

ロックフィルダム盛立における ICT 土工管理システム導入の効果分析

松尾 健二*1・石突 寿啓*2・藤谷 雅義*3

An Analysis on the ICT Earthwork Management System for Rock-Fill Dam Construction

Kenji MATSUO, Toshihiro ISHIZUKI, Masayoshi FUJITANI



図-1 前田建設 ICT 土工管理システムの概念図

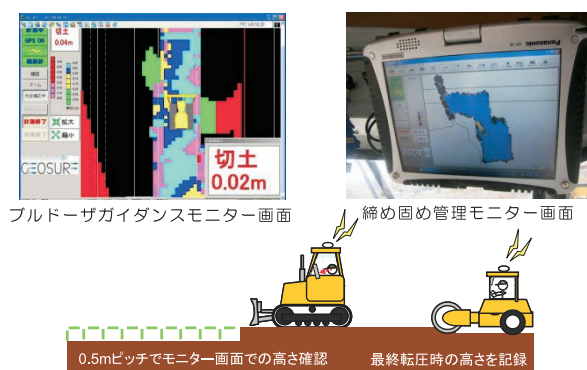


図-2 ブルドーザマシンガイダンスと GNSS 締め固め管理

研究の目的

北海道電力（株）京極発電所新設工事における中央土質遮水壁型ロックフィルダム(京極ダム)においてブルドーザ・バックホーのマシンガイダンス技術，GNSS による締め固め管理技術を包括し，3D データを基盤とした ICT 土工管理システムを導入し施工の合理化を推進してきた。ロックフィルダムは材料のゾーン境界が厳密に管理されており，施工では施工厚さ・転圧回数の管理が重要である。また，施工現場は北海道の中でも有数の豪雪地帯であるため，施工可能期間が短く効率的な施工が求められていた。そこで，筆者らは本システムの導入にあたり施工精度や施工能力に与えた影響を把握するために様々な検証をおこなった。

本稿では，コア部盛立での GNSS による締め固め管理技術，ブルドーザマシンガイダンス技術，リップラップ整形におけるバックホーマシンガイダンス技術について管理の省力化・施工精度の向上・施工能力の向上といった効果を検証した結果を報告するものである。

技術の説明

本システムは，堤体や現況地形の 3D データを基盤として作成した施工指示データを GNSS や加速度センサー等を搭載した重機に転送し，オペレータが施工指示データや施工結果をモニターで確認しながら施工する技術である。ブルドーザマシンガイダンスではコア材の敷き均し厚さ，バックホーマシンガイダンスではリップラップの整形形状を指示し，GNSS 締め固め管理では，重機の軌跡から転圧回数をカウントし，オペレータに指示する。

以上の技術の施工精度・施工能力の検証のために，従来の丁張りによる施工を重機セット・オペレータ等の条件を固定して比較を行った。

主な結論

- ・ 施工精度向上の検証としてブルドーザガイダンスでのコア材盛立において，材料境界線の施工では従来と同程度の施工精度を確認し，施工厚の精度は従来よりも高精度に施工が行えた。ロック材の盛立，バックホーガイダンスでのリップラップ整形では材料の粒径が大きく施工精度に差が確認できなかった。
- ・ 施工能力向上の検証として，ブルドーザガイダンスでのコア材盛立においては約 10%，バックホーガイダンスでは約 20%の施工能力の向上が確認できた。また，これらの施工においては丁張り設置などの測量費用の削減からも導入効果の高さが確認できた。

*1 本店 技術研究所 基盤技術研究グループ

*2 北海道支店 京極ダム作業所

*3 本店 総合企画部

ロックフィルダム盛立における ICT 土工管理システム導入の効果分析

松 尾 健 二^{*1} 石 突 寿 啓^{*2}
藤 谷 雅 義^{*3}

要 旨

北海道電力（株）京極発電所新設工事における中央土質遮水壁型ロックフィルダム(京極ダム)においてブルドーザ・バックホウのガイダンス技術，GNSSによる締め固め管理技術を包括し，3Dデータを基盤としたICT土工管理システムを導入し施工の合理化を推進してきた．ロックフィルダムは材料のゾーン境界が厳密に管理されており，施工では施工厚さ・転圧回数の管理が重要である．また，施工現場は北海道の中でも有数の豪雪地帯であるため，施工可能期間が短く効率的な施工が求められていた．そこで，筆者らは本システムの導入にあたり施工精度や施工能力に与えた影響を把握するために様々な検証をおこなった．

本稿では，コア部盛立でのGNSSによる締め固め管理技術，ブルドーザマシンガイダンス技術，リップラップ整形におけるバックホウマシンガイダンス技術導入に伴う管理の省力化・施工精度の向上・施工能力の向上といった効果について検証した結果を報告するものである．

