

機械化施工におけるシミュレーション技術

—建設コスト縮減を目的とした製品骨材輸送設備の新たな試み—

黒川文貴

埼玉県秩父郡大滝村に建設中の滝沢ダムでは、建設コストの縮減を図るための新たな試みとして、従来ダムサイト近傍に設ける骨材調整ピンを省略して、製品骨材を骨材プラントストックヤードからコンクリート製造設備（バッチャプラント）に直接、ベルトコンベヤで輸送する方式を採用した。この方式の採用にあたっては

- ① 5種類の製品骨材（G1；150～80 mm，G2；80～40 mm，G3；40～20 mm，G4；20～5 mm，S；5 mm以下）を1系列のベルトコンベヤで輸送すること。
 - ② スtockヤードからコンクリート製造設備までの距離が約1 kmあること。
 - ③ コンクリート製造設備の受材ピン容量がコンクリート打設時間に換算して約50分しかないこと、
- 等様々な条件があり、コンクリート製造時に5種類の骨材を過不足なく輸送するため、あらゆる条件のシミュレーションを行い、実用化することに成功した。

本報文では実用化に至るまでの概要および技術的事項を報告するものである。

キーワード：ダム，コンピュータ，PC，シミュレーション，輸送設備，ベルトコンベヤ，骨材調整ピン，自動制御

1. 滝沢ダムの概要

滝沢ダムは、荒川水系左支川中津川の埼玉県秩父郡大滝村に建設中の多目的ダムで、堤高140 m，堤頂長424 m，堤体積約180万 m^3 の重力式コンクリートダムである。堤体の打設工法は、RCD工法とELCM（拡張レーヤ工法）を採用しており、平成15年11月で140万 m^3 のコンクリート打設を終えた。

現在では常用洪水吐き設備等の施工が開始され、ダム完成に向け進捗しているところである。

2. ダム施工機械設備の概要

滝沢ダムは、貯水池全体が急峻な地形に覆われており、ダム堤体近傍に施工機械設備を設置できる場所がない。そのため、ダムサイト左岸天端および上流の沢部を造成した場所に施工機械設備を配置した。施工機械設備の全景を写真-1に、施工機械設備の全体配置図を図-1に示す。

骨材プラントで製造した製品骨材は、製品骨材輸送設備（ベルトコンベヤ）で国道140号線を横断し、ダムサイト左岸天端に配置したコンクリート製造設備に直接供給され、コンクリート運搬・打込み設備によりダム堤体まで運搬される。

