特集>>> 土工

大分川ダム建設工事

奈須野 恭 伸

大分川ダム建設工事は、大分県大分市の南西に位置する中央コア型ロックフィルダムを構築する工事である。本工事では、発注者から受領した 2D モデルを 3D 化し、それをもとに①設計照査・施工計画シミュレーション、②施工、③品質管理(維持管理への移行)、④出来形・出来高管理、の 4 段階において ICT を駆使した合理化を図り成果を上げている。また、堤体盛立工事においては、フィルター材製造における画像粒度による粒度管理の採用、埋設計器の無線化など様々な諸施策を実施し、盛立工事は順調に進捗している。

キーワード:中央コア型ロックフィルダム, ICT, CIM, MG·MC, アラウンドウォッチャー, G-Safe, クワッドアクセル無線化, 平面オルソー画像

1. はじめに

大分川ダムは、大分川水系七瀬川に建設中の堤体積 約 3,800,000 m³, 堤高 91.6 m, 総貯水容量 2,400 万 t の中央コア型ロックフィルダムである。ダムサイトは 左右岸斜面部とも地形が急峻であり、左岸上流側ロッ ク敷範囲では迫り出した尾根地形となっている。地質 は、中生代白亜紀の山中花崗閃緑岩と荷尾杵花崗岩を 基礎とし、それを被覆する第四紀の未固結の堆積物及 び火砕流堆積物で構成されている。堤体盛立材料とし ては、コア材が基礎掘削で発生した CL 級岩盤に相当 する岩ズリを-150 mm に破砕した粗粒材と、材料山 から採取した細粒材(閃緑岩 C1, C2 材, 花崗岩 C1 材) とを積層で盛り、ストックパイルで一定期間置いたも のをスライスカットして利用している。フィルター材 は原石山ロック材を-150 mm に破砕したものと、材 料山の細粒材とをベルトスケールにて重量管理し、 DK-Sミキサーで混合するプラント製造形式を採用し ている。コアについては1層30cm,フィルターは1 層 60 cm で盛立てを行っている。ロック材は-1,000 mm になるように発破をかけ、1 層 120 cm で盛 り立てている。盛立量も8月末で全体の50%を超え、 15,000 m³/ 日を超える盛立てを行っており順調に工事 を進めているところである。

通常フィルダムでは、基礎掘削から河床部の監査 廊、基礎処理(ブランケットグラウチング)、盛立、 埋設計器の一連のクリティカル工程をいかに合理的に 効率良く行うかということが、生産性向上のための重要な課題の一つであり、当工事でも品質・出来形・出来高管理を迅速に行うため、情報化施工技術を多数取り入れ、様々な工夫と対策を施しながら工事を行っている。

(1) 工事概要

工 事 名:大分川ダム建設 (一・二期) 工事

発 注 者:国土交通省九州地方整備局

施 工 者: 鹿島・竹中土木・三井住友特定建設工事

共同企業体

JV 比率 (鹿島50:竹中30:三井住友

20)

工事場所:大分県大分市大字下原地先

工 期:2013 (H.25) 9.3~2019 (H.31) 3.31



写真—1 完成予想鳥瞰図

(2) ダム諸元

形 式:中央コア型ロックフィルダム

堤 高:91.6 m 堤 頂 長:496.2 m 積:3,800,000 m³ 堤 堤 頂 標 高: EL201.6 m 総 貯 水 容 量: 24.000.000 m3 有効貯水容量: 22.400.000 m3 洪水調節容量: 14,300,000 m3

2. ICT 施工方針

大分川ダム建設工事では、仮想クラウドを設け、設 計時の情報(構造物,材料,地質等のデータ)に対し て、ICT 等を利用した施工で得られる情報を追加・ 更新していき、工事事務所・コンサルタント・施工者 で共有している。そのデータを施工管理および品質管 理に迅速にフィードバックさせるとともに、試験湛 水、維持管理までデータを引き継ぐことで、「設計-施工 - 維持管理」を一体化した CIM (Construction-Information-Modeling, Management) を有意義に活 用する計画である。

取り組みの目的としては以下の通りである。

(1) 生産性の大幅な向上







④出来形·出来高

管理

①設計照査.