キーワード ロックフィルダム／土工／情報化施工／マシンガイダンス／GNSS／3DCAD

目 次

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 4. ICT土工管理システムの効果検証 |
| 2. 京極ダム概要 | 5. まとめ |
| 3. ICT土工管理システムの概要 | |

ANALYZING ADVANTAGE OF EARTHMOVING MANAGEMENT SYSTEM USING ICT FOR ROCK-FILL DAM CONSTRUCTION

Kenji MATSUO
Masayoshi FUJITANI

Toshihiro ISHIZUKI

Synopsis:

The authors have applied the “ICT Earthwork Management System”, which has heavy machine guidance system and compaction control system, for the earthwork of center-core type rock fill dam in Kyogoku Hydropower Project.

This project was located in the west area of Hokkaido where is well known of heavy snowfall. Therefore high efficiency of work is requested due to short workable period.

The authors have carried out several measurements for the effect of this system on the work accuracy and work efficiency.

This paper describes the results of these measurements.

* 1 本店 技術研究所 基盤技術研究グループ
* 3 本店 総合企画部

* 2 北海道支店 京極ダム作業所

1. はじめに

近年、建設業界において、情報化施工技術の開発が進んでいる¹⁾。特に、土工事においては、3DCAD から3次元の設計データを作成し、トータルステーション・GPS等の測量機器と重機を組み合わせた ICT(Information and Communication Technology)施工の事例も増加している。さらに国土交通省が各地方整備局・北海道開発局にブルドーザ・バックホウのガイダンス技術、GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球測位システム) による締め固め管理技術などの ICT 施工技術を一般化推進技術として通知した²⁾。これにより情報化施工技術の導入がさらに増加することが予想され、導入効果を確認・把握することが重要になると思われる。

北海道電力(株)京極発電所新設工事における中央土質遮水壁型ロックフィルダム(京極ダム)において、ブルドーザ・バックホウのマシンガイダンスシステム、GNSS による締め固め管理システムを包括し、3D データを基盤とした前田建設の ICT 土工管理システム(図-1)を導入し施工の合理化を推進してきた^{3), 4)}。ロックフィルダムの施工では、材料のゾーン境界管理および施工厚さ・転圧回数の管理が重要である。また、施工現場は北海道の中でも有数の豪雪地帯であり年間盛立施工可能期間が5月中旬から10月中旬の約5ヵ月間に限定されるため、効率的な施工が求められた。そこで、筆者らは本システムの導入が施工精度や施工能力に与える影響を把握するために様々な検証をおこなった。

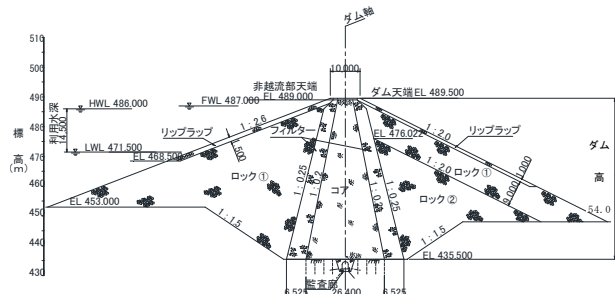


図-2 京極ダム標準断面図

本稿では、コア部盛立での GNSS による締め固め管理技術、ブルドーザマシンガイダンス技術、リップラップ整形におけるバックホウマシンガイダンス技術導入に伴う管理の省力化・施工精度の向上・施工能力の向上といった効果について検証した結果を報告するものである。

2. 京極ダム概要

京極発電所は、最大使用水量 190.5m³/s、有効落差 369m を利用して、最大出力 60 万 kW の発電を行う北海道で初めての純揚水式発電所であり、このうち下部ダムにあたる京極ダムは中央土質遮水壁型ロックフィルダムである。表-1 に示すダム諸元より、堤高 54.0m、堤頂長 332.5m、堤体積 1,318 千 m³ である。京極ダムの標準断面図を図-2 に示す。

平成 23 年～平成 24 年の盛立施工において本システムを導入し、従来施工方法と比較検証した。

表-1 ダム諸元表

ダム諸元			
一般	ダム名	京極ダム	
	河川名	尻別川水系 ペーペナイ川 及び美比内川	
貯水	流域面積	流域面積 51.3km ² (湛水面積 0.39km ²)	
	総貯水量	5,546 千 m ³ (有効 4,120 千 m ³)	
堤体	型式	中央土質遮水壁型フィルダム	
	堤高	54.0m	天端標高 EL489.5m
	堤頂長	332.5m	非越流部 EL489.0m
	堤体積	1,318 千 m ³	法勾配 上 1:2.6 下 1:2.0