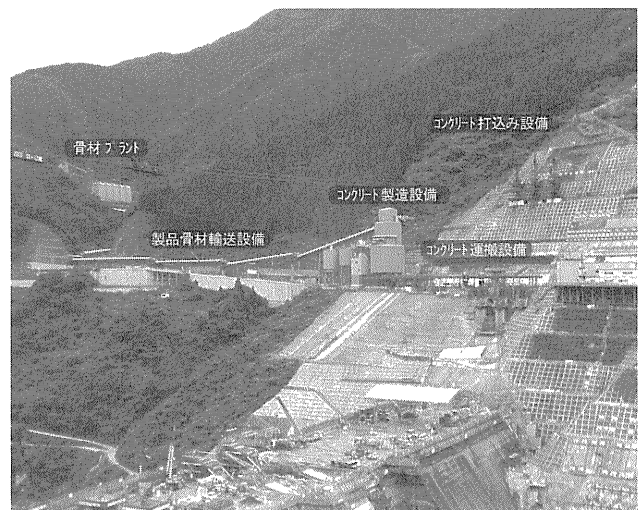
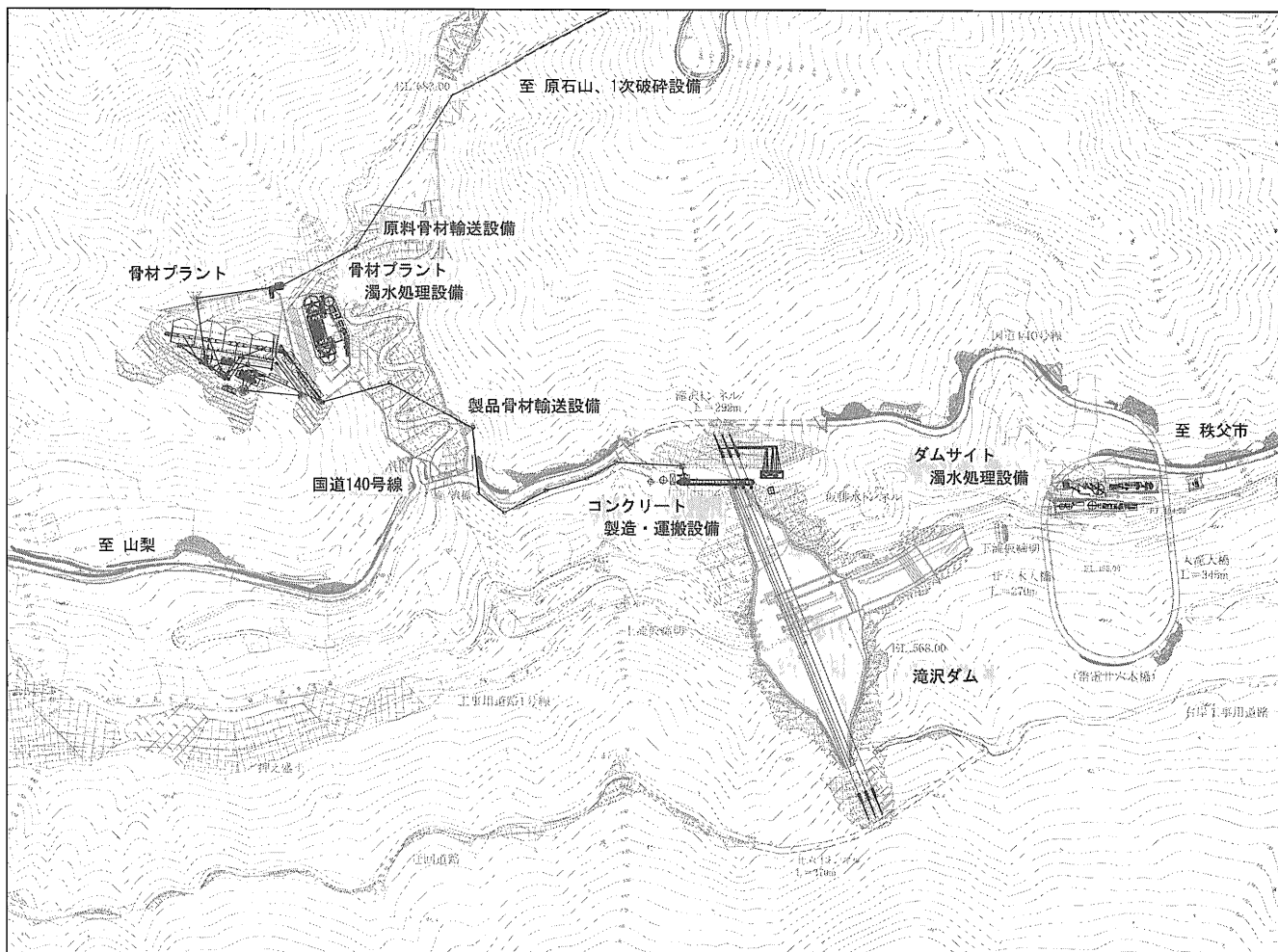


