21. ロックフィルダム盛立における ICT 施工の定量評価

前田建設工業(株)技術研究所 〇 松尾 健二 前田建設工業(株)京極ダム(作) 石突 寿啓 前田建設工業(株)総合企画部 藤谷 雅義

1. はじめに

近年、建設業界において、情報化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ことから、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る²⁾。

現在、ICT 施工技術の普及に関して多くの事例が報告されている³⁾⁴⁾。その中で、施工精度や施工能力の報告は舗装工事に関して確認できるものの、ロックフィルダムのような大規模土工においてこのような検証の報告が少ない。したがって、大規模土工における ICT 施工の施工精度や施工能力を確認し、導入効果を定量的に把握する必要があると思われる。

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(以下 MG)、GNSS による締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 506。ロックフィルダムの施工では、材料のゾーン境界管理お



図-1 ICT 土工管理システム概要図

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。

本稿では、ブルドーザ MG 技術、リップラップ 整形におけるバックホウ MG 技術の現場への導入 に伴う工夫と管理の省力化・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

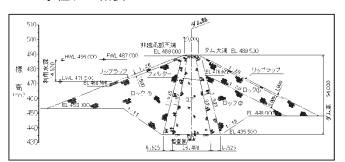


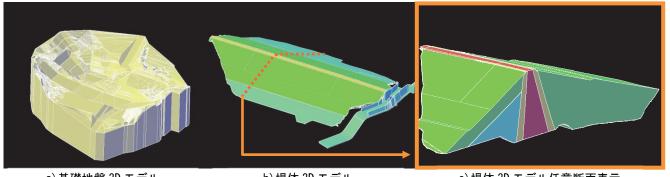
図-2 京極ダム標準断面図

純揚水式京極発電所の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。 堤高 54.0m, 堤頂長 332.5m, 堤体積 1,318 千 m³であり, 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。

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 MG 等の運用管理を行う。また、統合 DB は現場内に構築された無線 LAN ネ



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

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、 遠隔での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。

(1) 3DCAD を基盤とした統合 DB

図-2 に示す標準断面図などの設計図面,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,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に基礎地盤3Dモデルと堤体3Dモデル、さらに堤体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 に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、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。

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,

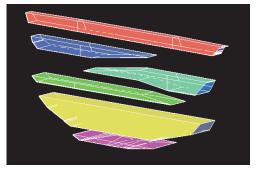


図-4 コア材のリフト計画例

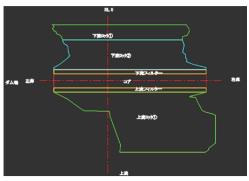


図-5 施工指示データ



図-6 RTK GNSS 測量状況

帳票作成に関する業務が効率化できる。

(2) 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,高精度の測量が行うことができる。



図-7 ブルドーザ MG の構成



図-9 バックホウ MG の構成

②システムの導入効果

図-6 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、測量作業の効率化が図れる。

(3) 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-7)。

従来はブルドーザのブレード部に GNSS と傾斜計を搭載し、ブレードの下端の位置を算出する。本現場ではコア・フィルターで Dmax150mm、ロック材 Dmax800 mmであり、押土中にブレードを超えて GNSS のポールやケーブルに損傷を与える恐れがあったことと、作業がまき出しに限定されることからキャビンに GNSS と傾斜計を搭載した。

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-8 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。

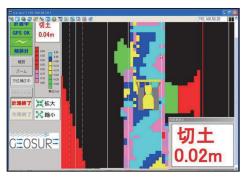


図-8 ブルドーザ MG の指示画面



図-10 バックホウ MG の指示画面

(4) 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-9)。

図-10 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を図ることができる。

4. ICT 土工管理システムの効果検証

京極ダムでは、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 での対象期間において、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。ここでは、その定量評価を行った結果を詳述する。

(1)効果の比較手法

本システムの効果検証に際し同等の施工条件で 比較するため、表-1で示す施工に関係する機械と 担当者を固定した。また、ICT 施工と従来施工を 切り替えて1週間程度の習熟期間を経た後に降雨、 堤体の埋設計器施工期間などの施工に影響するイ ベントを避けた期間において ICT 施工 (A 期間),

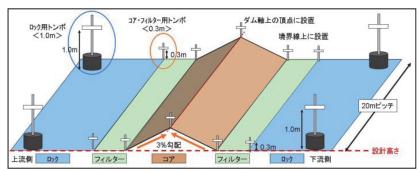


図-11 従来施工における丁張の配置

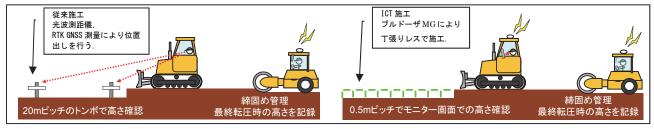


図-12 ブルドーザ MG 比較



図-13 バックホウ MG 比較

表-1 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	3.5m3	1	A
運搬	重ダンプ	55 t 級	2	В, С
敷均し	ブルドーザ	21 t 級	1	D
転圧	振動ローラ	10 t 級	1	Е
整形	バックホウ	1.4m3	2	F(上流),G(下流)
測量	光波測距儀	ı	1	Н, І
測量	RTK GNSS	=	1	Н

従来施工(B期間)を対象期間として設定した。 対象期間中は、重ダンプによる盛立材料の運搬量、 まき出しに要した時間,何らかの要因で重機に待 ちが生じた時間等、施工サイクルにおける様々な 情報を詳細に記録した。

