

JCMA 報告

平成 23 年度
機械施工と建設機械シンポジウム
優秀論文賞 (4)

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

青野 隆・長谷 弘行・船迫 俊雄

1. はじめに

当別ダム建設事業本體工工事（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 690,000 m³ 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 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 混合設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠である。

(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) 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（φ1,200 mm）を採用している。

(3) SP ミキサ

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「DK 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 CSG 等の製造実績を表一 1 に示す。

表一 1 に示す各現場で採用した SP ミキサは、混合筒径がφ500 mm 又はφ700 mm 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。

表一 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 m ³	φ500 mm	50 m ³ /h
稲葉ダム	49,200 m ³	φ700 mm	80 m ³ /h
湯西川ダム	19,500 m ³	φ700 mm	80 m ³ /h

② φ1,200mmSP ミキサの開発経緯

当別ダムの CSG 製造には、450 m³/h 以上の製造能力が必要なことから、表一 1 に示す従来設備の φ700mmSP ミキサでは製造能力が 80 m³/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 基当たり 250 m³/h 以上の製造能力を有する φ1,200 mmSP ミキサを開発した。

③ 混合方法の開発

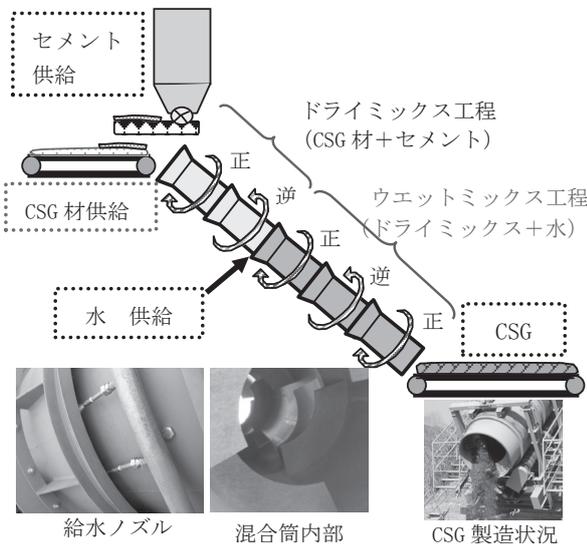
CSG 材は、建設現場周辺で容易に得られる材料を分級・粒度調整・洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破碎を行う程度であることから、粒度は同一採取地の材料であっても変動する。したがって、CSG 混合装置の開発目標は、「所定範囲内で粒度変化がある材料でも品質を確保できる混合方法」と「CSG 材の粒度変化があっても 250m³/h

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。

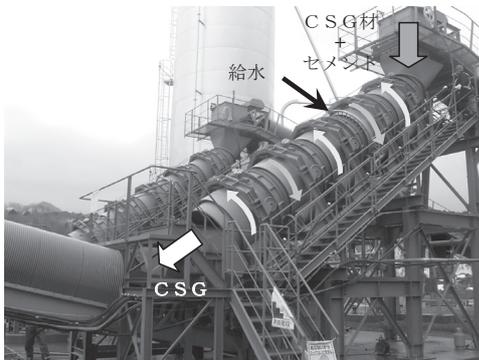
(a) 製造能力・品質の確保

SP ミキサの使用実績から $\phi 500 \text{ mm} \Rightarrow \phi 1,200 \text{ mm}$ とすることで断面積が6倍で製造能力は約5倍 ($50 \text{ m}^3/\text{h} \times 5 \text{ 倍} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$) 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(図一1, 写真一1)。



図一1 混合筒5連方式と各種設備内容



写真一1 混合筒5連方式のSPミキサ

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 $250 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上であることが確認された。

(b) 混合性能向上策

- ・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

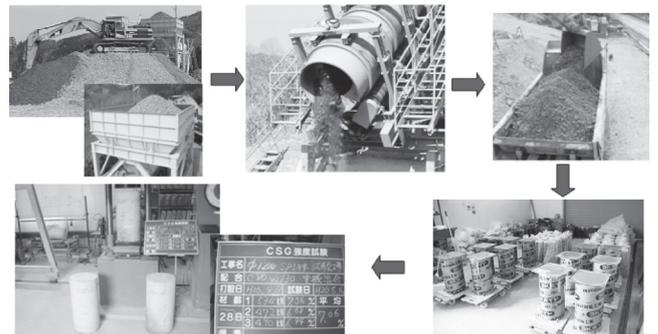
- ・二種類のミキシング工程: 実験によってドライミックス+ウエットミックス方式の有効性を確認し採用
- ・混合羽根の形状: 実験によって最適な羽根高さ, 幅, 据付角度を検証し設計
- ・円周式給水ノズル: ドライミックス+ウエットミックス方式の実現のため筒隙間からの給水と均等な水供給方法として円周式給水ノズル方式を考案

