

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

前田建設工業(株) 技術研究所 正会員 松尾 健二
前田建設工業(株) 京極ダム作業所 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・バックホーのガイダンス技術、GNSS (Global Navigation Satellite System) 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・バックホー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。

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

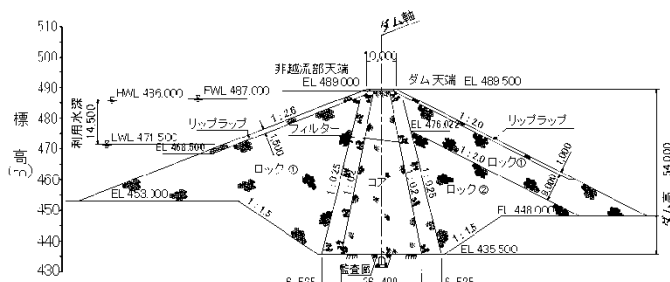


図-2 京極ダム標準断面図

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・バックホーのマシンガイダンスシステム(以下 MG)、GNSS 締め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、遠隔での施工状



図-1 ICT 土工管理システム概要図

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

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業株式会社 技術研究所 TEL 03-3977-2241

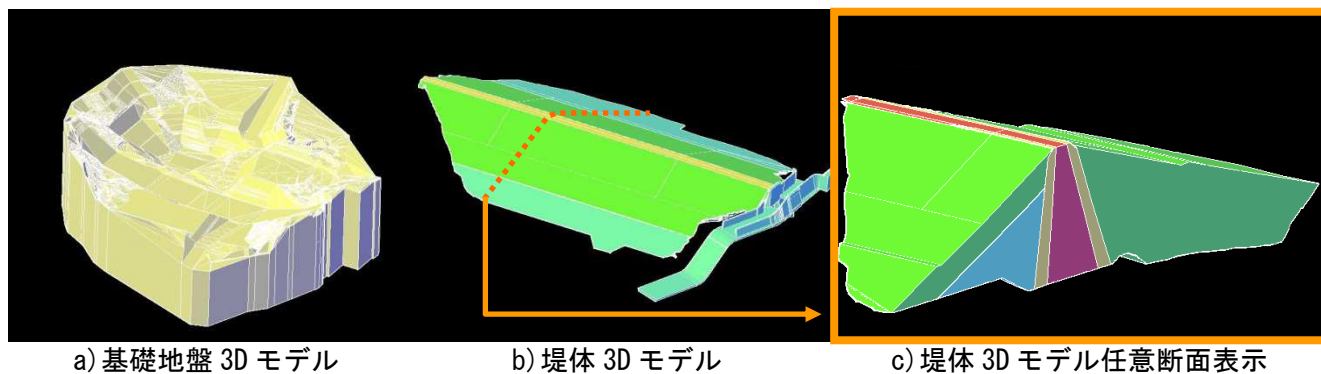


図-3 統合 DB 表示例

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、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。

(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

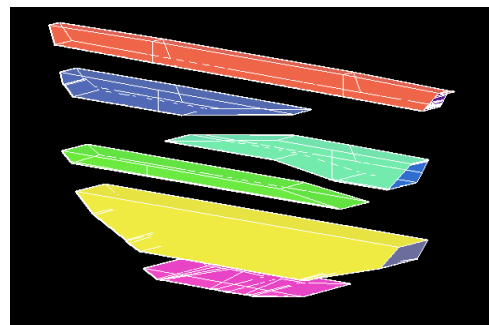


図-4 コア材のリフト計画例

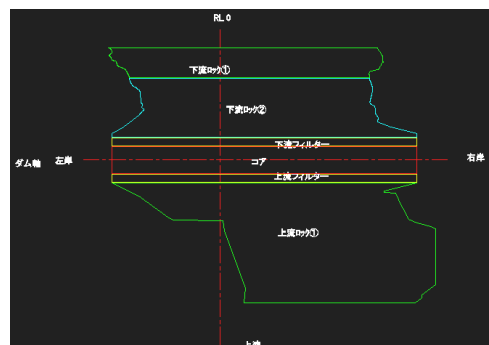


図-5 施工指示データ

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。

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) 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。