図-1 ICT 土工管理システムの概念図

3. ICT 土工管理システムの概要

ICT 土工管理システムは、3DCAD を基盤とした統合 DB により施工計画、施工、品質管理の合理化・高精度化を目的としたシステムである。統合 DB を活用して様々なデータ管理とブルドーザ・バックホウのマシンガイダンスシステム（以下 MG）、GNSS 締固め管理システムの運用管理を行う。また、統合 DB は現場内に構築された無線 LAN ネットワークを介して各システムと連携しており、施工によって得られた情報は逐次 DB に統合され、遠隔で施工状況確認や施工結果の帳票作成が可能である。

本システムの導入によって、①施工(業務)の効率化、②品質管理の高精度化、③盛土品質の見える化、④現場作業の安全性向上といった効果が期待できる。

3.1 3DCAD を基盤とした統合 DB

標準断面図（図-2）などの設計図面、基礎地盤の詳細な 3 次元測量結果から堤体と基礎地盤の境界が現実の形状と合致する 3D モデルを作成した。この 3D モデルを基盤として統合 DB を構築した。統合 DB は 3D モデルと施工に必要な情報、および施工を進めていく中で取得される情報が連携している。図-3 に a)基礎地盤 3D モデルと b)堤体 3D モデル、さらに c)堤体 3D モデルの任意断面での表示例を示す。

(1) 統合 DB による施工計画

堤体盛立のリフト計画は施工能力や土量バランス等を考慮して作成する。堤体 3D モデルから材料別の数量を迅速に算出できるため、短時間で複数のリフト計画を立案し比較検討することが可能であり、施工計画の高度化・効率化を図ることができる。図-4 は、コアゾーンにおけるリフト計画例を示している。

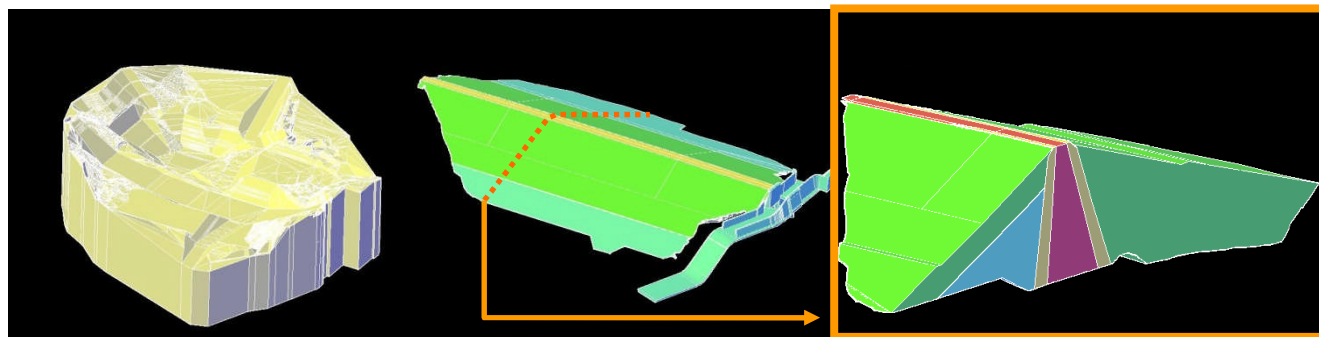
(2) 施工指示データの作成

ブルドーザ MG と GNSS 締固め管理システムでは、図-5 に示すような施工平面での各材料の材料境界線・まき出し厚さ・転圧回数が設定された施工指示データ、法面の仕上がり形状が施工指示データとして必要である。これらの施工指示データは、3D モデルを利用して作成したうえで統合 DB に格納しておき、施工時には日々の進捗にあわせて必要な施工指示データを統合 DB から読み込む。また、施工で得られた情報は逐次統合 DB へ格納される。

3.2 GNSS 締固め管理システム

(1) システムの概要

GNSS 締固め管理システムは振動ローラに GNSS 受信用アンテナ、無線 LAN 通信用アンテナ、キャビン内にモニターを搭載している（図-6）。GNSS で受信した位置情報と起振スイッチの ON・OFF 情報からモニターに 0.5m メッシュ毎に転圧回数を色別に表示する。図-7 に表示画面の一例を示す。