(c) 付着防止策

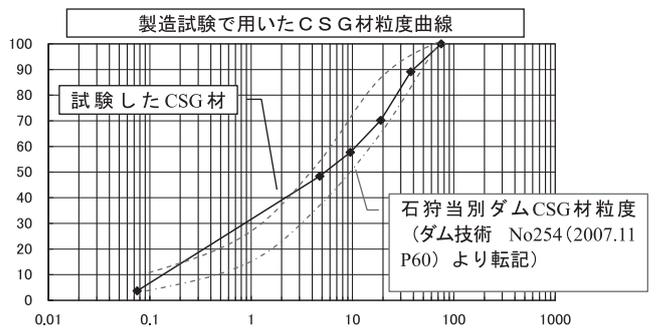
- ・ホップ, ライナ, 羽根: コンクリート付着軽減ゴムの採用
- ・混合筒内部: エアノッカによる付着物剥離

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(写真一2)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CSG材粒度に近い状態とした(図一2)。



写真一2 CSG試験製造と大型供試体作製



図一2 試験に使用したCSG材の粒径加積曲線

試験結果は、表一2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を確認された。

表一2 ドライミックス有/無のσ28強度結果

試験数	単位 (N/mm ²)	
	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

(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、ベルトコンベアを經由して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連でウェ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經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(図一3, 写真一3)。

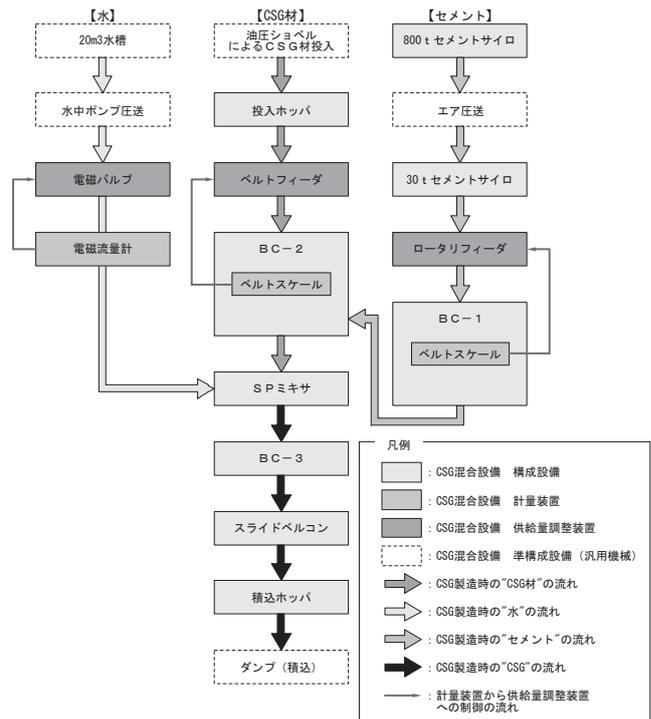
②セメント安定供給手法の確立

30t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。

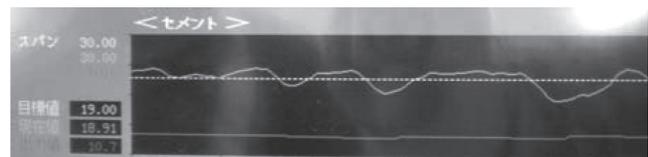
(a) セメント供給の不安定要因

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。

写真一4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



図一3 CSG 製造設備の製造フロー



写真一4 セメント供給量監視グラフ(不安定時)

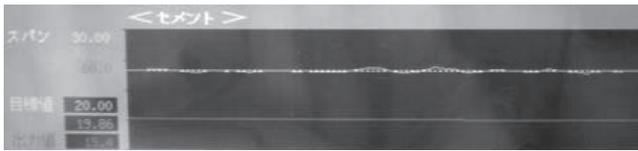
下に振れて不安定になっているのがわかる。

(b) 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定させるためには、30tサイロ内で常に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期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