施工計画シミュレ -ション

②施工

③品質管理(維持管理への移行)

- 1.転圧管理システム
- 2.打球探査法 (原石/岩盤の迅速判定技術)
- 3.盛立材料の粒度管理の合理化(画像粒度法)
- 4.現場密度試験における荷重計付バックフォウの利用 (ロードライト)
- 5.カルテシステムの採用
- 6.埋設計器のリアルタイム管理化
- 7. 堤敷地質情報を活用した基礎処理の管理
- ④出来形·出来高管理
- 1.UAVを使用した写真測量から出来高算出
- 2.地上3Dスキャナによる出来形計測

- 1.施工方法の妥当性のチェック
- 2.発注図面の整合性のチェック
- 3.バーチャル現場での施工計画

- 2.MG、MCを使った丁張レス
- 3.重機周囲安全警報システム(アラウンドウォッチャー)
- 4.重機の自動化(クワッドアクセル)
- 5.ダンプ運行管理システム

での一元的管理 (仮想クラウドでの共有)

(2) 管理(特に品質)の合理化

②上記を用いた、施工協議、設計へのフィードバッ クの迅速化

①施工により得られる各種情報の、構造物 Model

③建設生産物の品質トレーサビリティと維持管理段 階への活用 (湛水第三期への早期移行)

3. 取り組み内容

発注者より受領した2次元設計図面を3D化し、 ICT 施工に活用している。そして、その DATA を現 場の各状況に合わせ図―1に示す取組みを実施して いる。以降に主な実施例を上げる。

4. 実施項目例

- (1) 設計照査・施工計画シミュレーション
- (a) 施工方法の妥当性のチェック・発注図面の整合 性のチェック・バーチャル現場での施工計画

3D モデルを構築し堤内にある構造物等を透視化す ることで、配置される構造物の3次元的な相互干渉の 確認や2次元の断面・平面図では表現困難な物の確認 が容易となる (図-2,3)。施工着手前に3次元的な 位置関係を確認しておくことで、施工の待ち、手戻り

③品質管理(維持

管理への移行)

- 4.数量算出 (材料別土量照査)

- 1.GPSによるワンマン測量

- 6.埋設計器の無線化

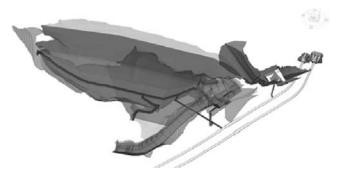


図-2 ダム内部透視図

をなくす。また、施工段階での施工方法の妥当性の確認を実施している。

(b) 数量算出(材料別土量調查)

2次元設計図面を、任意断面においてスライスを切ることで、設計と現地との乖離を瞬時に把握でき、材料廃棄を含め将来の材料採取のシミュレーションを立てることができる。

(2) 施工

(a) GPS によるワンマン測量

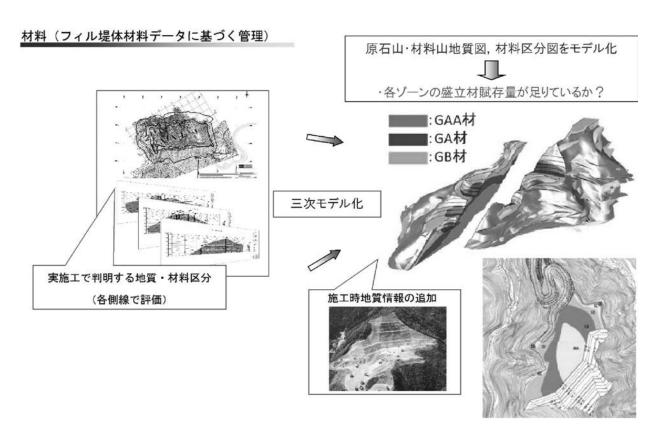
RK-T 補正データは VRS(仮想基準点)方式を採用しているため基地局不要である。また、軽量薄型タブレットの採用により、従来のものに比べ現場での取り扱いが格段に向上した。

(b) MG(マシーンガイダンス)·MC(マシーンコントロール)を使用した丁張レス施工

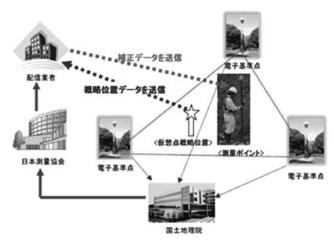
重機に GPS システムと 3D-CAD システムを搭載することにより、目的物の位置や形を運転席のモニターで確認できるシステム (図―4,5)。重機オペレーターは予め機械に入力された目的物データに基づきモニターに表示されるガイドに従うことによって、目標とする形状に掘削や整形を行うことができる。これにより均一な出来形を確保できるとともに、測量作業省略により機械稼働率が向上する。また、測量による位置出し確認のために人間が重機の作業エリアに近づく頻度が激減するため、安全性も向上する。大分川ダムではバックフォウ・ブルドーザーを合わせて 20 台近く



図-4 地質 3D モデルイメージ図 (原石山地質図)



図―3 地質 3D モデルイメージ図(原石山地質図)