a) 基礎地盤 3D モデル

b) 堤体 3D モデル

c) 堤体 3D モデル任意断面表示

図-3 統合 DB 表示例

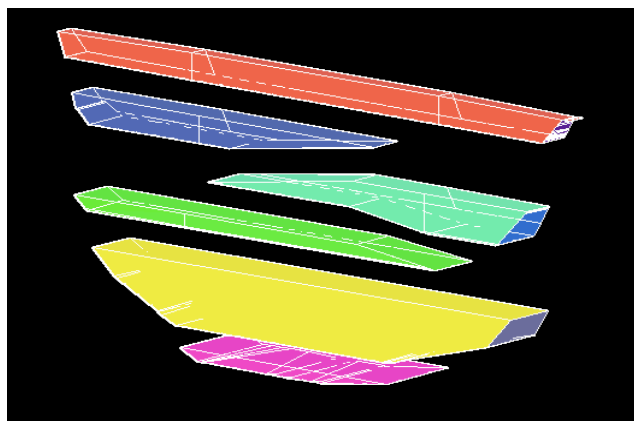


図-4 コア材リフト計画例

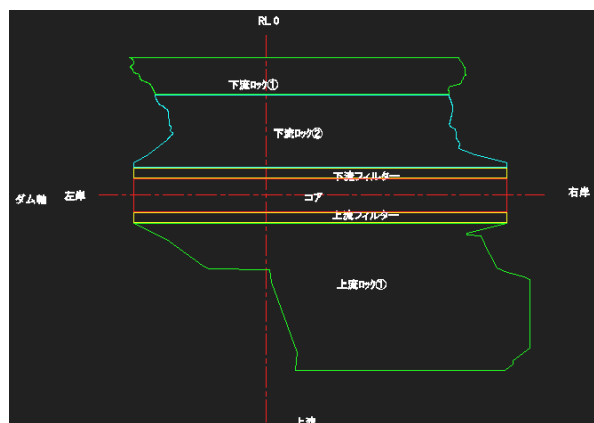


図-5 施工指示データ



図-6 締固め管理システムの構成

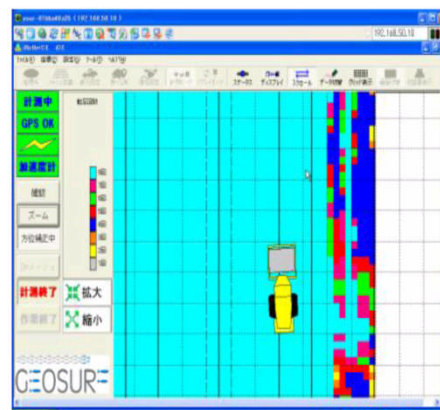


図-7 締固め管理システムの指示画面

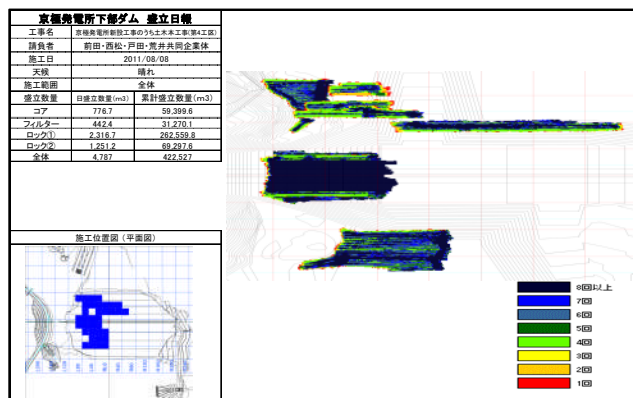


図-8 締固め結果帳票例



図-9 RTK GNSS 測量状況



図-10 ブルドーザ MG の構成

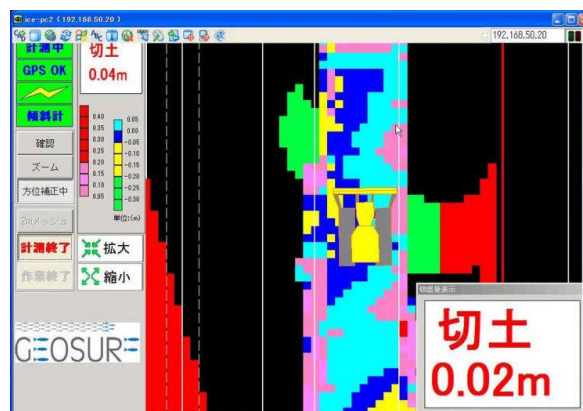


図-11 ブルドーザ MG の指示画面

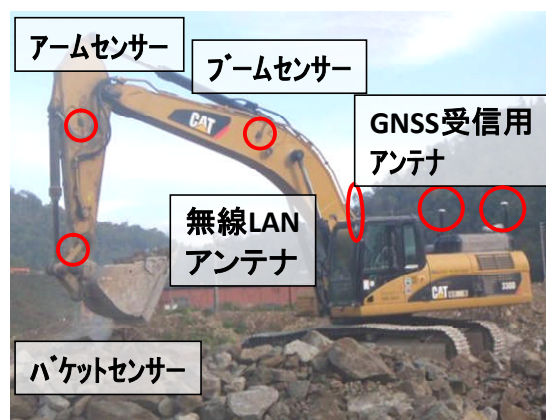


図-12 バックホウ MG の構成



図-13 バックホウ MG の指示画面

(2) システムの導入効果

オペレータはモニターでリアルタイムに転圧回数を確認することができる。これにより、材料境界部やリフト境界部等、転圧不足が懸念される場所においても確実な締固めを行うことが可能である。

