

第 23 回 国土技術開発賞 入賞

供用中のダム再生工事の合理化工法 プレキャストブロックと CSG による減勢工新構造形式

〔受賞者〕 鹿島建設株式会社

〔本稿執筆者〕 ご かん 後閑 淳司, じゅんじ 藤澤 敦, ふじさわ あつし, あつし やす だ, やす だ かずひろ, かずひろ 安田 和弘

以下に、第 23 回 国土技術開発賞で入賞した「供用中のダム再生工事の合理化工法」を紹介します。

1. はじめに

近年、気候変動に伴い自然災害が頻発している。特に、河川氾濫・土砂崩れ・大雨による被害が激甚化している（写真－1）。これに対応する治水対策として、既存ダム改造等のダム再生事業が各地で行われているが、既存ダムを運用しながら行うダム再生事業は気象条件の影響が大きく、工程遅延や工費増加などのリスクが大きい。

このような背景の中で実施された徳島県の長安口ダム施設改造工事は、洪水調節能力の増強を目的として、既設ダムを切削して放流ゲート及びダ



写真－1 河川氾濫による被害状況

ム下流側に減勢工を増設する工事であった。工事のうち、減勢工増設はダムを運用しながらの施工であるため、施工時期は非洪水期に限られていた。また、大雨が予測され、貯水位が高い場合はダムからの予備放流を行う条件（治水容量は全量予備放流で確保）であったため、都度退避が必要となり、工程遅延が懸念された。

ダム再生事業を1日でも早く完了させて、国民の命と暮らしを守るためには、施工期間中もダム機能を損なうことなく、ダム放流による工程遅延リスクを最小限にするとともに、施工中のコンクリートの品質低下を防ぐ工法の開発が必要であった。

2. 技術概要

(1) 開発した減勢工構造形式

今回開発した技術は、減勢工を①水路面となる側壁表面をプレキャストブロック（以下、「PCaブロック」という）で構築、②側壁背面埋戻しを流水抵抗性があるCSG（Cemented Sand and Gravel）で打設、により構成する世界初の構造形式である（①と②の間はコンクリートを打設して一体化）。構造形式の全体像を図－1に示す。

(2) プレキャストブロックの構造仕様

通常のPCaブロックや型枠代替としてのハー

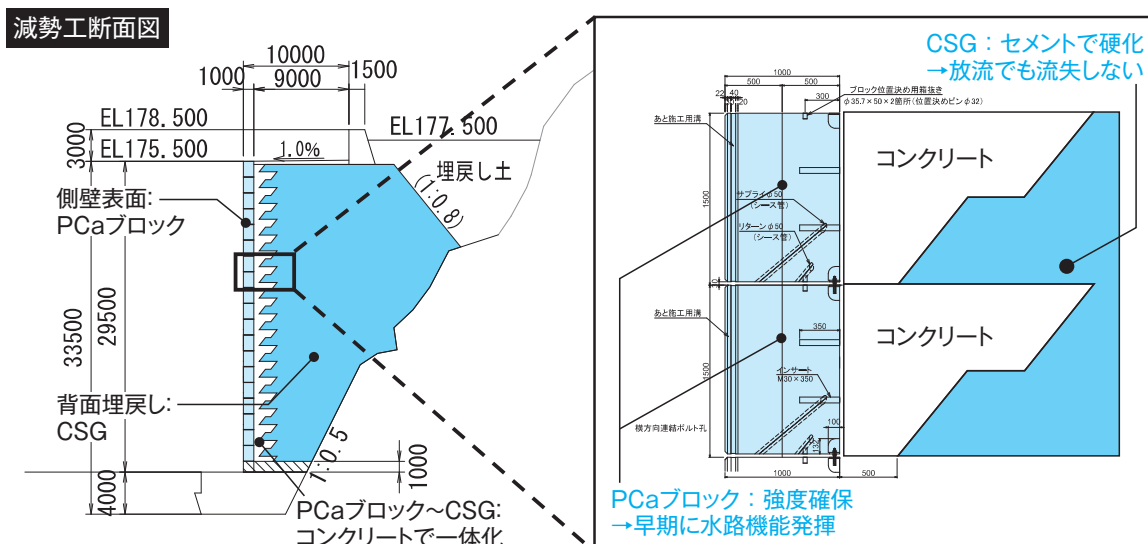


図-1 開発した減勢工の構造形式

プレキャスト部材の適用などは、これまでも多くの一般コンクリート構造物で使用されているが、ダム減勢工の側壁でPCaブロックが使用されたのは世界初である。

これまで使用されなかった背景としては、ダムゲートからの高速・大量放流によるエロージョン（浸食）、水圧に対する構造的な性能確保が困難であったためである。この課題を解決するために、開発技術では以下の対策を実施した。開発したPCaブロックの構造・継手の詳細を図-2に示す。