写真一3 当別ダム CSG 製造設備 (全景)



写真一五 セメント供給量監視グラフ（安定時）

のセメント供給量監視グラフを写真一五に示す。

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（写真一六）。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。



写真一六 CSG 製造総合監視システム

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。

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。

(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（写真一七 荷姿参照）確実に 55t 積荷可能なホッパを導入した。

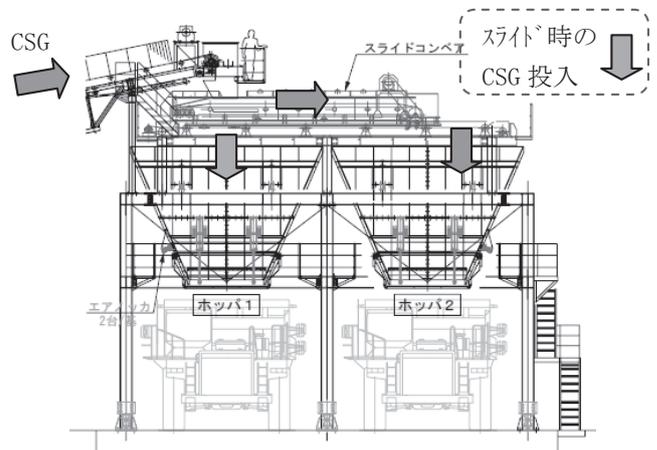


写真一七 55t 級重ダンプベッセル荷姿

② CSG 一時貯蔵・積込設備の工夫

1 基あたり 250 m³/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。

図一四に示すように 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。



図一四 スライドベルトコンベア式積込ホッパ

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。

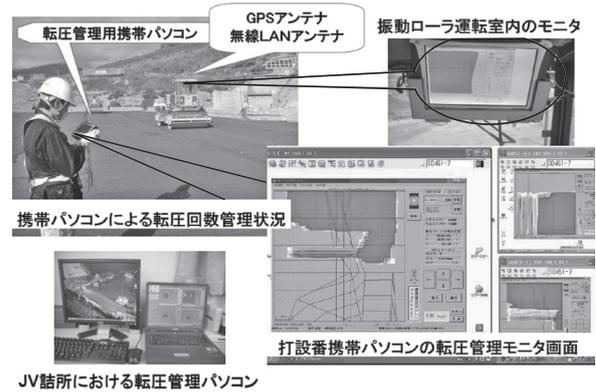
(2) ICT（情報通信技術）の導入

① 3D-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



写真一8 3D-MC ブルドーザ施工状況



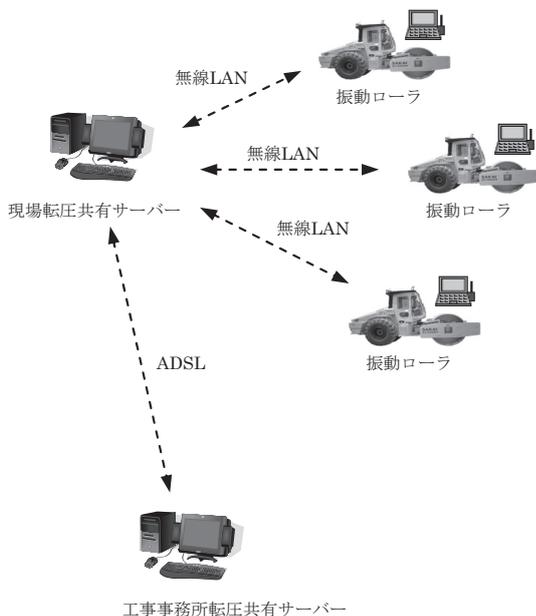
写真一9 施工管理者モニタシステム

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(写真一8)。

②無線 LAN 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。運転室内のモニターには作業範囲の図面上で転圧回数に応じて色が変わるので、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(図一5)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(写真一9)。