3.3 自動帳票作成システム

(1) システムの構成

締固め管理システムの施工結果は、無線 LAN を介して統合 DB に転送される。さらに一日の施工が終わると統合 DB からバックアップサーバと同期し、図-8 に示す転圧結果の帳票を自動生成する。

(2) システムの導入効果

振動ローラが現場内で複数機稼働する場合でも、施工情報を統合 DB に集約して 1 日の施工結果を帳票出力することができ、施工品質の見える化が図れる。また、帳票は自動生成されることから、帳票作成に関する業務が効率化できる。

3.4 RTK GNSS 測量

(1) システムの構成

GNSS 受信用アンテナ、無線 LAN 通信用アンテナ、PDA モニター、バッテリーがセットになっており、現場内の GNSS 基準局からの補正情報を利用することで、高精度の測量を行うことができる。

(2) システムの導入効果

図-9 に示すように、光波測距義と異なり手元の人員を必要とせず、機械の据付け作業が必要ないため、測量作業の効率化できる。

3.5 ブルドーザマシンガイダンスシステム

(1) システムの構成

ブルドーザに GNSS 受信用アンテナ、無線 LAN 通信用アンテナ、キャビン内に傾斜計とモニターを搭載している（図-10）。GNSS 受信座標とブルドーザの傾斜角から履帯下の座標を算出し、施工指示データの計画高さと比較することで、モニターに 0.5m メッシュでまき出し高さの過不足を色や数値で表示する。

また、ゾーン境界の設計ラインもモニター上に表示される。図-11 にブルドーザ表示画面の一例を示す。

(2) システムの導入効果

まき出し厚およびゾーン境界の丁張を必要とせず、オペレータがモニターで確認できる。丁張設置による手待ちを防止でき、0.5m メッシュでの確認が行えるため施工精度の向上が期待できる。

3.6 バックホウガイダンスシステム

(1) システムの構成

バックホウに 2 個の GNSS 受信用アンテナ、無線 LAN 通信用アンテナ、傾斜計、ブーム・アーム・バケットにそれぞれ角度センサ、キャビン内にモニターを搭載している（図-12）。図-13 に示すモニターに仕上がり形状とバケットの刃先から仕上がり形状までの距離が表示されるため、オペレータはこの表示や数値を確認しながら施工することができる。

(2) システムの導入効果

丁張設置の手待ちやオペレータが重機から下車し仕上がり形状を目視にて確認する必要がないため、施工の効率化と安全性の向上が期待できる。

4. ICT 土工管理システムの効果検証

本現場では、表-2 に示す項目について定量的・定性的に評価を行い効果の確認を行った。ここでは、主に堤体盛立におけるブルドーザ MG およびリップラップ整形におけるバックホウ MG について、定量評価を行った結果を詳述する。

4.1 効果の比較手法

本システムの効果検証を同等の施工条件で比較するため、表-3 で示す施工に関係する機械と担当者を固定した。また、ICT 施工の習熟期間、降雨、堤体の埋設計器施工期間などの施工に影響するイベントを避けた ICT 施工（A 期間）、従来施工（B 期間）を対象期間として設定した。バックホウ MG については、リップラップ整形が機械毎の単独作業であることから、設定した C 期間の中で都度 ICT 施工と従来施工を切り替えながら検証した。

表-2 ICT 土工管理システムの導入効果の評価項目

	統合 DB	GNSS 締固め管理システム	自動帳票作成システム	RTK GNSS 測量	ブルドーザ MG	バックホウ MG
①施工(業務)の効率化	○	○	○	◎	◎	◎
②品質管理の高精度化	○	○	○	—	◎	○
③盛土品質の見える化	○	○	○	—	—	—
④現場作業の安全性向上	—	—	—	○	○	○

◎：定量的に評価 ○：定性的に評価

表-3 担当者一覧

作業名	機械	能力	台数	担当者 オペレータ
積込み	バックホウ	3.5m ³	1	A
運搬	重ダンプ	55 t 級	2	B, C
敷均し	ブルドーザ	21 t 級	1	D
転圧	振動ローラ	11 t 級	1	E
整形	バックホウ	1.4m ³	2	F(上流), G(下流)
測量	光波測距儀	-	1	H, I
測量	RTK GNSS	-	1	H