- ・PCaブロック自体の強度増大（通常：24 N/mm² → 開発技術：30 N/mm²）
- ・ブロック単体でも構造として成立するブロック形状の採用（厚さ：1,000 mm）
- ・ブロック背面にアンカーボルト（D32 × 650 mm）× 14 本 / 個を設置し、コンクリートを打ち込んでブロックの脱落を防止するとともに、ブロックとCSGとの一体性を確保
- ・ブロック表面の水路となる面以外は目荒らし処理をしてブロックとコンクリートの付着性能を向上
- ・ブロック同士の継手処理として、高い充填性を有する無収縮モルタルを注入（確実な注入を実施するために、継目の注入空間を考慮したブロック寸法と据付を実施（継目注入用の隙間：20 mm）。特に設置後は見えなくなるブロック

下部の注入を確実に実施するために、止水ゴム（硬質ゴム）をブロックに挟み込んで注入空間を確保するとともに、ブロック内部に注入管（サブライ管・リターン管）を埋設）

- ・ブロックの据付速度向上のために、製作時にブロック上面・下面に円筒形の箱抜き（φ 37.5 × 50 mm）を設け、上段ブロック設置時に上面箱抜き部に位置決めピン（φ 32）を差し込み、設置するブロック下面の箱抜きを組み合わせる構造を採用

なお、長安口ダムではPCaブロックを二次製品工場で製作したが、ブロック自体はほぼ矩形で単純な構造であるため、製造するヤードが確保できれば現場で製造することも可能である。

(3) 従来技術との比較

従来技術と開発技術における減勢工断面の比較を図-3に示す。

従来技術の場合、通常の型枠・足場を組み立てて減勢工側壁を構築する工法で実施するため、ダムゲートからの放流（以下、「ゲート放流」という）時には事前に全てを撤去する必要があった（開発技術を適用した長安口ダムの実績では、非出水期の減勢工施工時に15回/2シーズンの放流退避があった）。さらに、放流終了後には撤去した型枠・足場を再設置する必要があるため、二重の時