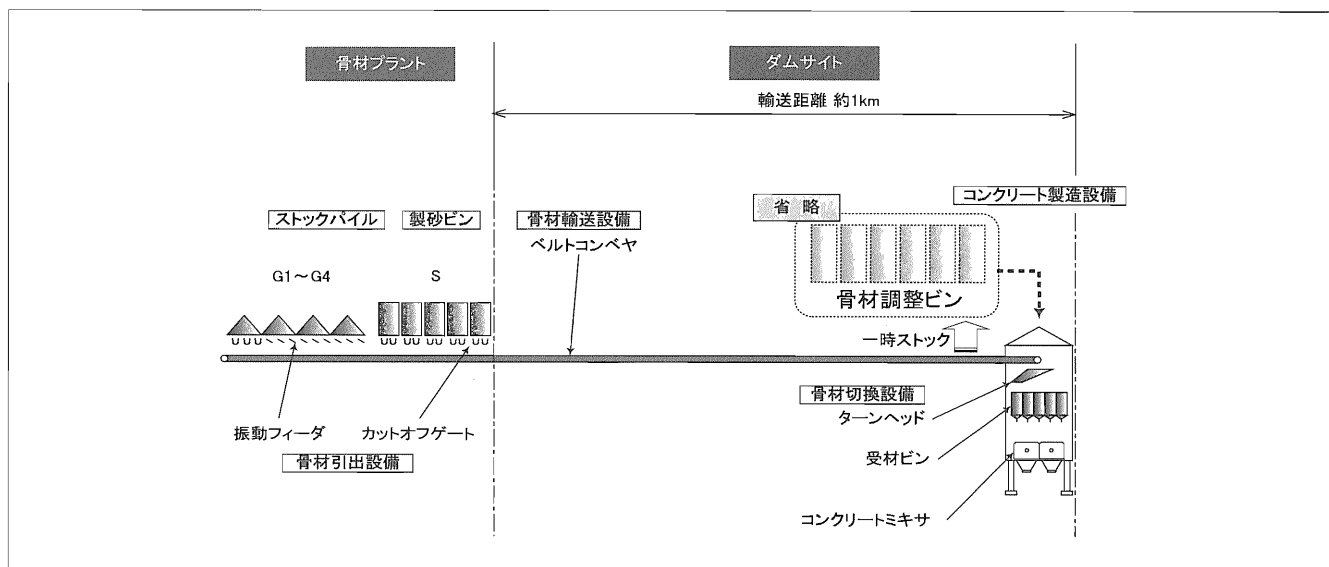
写真-1 ダム施工機械設備全景（堤体近傍）

3. 骨材調整ピンの省略

製品骨材輸送設備の概要を図-2に示す。一般的に、滝沢ダムのような日打設量が大きく、骨材の輸送距離が長い条件下では、骨材調整ピンをダムサイト近傍に設け、コンクリート打設量にして4～5時間分の骨材を貯蔵する必要があるが、本ダムでは新たな試みとして、この骨材調整ピンを省略する検討を行った。検討にあたっての基本条件を①～④に示す。



図一 施工機械設備全体配置図



図二 製品骨材輸送設備概要図

- ① コンクリート製造能力 (270 m³/h) が大きい。
- ② 骨材の輸送距離が長距離 (約 1 km) である。
- ③ 5 種類の製品骨材を 1 系列のコンベヤで輸送する。
- ④ コンクリート製造設備の受材ビン容量がコンク

リート打設時間に換算して約 50 分しかない。

4. 制御設計の条件

前述した基本条件を考慮し、設備の制御を検討した

結果、要求される制御内容は以下のとおりである。また、設計した制御システムの概要図を図-3に示す。

(1) Requirement 1 引出し骨材の選定

コンクリート配合により各骨材の使用量が異なるため、各骨材 (G1~G4, S) の輸送順序 (引出し順序) を固定せず、現在引出し中の引出し設備が閉状態になった時点で、受材ビンの最も低いレベルの骨材を優先的に引出す。

(2) Requirement 2 引出し量の決定

骨材の引出しは、いずれかの受材ビンの貯蔵レベルがHレベル (引出し開始点) を検出した場合に開始され、H2レベル (貯蔵目標点) に到達するまで行う。

(3) Requirement 3 引出し時間の決定

引出し時間は、引出し設備の状態と骨材投入速度および受材ビンの貯蔵レベルで計算した理論値で算定を行い、引出し回ごとにその都度計算して決定する。

なお、各受材ビンの貯蔵レベルは、常時監視するためリニア式レベルセンサ (超音波レベル計) により連続的に計測し、貯蔵量に変換する。

(4) Requirement 4 貯蔵レベル低下時の措置

現在、引出し中の骨材とは別の種類の受材ビンレベルがLレベル (Lモード切替点) を検知した場合、現在の骨材の投入を中止し、Lレベルを下回った骨材を、Mレベル (Lモード貯蔵目標点) に到達するま

で優先的に供給する。

(5) Requirement 5 貯蔵容量の算出

受材ビンは、骨材貯蔵容量が少なく、骨材の供給、消費による骨材貯蔵レベルの変動が大きいため、コンクリートミキサ等が緊急停止した場合に過供給 (オーバーフロー) してはならない。したがって、受材ビンの貯蔵量は、輸送中のコンベヤに存在する全ての骨材量を加算した量として算出する。