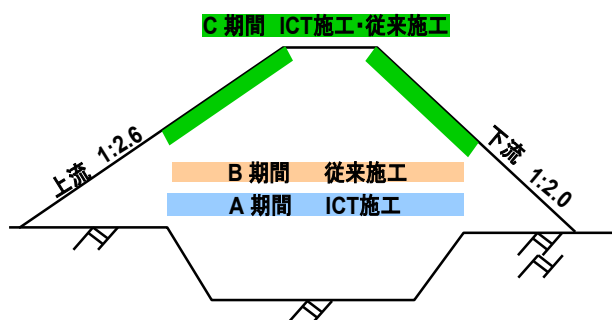


図-14 検証対象期間

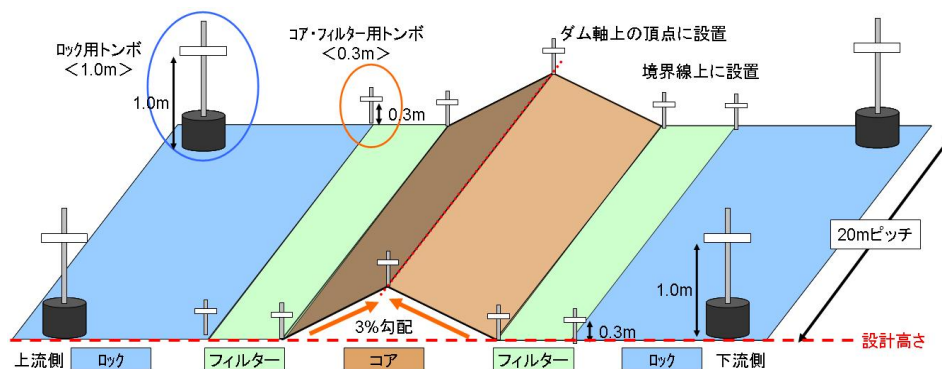


図-15 従来施工における丁張の配置

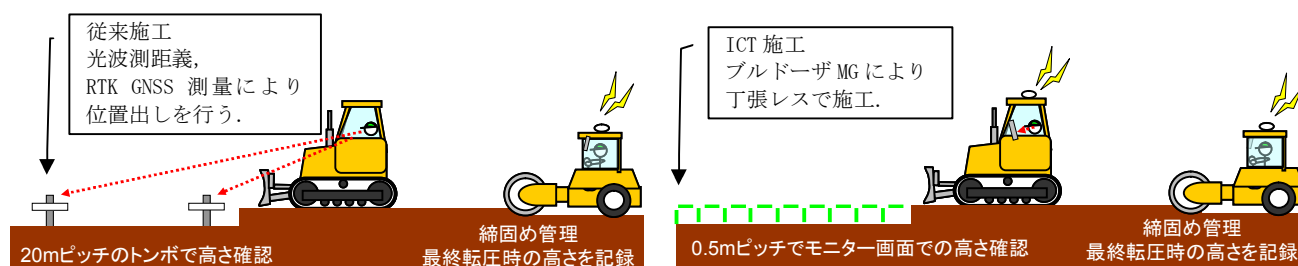


図-16 ブルドーザ MG 比較



図-17 バックホウ MG 比較

従来施工のブルドーザによるまき出しは図-15 に示すように 20m ピッチのトンボと呼ばれる丁張を設置し、オペレータは重機の中からトンボを確認し、まき出しを行う。また、バックホウによるリップラップ整形は、法面形状を示す丁張に合わせて整形する。図-16, 17 に示すように、従来施工では光波測距儀または RTK GNSS を使って丁張設置を行う。一方、ICT 施工では MG を駆使し丁張りレスで施工する。

対象期間において、施工歩掛調査や出来形検測を実施し、施工能力や施工精度の検証を行った。

4.2 施工能力の検証結果

(1) 測量の効率化

表-4, 6 に堤体盛立およびリップラップ整形において、丁張設置に要する測量手間を調査した結果を示す。丁張りレスの MG 施工では、ここに示す測量手間が削減できることが確認できた。

(2) コア・フィルタ・ロック盛立の効率化

表-5 にコア・フィルタおよびロック盛立において、1 時間当たり施工能力を調査した結果を示す。30cm/層のコ

表-4 盛立における測量手間比較

施工対象	機械	施工能力 (人時/1000m ³)	削減率
コア・フィルター (0.3cm/層)	光波測距儀	8.3	—
	RTK GNSS	4.2	▲49%
	ICT 施工	0	▲100%
ロック (1.0cm/層)	光波測距儀	2.1	—
	RTK GNSS	0.9	▲57%
	ICT 施工	0	▲100%