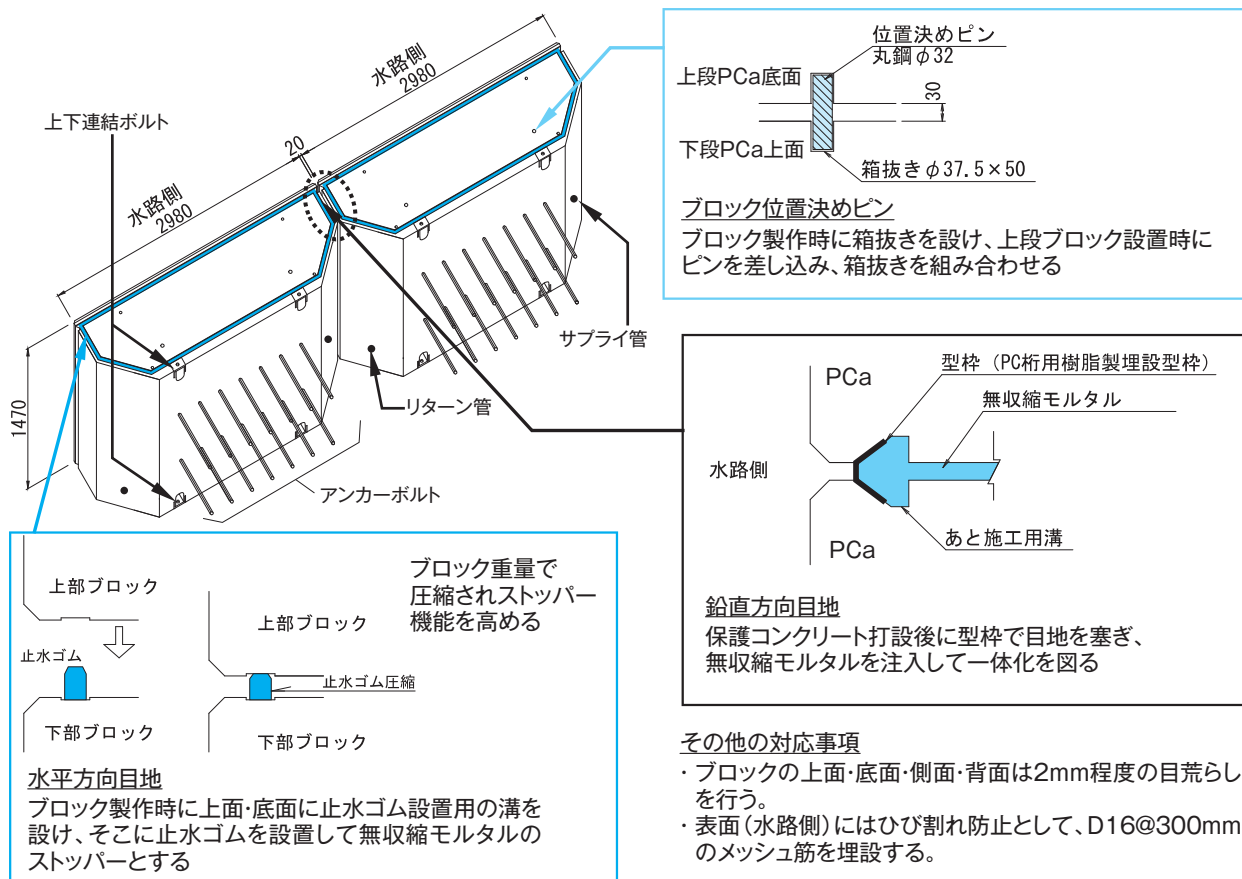


図-2 PCa ブロック 構造・継手詳細図

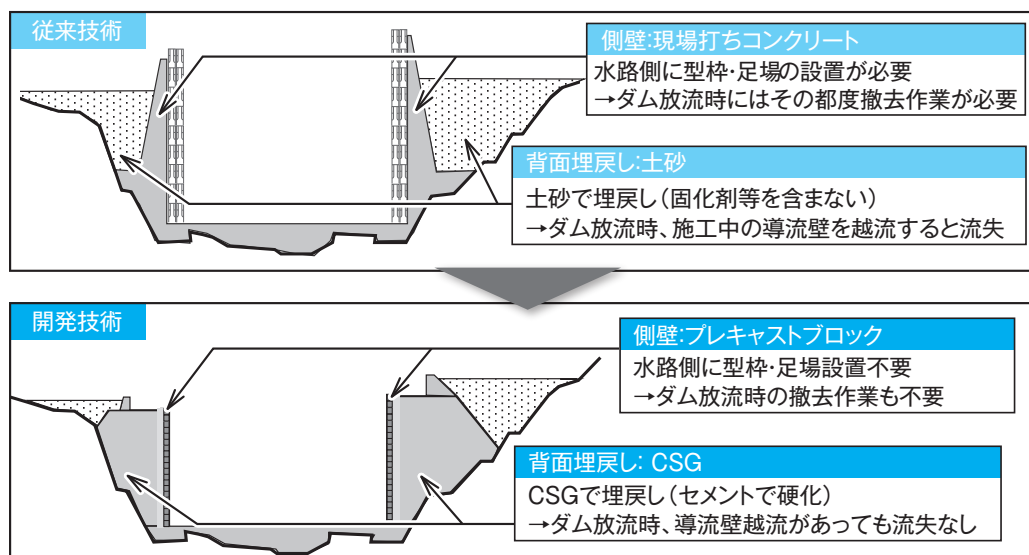


図-3 従来技術と開発技術の減勢工断面比較

間・手間を要することになっていた。

これに対して、今回開発した仕様の PCa ブロック採用により、通常の型枠・足場の設置が不要となるため、放流時の撤去作業を最小限の仮設物のみとすることができ、放流終了後の作業着手が

早期に実施できるようになった。

また、通常は、土砂等を使用する減勢工背面の埋戻しの代替としてセメントで硬化する CSG を使用することで、ゲート放流時における背面埋戻し材料の流失を防止した。さらに、大量・高速施

工が可能な CSG 工法を用いることで、PCa ブロックの設置進捗に合わせて施工を進められた（開発技術での構築速度は、4 日で高さ 1.5 m であった。従来技術でも側壁構築速度は同等だが、側壁背面側にも型枠・足場が必要であるため、背面埋戻しは後施工となる）。

