCSGホッパを設けてCSGを交互に一時貯蔵、ダンプ積込を行うシステムを導入した。

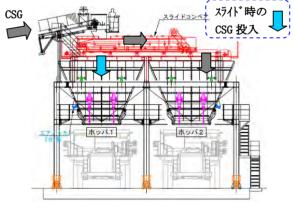


図-4 スライドベルコン式積込ホッパ

各CSGホッパへの投入振分けを担うのがスライド式のベルトコンベアで、一方のホッパが設定量に達すると自動的に移動し、他方のホッパへCSGを投入する。なお、ホッパにはロードセルを取り付けホッパ貯蔵量を管理して

いる。

3.2 ICT(情報通信技術)の導入

(1) 3 D-MCブルドーザ

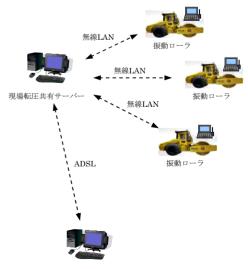
堤体上のCSG敷均しには三次元マシンコントロールを搭載したブルドーザを採用した。オペレータは粗均しを手動モードで行った後、自動制御モードで前後進の操作を行うだけで、設定された高さで確実に敷均しができて、効率的で高精度な作業が可能である(写真-8参照)。



写真-8 3 D - M C ブルドーザ施工状況 (2) 無線 L A N を活用した転圧管理システム

CSGの転圧管理には、振動ローラにGNSS 受信機を搭載した転圧管理システムを採用した。 運転室内のモニタには作業範囲の図面上で転圧回 数に応じて色が変化するので、オペレータは効率 良く、過不足なく締固め作業できる。

さらに、本システムに無線LANを組み合わせて、複数台の振動ローラが相互に転圧軌跡を共有化(図-5 参照)することで、効率よく転圧漏れがないように施工することが可能となった。また、施工管理者モニタシステムを採用することで運転手だけでなく、施工管理者及び現場事務所においてもリアルタイムに転圧回数を管理できる体制を構築した(写真-9 参照)。



工事事務所転圧共有サーバー

図-5 無線LANを活用した転圧情報共有化 システム



JV詰所における転圧管理パソコン

写真-9 施工管理者モニタシステム

4. 押え盛土材製造設備 (大滝地区地すべり対策 工事)

大滝地区地すべり対策工事(国土交通省近畿地 方整備局)は、大滝ダムに貯水した場合の斜面の 安定性低下を防止するための工事である。

対策工は抑止工と抑制工に分類され、抑制工は ダム湖浚渫・水中不分離性コンクリートにて置換 え並びに押え盛土工(CSG盛土)を行うもので ある(図-6,7参照)。



図-6 抑制工平面図



図-7 抑制工断面図

4.1 CSG製造設備

仮締切内部 (図-7 参照) に約 22.9 万 m^3 の押え盛 土工として使用する CSG の製造には、当別ダム で実績のある ϕ 1, 200mm SP ミキサ 5 連式を 1 基採

用した(写真-10参照)。



写真-10 CSG製造設備

(1) CSG製造

CSG材には複数個所の建設発生土並びに購入材の使用を計画しており、粒度の異なるCSG材を用いてもSPミキサ内で材料は十分に攪拌・混合され品質は良好であった。

当工事では 2010 年 9 月から製造開始し 2011 年 7 月までの 11 ヶ月間で約 20 万 m^3 の C S G 製造量を確保し工事は順調に進捗している。

(2) CSG盛土

SPミキサで製造されたCSGは、斜面に配置したベルトコンベア及びSP-TOM (Special Pipe Transportation Method)で約250m搬送され(図-8参照)、クローラダンプトラックで所定エリアまで移送後ブルドーザにて均一に敷均しされ振動ローラで締固められる(写真-11参照)。なお、当工事でも当別ダム工事同様ICT(情報通信技術)を導入し、施工の合理化を行っている。



写真-11 CSG盛土 施工状況

5. まとめ

当別ダムで稼働した2基のSPミキサ(ϕ 1,200mm×5連)を中核としたCSG製造設備は、不具合も無く順調に製造を継続した。本格製造は2009年6月から2010年9月の製造完了までで、堤体工と雑工(押え盛土工など)を合わせると11.5ヵ月(実働稼動日数271日)で約69.3万m³のCSGを製造した。日最大8,500m³、月間最大120,000m³の製造を成し遂げ、その能力を実証することができた。また、大滝地区地すべり対策工事のCSG製造設備にも1基のSPミキサ(ϕ 1,200mm×5連)が導入され、順調に製造している。

6. 参考文献

- 1) (財) ダム技術センター; 台形 C S G ダム施工・品質管理 技術資料
- 2) (財) ダム技術センター; ダム技術 No254, 2007年11月



図-8 CSG盛土製造設備・搬送設備