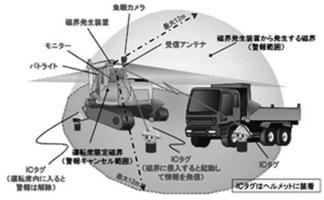


図─5 DATA 送信イメージ図

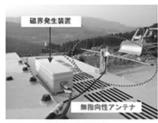
の機械にセットされており現場の丁張りが9割削減された。

(c) 重機周囲安全警報システム (アラウンドウォッチャー)

本システムは、重機周りに一定の磁界を発生させ、IC タグを携帯した作業員が磁界内に侵入した際、直ちに重機オペレーターに侵入を知らせるものである(図-6,7)。オペレーターは運転席に備えた警告灯、モニター、カメラ映像により重機周辺の状況を確認できるため、人と重機の分離、重機災害の防止に寄与する。作業レベルに合わせて、磁界の範囲を3段階に設定でき、侵入者の氏名をモニターに表示することができる。



図―6 電波発信イメージ図





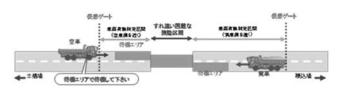
機器設置状況

操作室内モニタ画面

図一7 アンテナ設置状況・モニター画面

(d) ダンプ運行管理システム (G-Safe)

本システムにより、大型ダンプをはじめとする工事車両の安全な運行と作業効率の向上を図れるとともに、山間部等の狭隘な道路における大型工事車両同士の『すれ違い管理』が可能である(図一8)。また、クラウドにDATAを蓄積することで、フィルダムに必要な、「何を」「いつ」「どこから」「どこへ」「どのくらい」運んだのか、といった積載物の種別に応じた確実なトレーサビリティ管理を行っている。



狭隘区間でのすれ違い管理イメージ



図一8 設置状況・モニター画面

(e) 重機の自動化 (クワッドアクセル)

①振動ローラー

当ダムでは、汎用の振動ローラーに計測機器や後付自動化装置を設置することで、自動運転可能な機械となる。施工範囲を PC で指示することによって自動で転圧作業が行われる。本システムでは1台のタブレット PC で複数の振動ローラーを同時運転させることができる。また、本システムはリアルタイムで機械の位置や姿勢、周囲の状況を計測し、障害物検知や走路の安全性などの認識、自動停止、自動再開機能など安全性確保の面でも多くの機能を有している。

②ブルドーザー自動撒き出しシステム

当ダムでは情報化施工用ブルドーザーに計測機器や 自動化機器・装置を設置して自動運転可能な自律型自 動ブルドーザーに改造している。堤体における撒き出 し作業を対象として、実施工で取得したオペレーター 操作データを基に、撒き出し経路、ブレード高さの違 いによる材料の拡がり形状を予測するシミュレーショ

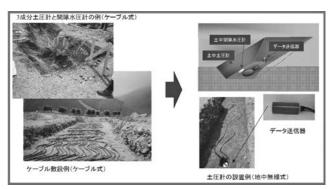


写真-2 無人自動ローラー稼働状況

ンデータを製作し、これらの情報を基に作業を行う実験を実施中である(**写真**-2)。

(f) 埋設計器の無線化

フィルダムには、多数の土圧計、間隙水圧計、層別 沈下計などの埋設計器が設置されている。従来は、これらの計器の設置箇所から地上のデータロガーまで、 計測用ケーブルでデータを伝送するのが一般的である (図一9)。本ダムでは3測線のうち1測線を地中無線 通信技術によって無線化し、堤体内に埋設された計測 器から地上(または監査廊内)までを無線でデータ伝 送している。本システムで使用されている超低周波の 電磁波では磁界成分が卓越しており、海中や地中において伝送損失が少ないという特徴がある。

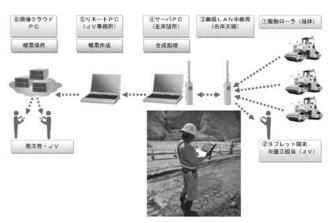


図─9 従来設置状況→無線設置状況

(3) 品質管理

(a) 転圧管理システム

本システムは、振動ローラーに GNSS 受信機を搭載して走行位置の座標値を表示・記録することにより、盛土の転圧回数を管理するものである(図一10)。盛土地盤を予め管理ブロック(メッシュ)に分割し、管理ブロックの転圧回数を表示・記録する。オペレーターは操作室内のモニターを確認しながら運転することで、リアルタイムに転圧状況を確認すること



図─ 10 DATA 受信イメージ図



図-11 転圧ローラー設備設置状況

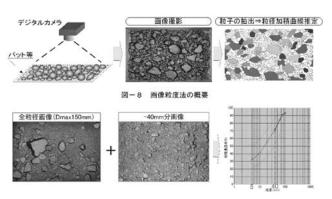
ができる。また、本システムは、無線 LAN を用いて 複数台の振動ローラーの転圧データ(転圧エリア及び 回数)を共有化し、1台単独の転圧回数のみならず複 数転圧データを合成することが可能である(図— 11)。