3. 適用実績

(1) PCa ブロックの施工

PCa ブロックの設置状況を図-4 に示す。PCa ブロックはコンクリート二次製品工場で製造し、養生が完了したものから随時現場近傍のヤードまで運搬して仮置きした（コンクリート二次製品工場から仮置きヤードまでの運搬距離：約 80 km）。さらに、PCa ブロックの設置工程に合わせて、仮置きヤードから現場まで二次運搬した（仮置きヤードから現場までの運搬距離：約 25 km）。

現場までの運搬性を考慮して、ブロック 1 個当たりの重量は 10 t 以下（約 9.2 t）とした。なお、工場からの出荷前に製品を製造工場の品質規格に準拠して検査するとともに、仮置きヤード受入れ時にも外観・寸法等を検査し、規格不適合品は返品することで、現場への不良品納入を防止した。

現地での PCa ブロック設置時の揚重には、

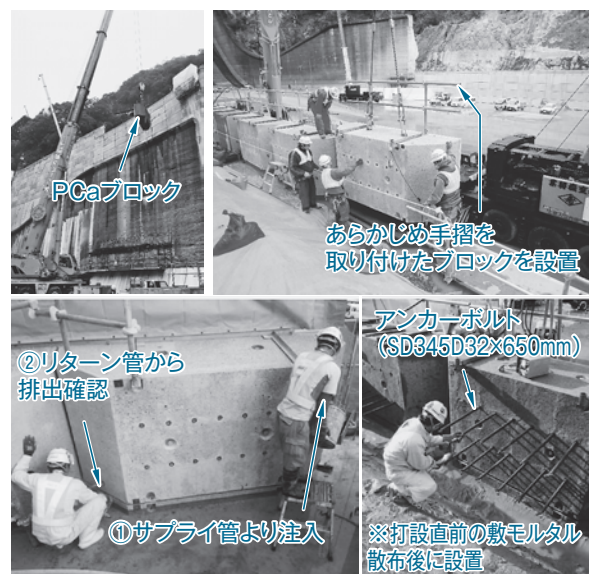


図-4 減勢工側壁用 PCa ブロック設置

360 t オールテレーンクレーン、200 t オールテレーンクレーンを用いた。PCa ブロックを設置箇所仮設置した後、位置・高さ等の座標、全体の通り、傾きを確認し、必要に応じて位置の微調整を行った。なお、PCa ブロック上面には、あらかじめ手摺を取り付けて転落防止措置を図ることで、高所での据付作業の安全性を確保した。

(2) 側壁背面埋戻し用の CSG 施工

背面埋戻し用の CSG 数量は 98,800 m³ であり、母材として大量の現地発生土が必要であったが、今回の施工では、長安口ダム貯水池内に堆積している河床砂礫を流用した。河床砂礫は、別途工事で地元業者がダンプ運搬してダム下流に置土還元するものである（図-5）。

なお、CSG 材としての河床砂礫の適用性を確認するために、事前に実施工で使用する材料・機械を用いて、試験施工（CSG 確認試験）を現場内のヤードで実施した。試験施工では、各施工条件（転圧回数、時間、CSG 単位水量、打設間隔、セメントペースト配合等）を要因として CSG を打設し、所定の CSG 密度・強度が得られる施工仕様を決定した。

CSG 用材料の製造・調整としては、運搬された河床砂礫（CSG 母材）を仮置きヤードにて 1.2 m³ 級スケルトンバケット付バックホウで粒径 80 mm 以下に粒度調整して CSG 材を製造し、減勢工施工期間中に造成したダムの下流側の CSG 製造ヤードに運搬した。CSG 製造ヤードには、施工量 2 日分となる 3,000 m³ の CSG 材を常時ストックした。

CSG 打設は昼夜連続で実施し、日当たり最大打設量は 1,600 m³、製造能力は 80 m³/h 以上が必要であった。そのため、CSG 製造には、60 m³/h・台の製造能力を有する土質改良機（SR-2000G）を 2 台使用して 120 m³/h の供給量を確保した。なお、CSG 材のストック及び製造を行う製造ヤードは、ゲート放流時には全面退避が必要であったため、迅速に退避できる自走式の土質改良機を使用した。