表-6 リップラップ 整形の測量手間比較

施工対象	機械	施工能力 (人時 /100m ²)	削減率
リップラップ	光波測距儀	1.9	—
	ICT 施工	0	▲100%

コア・フィルターの施工では 10%の向上が確認できた。これは、敷き均し能力が向上した結果ダンプ荷卸しの待ち時間削減等が図れたことによると思われる。一方 1.0m/層のロックの施工では、施工能力が積込または運搬能力に支配され、ブルドーザ MG 導入による施工能力の向上は確認できなかった。

(3) リップラップ整形の効率化

表-7 にリップラップ整形における 1 時間当たり施工能力の比較結果を示す。下流 (1:2.0) では 17%，上流 (1:2.6) では 26%の向上が確認できた。法面勾配による整形しやすさの違いやオペレータの熟練度の差異による影響があると思われるものの、上下流の双方で大幅な施工能力の向上が見られ、MG の導入効果を確認することができた。

4.3 施工精度の検証結果

(1) ゾーン境界部の施工精度の検証

コアとフィルターのゾーン境界部の出来形を計測した (図-18)。京極ダムの管理基準は「設計+0～1m」に設定されている。図-19 にゾーン出来形の計測結果を示す。ICT 施工は従来施工よりバラツキがやや大きいものの、平均値はより設計値に近い結果である。

以上より、ICT 施工は管理基準を満たす施工が可能であり、従来施工と同程度の精度であることが確認できる。

(2) まき出し高さの施工精度の検証

図-20 に示すように、振動ローラの GNSS で計測した転圧完了時の高さ情報 (図-16 参照) を比較してまき出し高さの精度を検証した。0.5m メッシュ毎の計測データを図-20 の矢印の方向から見た結果を図-21 に示す。同図には設計値および計測結果の近似曲線も示している。ICT 施工では、設計位置からの差異が従来施工より小さく、設

表-5 盛立施工能力比較

施工対象	施工方法	施工能力 (m ³ /hr)	向上率
コア・フィルター (0.3cm/層)	従来施工	192	—
	ICT 施工	212	+10%
ロック (1.0m/層)	従来施工	—	—
	ICT 施工	—	+0%

表-7 リップラップ 整形施工能力比較

施工対象	施工方法	施工能力 (m ² /hr)	向上率
下流リップラップ (勾配 1:2.0)	従来施工	16.5	—
	ICT 施工	19.3	+17%
上流リップラップ (勾配 1:2.6)	従来施工	12.4	—
	ICT 施工	15.6	+26%

計の形状により近いことから、施工精度が向上している事が確認できる。

4.4 定性評価

(1) 統合 DB

3D モデルによる施工計画のトライアンドエラーの高速化により効率的な計画立案が行えた。また、後述する各システムとの連携と管理が行えるので施工や品質管理に必要なデータがシームレスに運用する事が可能となった。

(2) GNSS 締固め管理システム

締固め管理が高度化することで、転圧不足箇所の発生による施工の手戻りを確実に抑制できた。また、施工の結果は事務所 PC 等でリアルタイムに確認できることから管理職員の業務の効率化が可能となった。

(3) 自動帳票作成システム

施工管理で求められる帳票はその日の施工が終了しなと作成できない。帳票作成の自動化によって確実な盛土品質の見える化と業務の効率化が可能となった。

(4) RTK GNSS 測量

測量機器の軽量化や少人数化により、人の重機周辺での作業時間が短縮できることから安全性が向上した。

(5) ブルドーザ MG

丁張レス施工が可能となったことで、重機との近接作業を無くすことができた。特に夜勤作業においては、重機オペレータから人の認識が困難であることから安全性は格段に向上した。