(b) 盛立材料の粒度管理の合理化(フィルター材製造における DK-S ミキサーの利用)

大分川ダムでは、フィルター材を DK-S ミキサーによってブレンド製造する (図―12)。また、製造後の品質確認として1回/15分の頻度で画像粒度法による粒度確認を実施する (図―13)。これまでにない高頻度の粒度監視により、フィルター材に関しても品質管理の合理化を行うことができる。当技術は CSG ダムの品質管理において実績があるものであるが、最大粒径の30%程度までが評価の限界である。一方、フィルター材は、フィルター則を確認するために5 mm 粒径を確認する必要があるため、大分川ダムでは新たな試みとして-40 mm 分にふるい分けした材料の画像を別途撮影し、対象となる材料を2段階撮影することで、5 mm 粒径の評価を実施している。



図-12 フィルター製造設備



図―13 画像解析イメージ図

(c) 埋設計器のリアルタイム管理化

埋設計器はダム施工から試験湛水 - 維持管理にいたるまで、フィルダムにおいては非常に重要な設備である。しかし、従来は SD カード等でデータ回収後、データ整理が必要であったため、地盤の異常な挙動や計器の故障・断線施工中の断線、停電等による DATA の未取得等のトラブルを見逃すことが少なくなかった。

大分川ダムではそれらに対処するために、施工中における埋設計器の情報をインターネット上に表示し、リアルタイムに確認できるシステムを構築した(図—14,15)。また、乾電池で駆動するロガーおよび中継対応特定省電力無線機との組み合わせにより従来困難であった盛立中の埋設計器自動観測を可能にした。

(d) 堤敷地質情報を活用した基礎処理の管理

基礎処理工事において平面オルソー画像と地質マップを重ねることにより、基礎岩盤状態、亀裂や断層に対する改良効果を3次元で視覚的に確認し、確実な改良を実施している(図—16)。

(4) 出来形・出来高管理

(a) UAV を使用した写真測量による出来高算出 UAV による写真測量を利用して高精度な3次元図

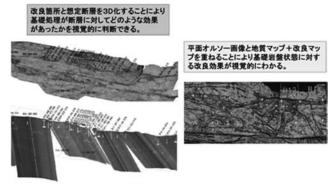
面を短時間で作成し、土量管理、工事の進捗管理に利

920MHz崇特定小雷力無線 11 111 により計測室受信機に送信 TOTAL PROPERTY. 計測室PC 受信機 無線通信中継器 -タロガー 現場側送信機 インターネット モニタリングシステム により閲覧 インターネット クラウドサーバ PCで閲覧

図―14 埋設計器システムフロー図

同一箇所に設置している土圧計・間隙水圧計のパターンを登録することで、 各箇所の土圧計・間隙水圧計・盛土高の推移・相関を容易に把握すること可能

図-15 計測 DATA 画面



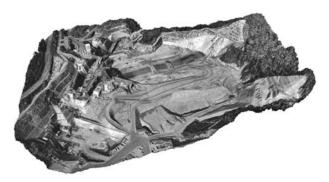
図―16 岩盤データー重ね合わせ図

用している。本システムは、空撮からデータ処理までの一連の作業において、ドローンやカメラ等の機器の選定、作業方法や使用ソフトの最適化を図ることで高精度な空撮測量を実現している(図—17)。3D 現状 DATA と 3D 地質 DATA を組み合わせることで、材料の残数量の把握及び出来形管理、堤体の外部変形管理の推移等の把握に利用することができる(写真—3)。

また、オルソー平面図と組み合わせることで設計と 現況の把握が容易になり、進捗状況把握を行える。



図-17 UAV 飛行状況



写真一3 写真解析 DATA

5. おわりに

大分川ダムでは19以上の項目で、ICTによる「飛躍的な生産性の向上」と「管理(特に品質管理)の合理化」を図り成果を挙げている。建設業は今後ますます高齢化が進み、そのうち携わる人材がいなくなることが懸念される。魅力ある建設業にしていき、女性も活躍でき、少人数で生産性をあげていくためには、便利なものは便利なものとして利用し、それに知恵を加えて、人が行うことを極力減らしていく取り組みが安全・品質にも寄与していく。そういうことを現場で日々考え、投資していくということが今後ますます重要であると考える。

J C M A



[筆者紹介] 奈須野 恭伸(なすの やすのぶ) 鹿島建設㈱ 九州支店大分川ダム JV 工事事務所 統括副所長