図－5 減勢工背面埋戻し CSG 施工フロー

また、CSG の固化材となる普通セメントについてはフレコンバックで供給し、現場貯蔵中の風雨対策としてセメント貯蔵用の大型テント（幅 14 m × 長さ 20 m × 高さ 5.3 m、最大仮置き量：約 270 t）に仮置きし、CSG 製造に合わせて 10 t トラック 2 台で製造ヤードまで運搬した。

土質改良機には RI 水分計を設置し、リアルタイムに得られる CSG 材の含水率から換算して表面水率を求め、その変動を常時監視し、水の添加

表－1 減勢工側壁背面埋戻し用 CSG 配合表

骨材最大寸法 (mm)	配合強度 (N/mm ²) 材齢 28 日	単位量 (kg/m ³)	
		水	セメント
80	3.1 以上	50 ～ 80	80

量を補正した。CSG の配合表を表－1 に示す。

製造した CSG は 10 t ダンプトラックにて運搬し、4.5 m³ 水平式バケットに積み替え、200 t オールテレーンクレーンにより側壁背面部の CSG 打設場所へ揚重した。左岸側における側壁背面の高標高部（EL162.50 m 以上）の施工では、下流のウイング部へ進入路の取り付けが可能となるため、打設場所までダンプトラック直送で CSG を運搬した。CSG の打設は以下の手順で実施した。

- ① セメントミルク（C：W=1：0.6、厚さ 5 mm）を打継面全面に散布
- ② CSG をクレーン・直接運搬で投入
- ③ 16 t 級湿地ブルドーザにより敷均し（敷均し厚さは転圧による沈下を考慮して 26 cm/層 × 3 層 = 78 cm）
- ④ 端部は法面バケット搭載型バックホウで整形
- ⑤ 敷均し後の CSG 平面部は振動ローラ（11 t 級、垂直振動型）で転圧（無振動 2 回、有振動 6 回）、端部法面は専用の端部法面締固め機で転圧（40 秒）、岩着部・狭隘部はプレート型端部締固め機、振動コンパクタ、1 t ハンドローラを用いて転圧
- ⑥ 目地切用バックホウ（振動目地切機：振動プレート付）により 15 m 間隔で重鉛引鉄板（厚さ 0.27 mm）を挿入して目地を形成
- ⑦ 表面仕上げ用の章動ローラで打設面を平滑仕上げ

(3) 施工期間中のゲート放流時の状況

減勢工施工期間中に、ゲート放流による退避を 15 回行った。施工途中の減勢工がゲート放流を受けたが、今回の技術を適用したことで、ダムの水路機能を確認した状態で施工を継続できた。なお、ゲート放流終了後に PCa ブロックや CSG の状態を詳細に確認したが、流失・変形・損傷等の

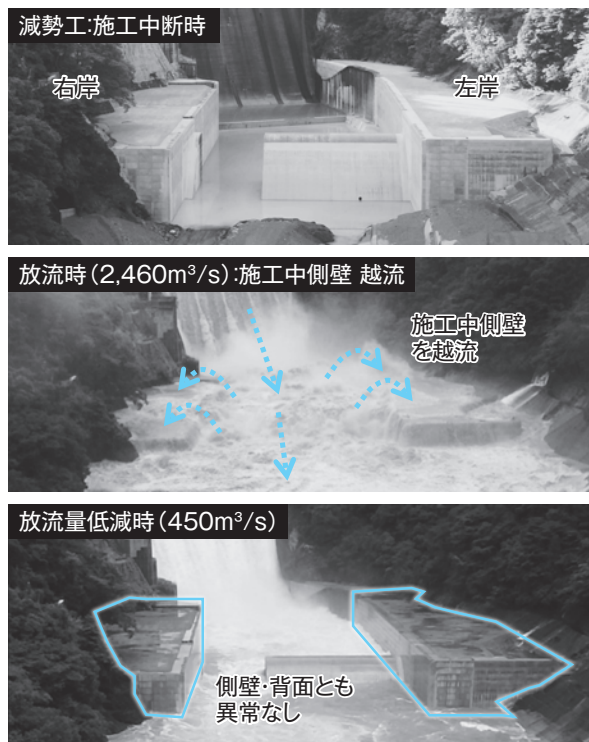


図-6 ゲート放流の状況

異常は一切確認されなかった (図-6)。

4. 開発技術適用の効果

(1) 工期短縮効果

前述したように、非出水期における減勢工の施工期間中でもゲート放流が複数回あった。従来技術の場合、その都度、型枠・足場の撤去・復旧、流失した背面埋戻し材料の再施工等が必要であり、大幅な工程遅延が生じていたと考えられる。また、現場打ちコンクリートで減勢工側壁を構築