(6) Requirement 6 空荷時間の設定

5種類の製品骨材を1系列のベルトコンベヤにより輸送するため、異種骨材との混合を避ける必要がある。異種骨材を連続して引出す場合、コンクリート製造設備のターンヘッド (骨材投入切替え設備) の切替え時間があるため、骨材と骨材の間に空荷時間を設ける。

(7) Requirement 7 空荷時間の算出

空荷時間は各骨材の引出しパターン (骨材の引出し順序) ごとに異なるため、コンベヤ速度と引出し位置により算定し、引出し設備閉状態からのコンベヤ空運転時間を各引出しパターンごとに決定する。

(8) Requirement 8 輸送状況の把握

輸送中の骨材位置の監視は、各コンベヤに設置したフローセンサとコンベヤ速度および引出し設備の状態からトラッキングした理論値の双方で行う。

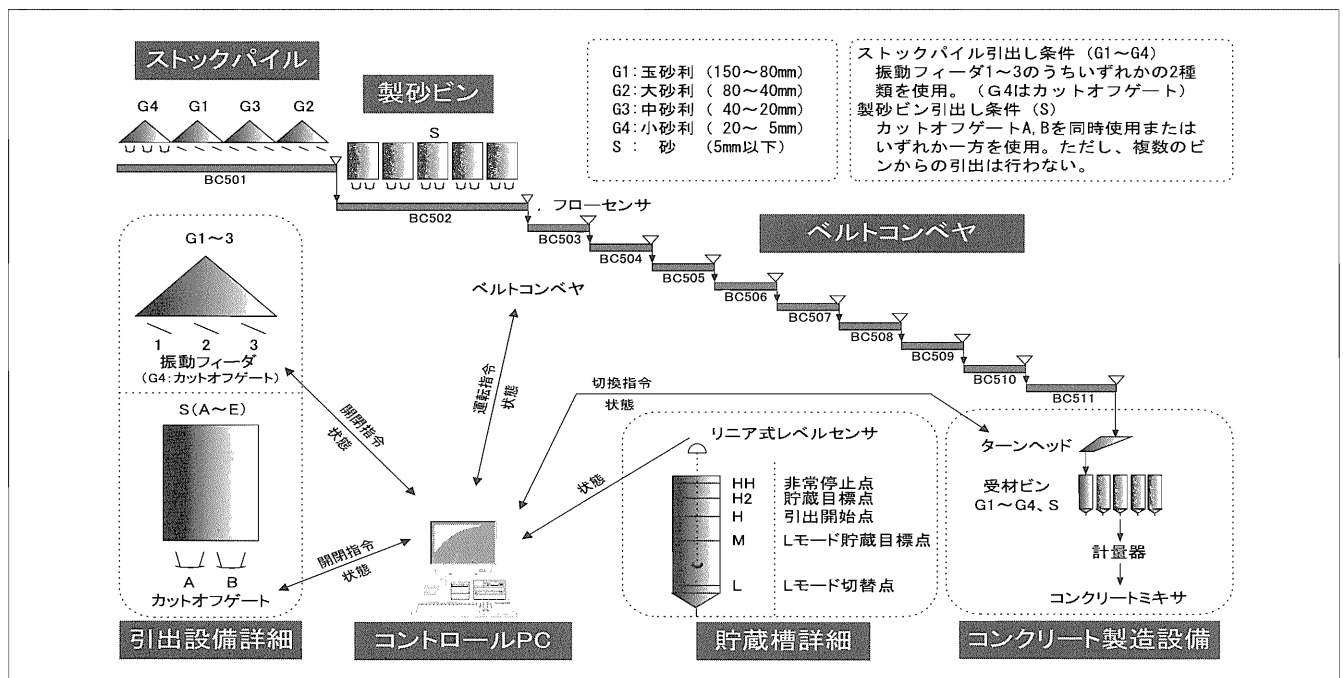


図-3 制御システム概要図

5. PCシミュレーション

前述した制御内容と現地での諸条件を仮想し、PCを用いてあらゆるパターンについてシミュレーション

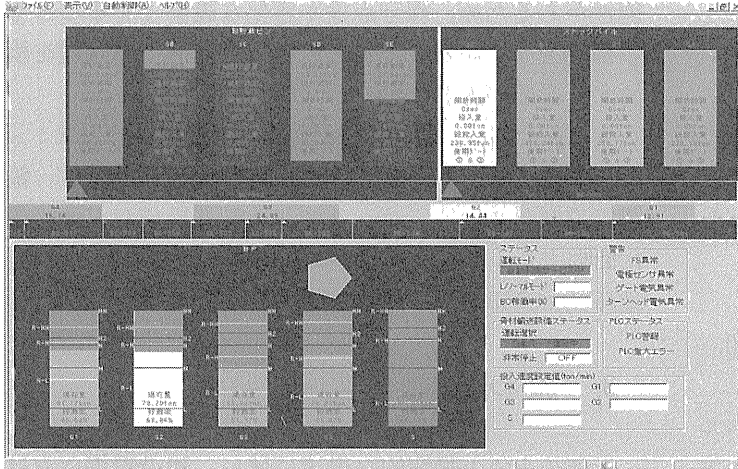


図-4 シミュレータディスプレイ