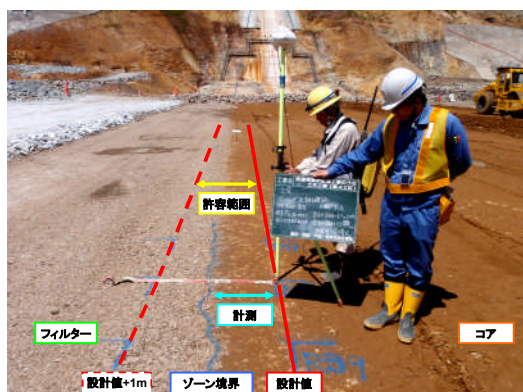


図-18 ゾーン境界出来形計測状況

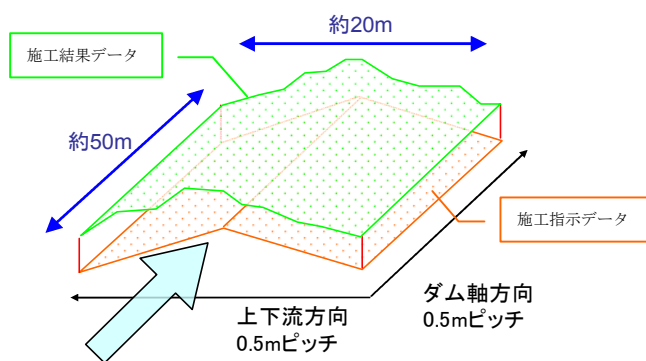


図-20 計測データの分析方法

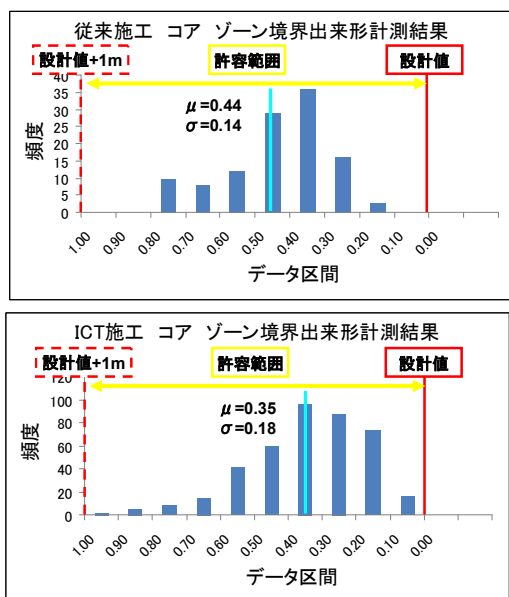


図-19 ゾーン境界出来形計測結果比較

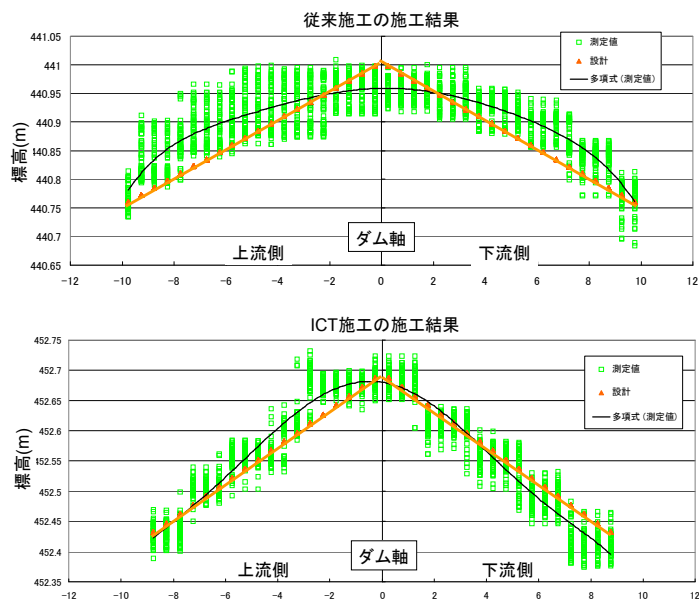


図-21 従来施工と ICT 施工の高さ精度比較

(6) バックハウ MG

丁張レス施工が可能となったことで、重機との近接作業を無くすことができた。また、従来のオペレータが重機から降りて丁張との差異を確認する作業もなくなった。以上より、リップラップの不陸の多い法面上に立ち入らないために安全性は向上した。

5. まとめ

本稿では前田建設の ICT 土工管理システムの特徴と期待する効果を示し、本システムを現場へ適用し検証した結果を示した。2 章では、京極ダムの緒元を紹介した。3 章では、各要素システムの特徴と効果をまとめた。4 章では、効果検証のための条件を整理し、RTK GNSS 測量による丁張設置の効率化、ブルドーザとバックハウ MG による施工能力の向上と施工精度の検証をおこなった。また、各システムの定性評価を記述した。

本稿で示した検証結果はロックフィルダムの大規模土工における一例であり、工事の種類や施工条件によって導入効果は異なると思われる。今後、道路土工等様々な分野で ICT 施工の導入効果が検証され、共有されることを期待したい。

謝辞：北海道電力(株) 京極水力発電所建設所様には、京極ダムにおける ICT を活用した施工の合理化取り組みにおいて、多大なるご理解とご協力を戴きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000015.html
- 2) 情報化施工技术の一般化・実用化の推進について：
国官技第 23 号，国総公第 18 号
- 3) 角谷ほか：ICT を活用した京極ダム盛立施工の合理化，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，p853-854
- 4) 3 次元情報と α システムによる情報化施工：KT-050054-V, NETIS 登録