していた場合には、強度発現が十分でない段階でゲート放流があると、それらが流失していた可能性もあった。

これに対して、開発技術の採用により、放流時の対応としては一部の仮設備の撤収・放流終了後の再設置・進入路の整正のみであった。さらに、PCa ブロックで側壁を構築していたため、コンクリートが流失することなかった。

減勢工側壁構築に関わる工程について、従来技術と開発技術の比較を表-2に示す（従来技術の工程は放流による退避・復旧に要した想定期間を含む）。開発技術を採用し、減勢工の施工期間を短縮したことによって、減勢工構築後の新設ゲート運用を約2年前倒しで開始できたことが分かる。

(2) 經濟的效果

開発技術を採用したことにより、以下に示す経済的効果が得られた。

① 全体工事費

現場打ちコンクリートの PCa ブロック化や背面埋戻し材料の CSG 化によって、材料コストは増大したものの、工期を大幅に短縮できるため、全体工事費としては大幅な削減が可能となった。開発技術を採用した長安口ダムの場合では、工事費を約 20% 削減できた。

② 現場施工管理費

製品納入時に品質が確認できている PCa ブロックを採用することにより、現場でのコンクリート受入れ試験や受入れ試験時に作製する供試体に

表一 2 減勢工側壁構築に関する工程比較（従来技術・開発技術）

[illegible]

※減勢工の施工は非出水期のみ可能

よる強度試験に関わる費用の削減が可能となった。長安口ダムのケースでは、約 550 万円の費用を削減できた。

③ 産業廃棄物処理費

現場打ちコンクリートを減らすことで、コンクリート打込み時に発生する残コンの産廃処理費用の削減が可能となった。長安口ダムのケースでは、約 180 万円の費用を削減できた。

上記以外にも、ゲート放流による再施工費（流失したコンクリートの再打込み費用、流失した背面埋戻し材料の再施工費用）等についても削減できたと考えられる。

5. おわりに

長安口ダムでは、施工期間中にゲート放流の影響を受ける条件下での施工であったが、開発技術の採用により、計画どおりに工程を進捗させることができ、新設ゲートの供用を開始できた。開発技術が採用されていなければ、計画どおりのゲート運用開始は非常に困難であったと考える。

同ダムは、本工事を実施する前の平成 23 年 7 月 19 日には台風第 6 号の影響で最大流入量：約 4,200 m^3/s に対して、最大放流量：約 3,900 m^3/s の記録が残っている。その際のダム下流域の被害は、床上浸水 3 棟、床下浸水 18 棟、水害区域面積 127 ha という甚大なものであった。これに対して、新設ゲート供用後の令和元年 8 月 15 日には、台風第 10 号の影響で上記の事例に匹敵する

流入量（最大流入量：約 3,900 m^3/s ）となったが、新設ゲートを活用して約 600 m^3/s の洪水調節を行い、最大放流量を約 3,300 m^3/s にすることで、無堤地区においても家屋浸水被害はなかった。開発技術の採用によって早期にゲート増設を完了させ、洪水調整能力を高めた効果である。

また、国土交通省で取りまとめられた「ダム再生ビジョン」や「ダム再生技術（海外向け PR 資料）」では、ダム再生技術の海外展開が活性化することが示唆されている。ダム再生では、既設ダムの供用を継続した状態で工事を実施するケースも多いと考えられる。減勢工工事を含む場合、短い工期でダム再生工事を完了させ、早期に効果を発揮させるためには、開発技術の適用が必須であると考えられる。

また、前述したように、開発技術で使用する PCa ブロックは特殊な形状ではないため、コンクリートの製造・供給が可能であれば、工事現場で製作することも可能である。さらに、CSG は河床砂礫等の現地発生材で製造できるため、これらを組み合わせた開発技術は海外でも高い適用性を有しているといえる。今回の開発技術が採用され、国際競争力アップの一助につながるように、さらなる細部の技術の効率化、コストダウンを図るべく、技術開発を進める所存である。

最後に、今回の技術の開発に当たって、多大なご指導・ご協力をいただいた国土交通省 四国地方整備局、一般財団法人ダム技術センターをはじめとする多くの関係者の皆さまに厚くお礼申し上げます。