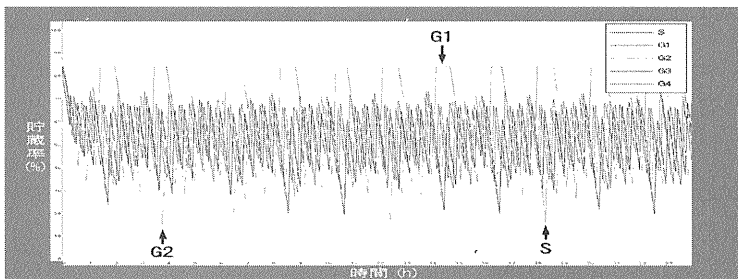


図-5 test pattern 1 (設定値 HH=95, H2=85, H=70, M=50, L=30)

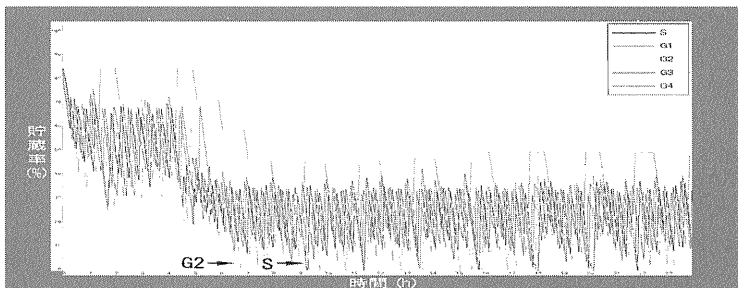


図-6 test pattern 2 (設定値 HH=95, H2=85, H=70, M=50, L=40)

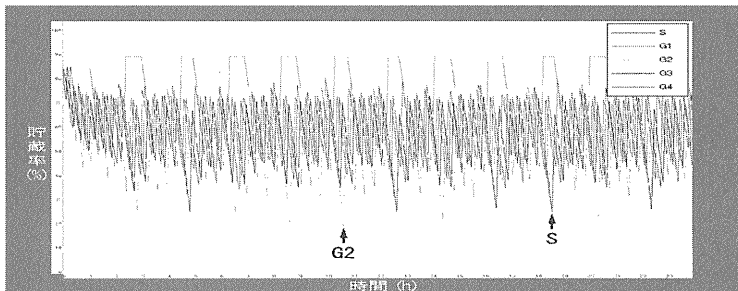


図-7 test pattern 3 (設定値 HH=95, H2=90, H=85, M=60, L=30)

を行った。

開発したシミュレータは、各条件を入力するとストックパイル（振動フィーダ・カットオフゲート状態）、製砂ビン（現存量、カットオフゲート状態）、コンクリート製造設備（ターンヘッド状態、受材ビンレベル）、ベルトコンベヤ（運転状態、コンベヤ上に存在する骨材位置）の各種情報を図-4のようにグラフィック表示できるもので、今回のシミュレーションでは受材ビンレベルHH, H2, H, M, Lの各設定値を変化させ、コンクリート製造設備の製造能力(270 m³/h)に追従した骨材の供給が行えるかを検証した。