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 ICT 施工と従来施工を切り替えながら検証した。バックホウ MG ではバックホウの作業時間とその時に施工が完了した面積を記録した。

従来施工のブルドーザによるまき出しは**図-11** 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-12**. 13 に示すように、従来施工

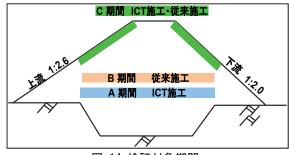


図-14 検証対象期間

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。

(2)施工能力の検証結果

①測量の効率化

表-2,4 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・フィルター・ロック盛立の効率化

表-3 にコア・フィルター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、逆に施工能力が 2%下がる結果となった。これ

表-2 盛立における測量手間比較

施工対象	機械	施工能力 (人時/1000m³)	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-3 盛立施工能力比較

施工対象	施工方法	施工能力(m³/hr)	向上率
コア・フィルター	従来施工	192	_
(0.3cm/層)	ICT 施工	212	+10%
ロック	従来施工	297	_
(1.0m/層)	ICT 施工	291	▲2%

表-4 リップ・ラップ 整形の測量手間比較

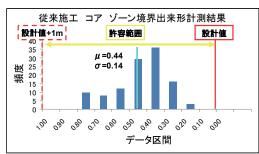
施工対象	機械	施工能力 (人時/100m²)	削減率
リッフ [°] ラッフ [°]	光波測距儀	1. 9	_
	ICT 施工	0	▲100%

表-5 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 (m²/hr)	向上率
下流リップラップ	従来施工	16. 5	_
(勾配 1:2.0)	ICT 施工	19. 3	+17%
上流リップ゚ラップ゚	従来施工	12. 4	_
(勾配 1:2.6)	ICT 施工	15. 6	+26%



図-15 ゾーン境界出来形計測状況



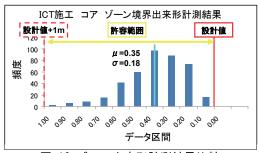


図-16 ゾーン出来形計測結果比較

は、施工能力がロック材の積込または運搬能力に 支配され、ブルドーザ MG 導入が施工能力向上に 対して寄与しなかったためと思われる。

③リップラップ整形の効率化

表-5 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%,

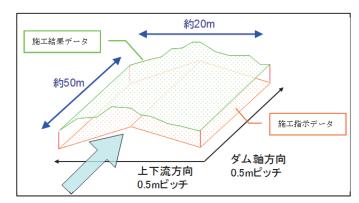
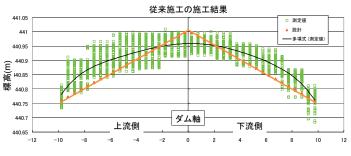


図-17 計測データの分析方法



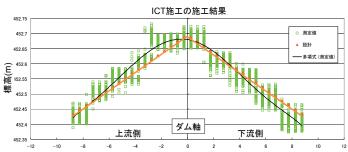


図-18 従来施工と ICT 施工の高さ精度比較

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。

(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

ロックフィルダムの品質管理における重要な項目のひとつに、コアとフィルターのゾーン境界部の出来形検査があり、(図-15) 京極ダムの管理基準は「設計+0~1m」に設定されている。検査頻度はダム軸上の40m間隔の側線上で標高2m毎に検査を行う。図-16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結果となったが、これは標本数の違いによる影響も含んでいると思われる(従来施工は比較検証のために限定的に実施しために施工期間が短く、データ数が少ない)。どちらも管理基準内にデータが分布しており、まき出し作業の平面的な精度に施工上の有意な差はないと評価できる。

よって、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施工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

本現場では、GNSS による締固め管理システムを導入している。本システムは転圧回数の管理を目的として導入したが、振動ローラに GNSS を搭載しており、高さ情報も記録している。図-16 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をダム軸方向から見た視点で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-17 の矢印の方向から見た結果を図-18 に示す。このグラフは Y 軸上がダム軸として高さを示し、X 軸のプラス方向が下流側、マイナス方向が上流側としている。また、同図には施工時に用いた施工指示データの値(直線)および得られた計測結果の近似曲線も示している。

このグラフからわかるように、ICT 施工では、施工指示データからの差異が従来施工より小さい。また、近似曲線をみると従来施工はトンボが設置してあるゾーン境界付近では施工指示データと近いが全体としてラウンドした形となっている。

一方, ICT 施工では, 施工指示データに近い計 測結果の近似曲線が現れており, ねらいのまきだ し高さに近い施工が行えていることがわかる。

これは、従来施工でゾーン境界に設置するトンボは施工の邪魔にならない範囲で残す場合が多い一方、ダム軸に設置するトンボは施工の支障になるため、まき出し作業の途中で撤去せざるを得ないため、折れ点となるダム軸部の位置があいまいになってしまったことが要因と考えられる。

以上より ICT 施工では高さ方向の施工精度が向上している事が確認できる。

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。

ICT 施工技術を効果的に活用していくためには、導入効果を定量的に評価することが重要である。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。ICT 施工はすべての現場で必ず効果を示すものではないと考え、その工事の規模、施工の難易度、現場条件など費用対効果のバランスを鑑みて導入していく必要がある。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) 情報化施工技術の一般化・実用化の推進について: 国官技第23号, 国総公第18号
- 3)総合政策局建設施工企画課ほか:2009年度 情報化施工の普及促進に関する研究
- 4) 日下ほか: 殿ダムにおける ICT 情報化施工技術 の導入,建設の施工企画,p21-27,2011
- 5) 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
- 6) 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