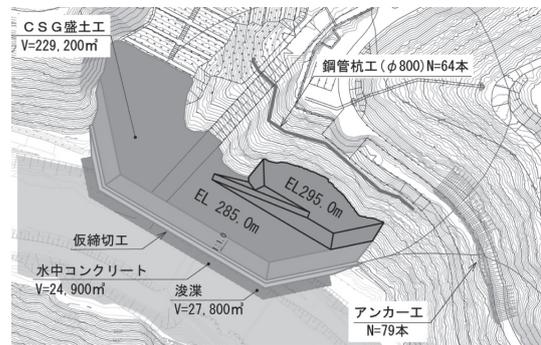


図一5 無線 LAN を活用した転圧情報共有化システム

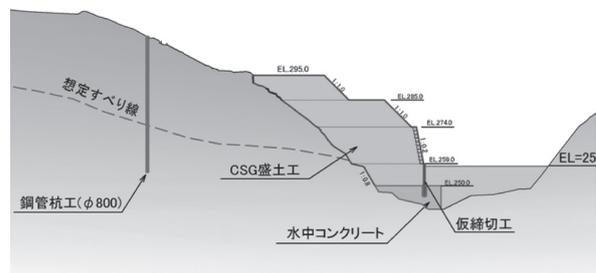
4. 押え盛土材製造設備 (大滝地区地すべり対策工事)

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(図一6,7)。



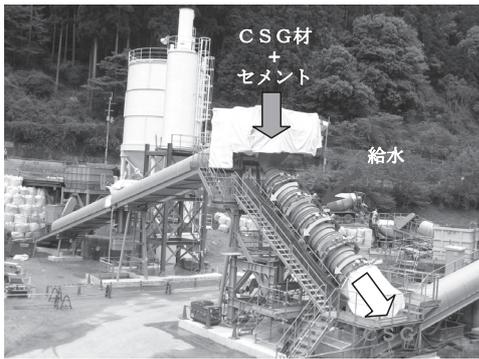
図一6 抑制工平面図



図一7 抑制工断面図

(1) CSG 製造設備

仮締切内部(図一7)に約22.9万m³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φ1,200mmSPミキサ5連式を1基採用した(写真一10)。



写真一10 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 m³ の CSG 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 250 m 搬送され (図一8)、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 (写真一11)。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。

5. おわりに

当別ダムで稼働した 2 基の SP ミキサ (φ1,200 mm × 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 ヶ月 (実働稼働日数 271 日) で約 69.3 万 m³ の CSG を製造した。日最大 8,500 m³、月間最大 120,000 m³ 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 (φ1,200 mm × 5 連) が導入され、順調に製造している。

JICMA

《参考文献》

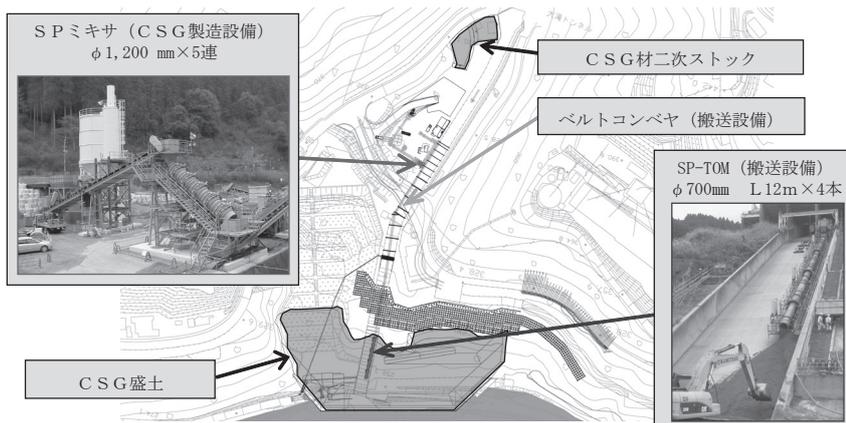
- 1) 財団法人ダム技術センター；台形 CSG ダム施工・品質管理技術資料
- 2) 財団法人ダム技術センター；ダム技術 No254, 2007 年 11 月

【筆者紹介】

青野 隆 (あおの たかし)
鹿島建設(株)
機械部

長谷 弘行 (はせ ひろゆき)
鹿島建設(株)
北海道支店

船迫 俊雄 (ふなばさま としお)
鹿島建設(株)
関西支店



図一8 CSG 盛土製造設備・搬送設備



写真一11 CSG 盛土 施工状況