図-5~図-7にシミュレーションで得られた結果の一例として、コンクリート打設時における受材ビンレベルの推移を示す。なお、本報文中で記載するシミュレーションの骨材消費速度は、本ダムでのコンクリート打設状況を仮想し、まずモルタル(M) 9 m³を出荷、次に構造物コンクリート(A1) 45 m³を出荷、続いてRCDコンクリート(B1) 210 m³を出荷し、後はこの繰返しといったRCD工法の代表的なコンクリート打設スケジュールで行った。本シミュレーションにおいて入力した基本パラメータを表-1に示す。

表-1 基本パラメータ

項目	基本パラメータ
コンベヤ速度	110 m/min
コンベヤ空荷最小運転時間	40 s
骨材比重	1.65
引出し設備閉閉時間	開時間：10 s, 閉時間：10 s
骨材投入速度	G1：10.5 t/min, G2：10.5 t/min, G3：13.9 t/min, G4：13.9 t/min, S：15.8 t/min
ターンヘッド回転速度	40 s
コンクリート製造設備受材ビン貯蔵量	G1：154.7 t, G2：137.4 t, G3：137.4 t, G4：137.4 t, S：203 t
コンクリート示方配合モルタル(M)(骨材使用量)	S：1,353 kg/m ³
構造物コンクリート(A1)(骨材使用量)	G1：447 kg/m ³ , G2：373 kg/m ³ , G3：373 kg/m ³ , G4：298 kg/m ³ , S：576 kg/m ³
RCDコンクリート(B1)(骨材使用量)	G2：607 kg/m ³ , G3：455 kg/m ³ , G4：455 kg/m ³ , S：576 kg/m ³

6. 検証結果

(1) test pattern 1 (設定値 HH=95, H2=85, H=70, M=50, L=30)

図-5により、骨材が不足することなく運

転されており、本シミュレーションにおいて実用化が図れることを意味する。しかし、G2の変動が非常に大きく、15%まで落ち込むことがわかる。

(2) test pattern 2 (設定値 HH=95, H2=85, H=70, M=50, L=40)

test pattern 1におけるG2の変動を押えるためLレベルの設定値を30%から40%に変更したのが本パターンである。

しかし、Lモード(L優先機能)が機能しすぎたため、全般的に変動域が下がり約6時間経過後からG2, Sにおいて骨材の荷切れ(払底)が発生している。Lレベルを上げた場合は骨材の追従が不可となった。

(3) test pattern 3 (設定値 HH=95, H2=90, H=85, M=60, L=30)

本パターンは、test pattern 1において、Lレベルはそのままだし、H2, H, Mレベルを上げたものである。

本パターンではG2, Sにおいて、数回Lレベル(30%)を下まわることが確認されたが、20%以下に落ち込むことはない。また、全ての骨材が概ね35%~80%で変動しており、test pattern 1に比べて変動域が上がったことを意味している。

これらのシミュレーション結果により、従来から必要とされてきた骨材調整ピンを省略することが可能と判断し、本制御システムの開発、現場での実用化を行った。なお、現場ではコンクリートの配合、打設状況等の外的要素が大きく変化するため、実機にもシミュレータを搭載し、各種のパラメータ設定時の参考データとして活用できるようにした。

7. 今後の課題

現在、コンクリート製造設備に供給される製品骨材

は、本設備により、全量が輸送できており、所定の輸送能力を確保し、骨材調整ピンを省略することにより、設備費のコスト削減が実現できたと言える。

しかし、骨材調整ピンは、設備故障時のバッファの役割も兼ねており、骨材調整ピンがないことにより、故障時に、直ちにコンクリート打設に影響を与える可能性があるため、保守点検が容易な設備とすることや予備品を充実することなどの維持管理面上の課題を検討する必要がある。

また、今回は、製品骨材の供給、消費におけるシミュレーションを、PCを用いて実施したが、今後は、輸送設備だけでなく、コンクリート製造設備など他設備においてもシミュレーションが可能と考えられるため、積極的に適用していくべきである。

8. おわりに

近年のPCの飛躍的な発達に伴い、建設現場における計画段階でのシミュレーションは容易なものとなってきている。今回実施した本ダムでの新たな試みが、後続するダム事業だけでなく長距離を輸送する設備等の参考となれば幸いである。

J C M A

[筆者紹介]

黒川 文貴 (くろかわ ふみたか)
独立行政法人水資源機構
荒川ダム総合事業所
機械課
機械第一係