図-6 締固め管理システムの構成

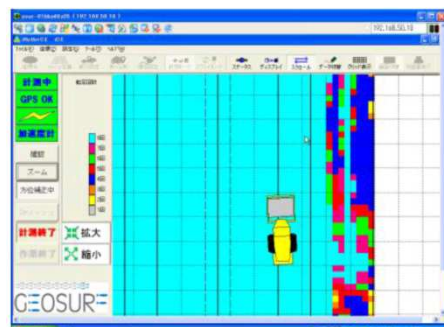


図-7 締固め管理システムの指示画面

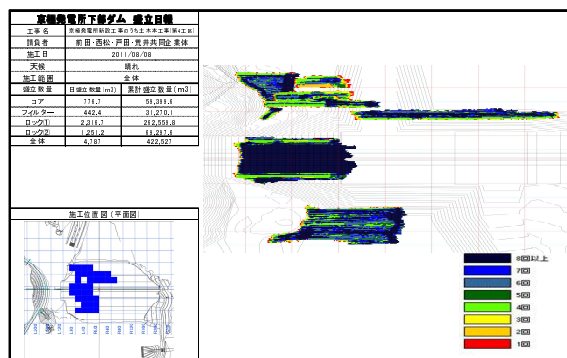


図-8 締固め結果帳票



図-9 RTK GNSS 測量状況



図-10 ブルドーザ MG の構成

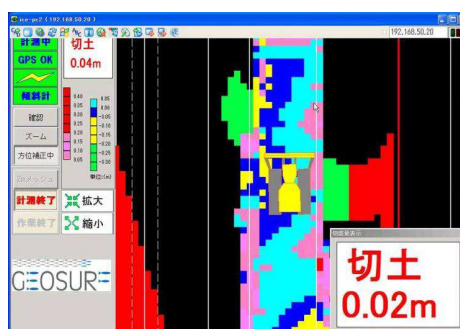


図-11 ブルドーザ MG の指示画面

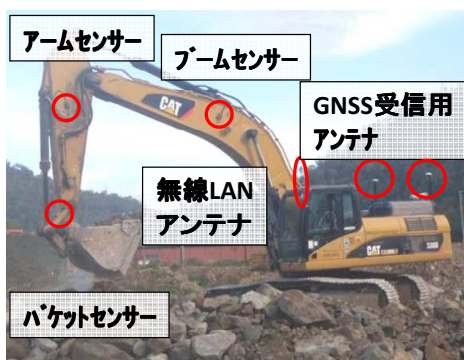


図-12 バックホーMG の構成



図-13 バックホーMG の指示画面

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。

(4)RTK(Real Time Kinematic) 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。

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、測量作業の効率化が図れる。

(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。

(6)バックホーガイダンスシステム

①システムの構成

バックホーに 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を図ることができる。

4. ICT 土工管理システムの効果検証

本現場では、表-1 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ーMG について、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-2 で示す施工に関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。バックホー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。

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、バックホー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、

表-1 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	バックホー 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-2 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	バックホー	3.5m3	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	バックホー	1.4m3	2	F(上流), G(下流)
測量	光波測距儀	—	1	H, I
測量	RTK GNSS	—	1	H

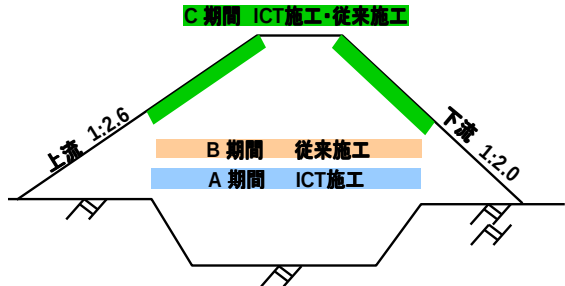


図-14 検証対象期間

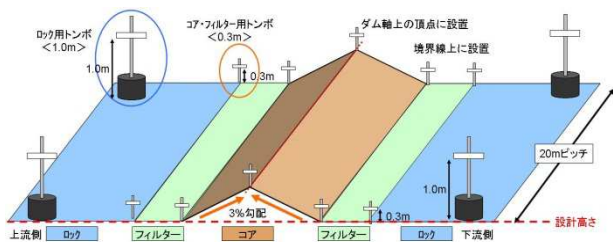


図-15 従来施工における丁張の配置

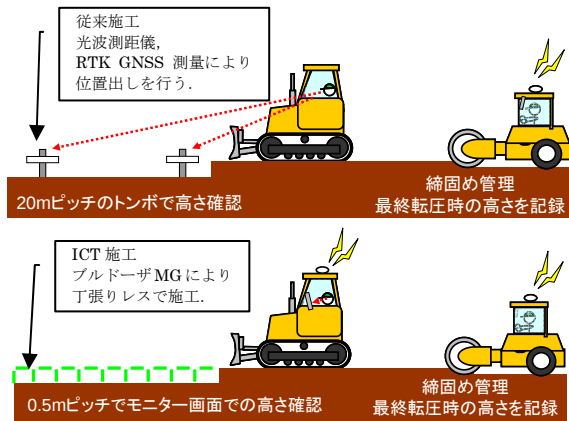


図-16 ブルドーザ MG 比較

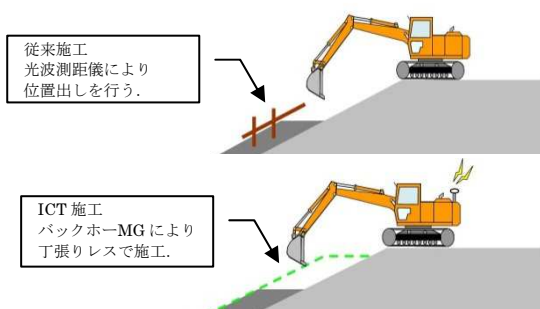


図-17 バックホウ MG 比較

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。

(2) 施工能力の検証結果

① 測量の効率化

表-3, 5 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・フィルター・ロック盛立の効率化

表-4 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、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見られなかった。

表-3 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-4 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 (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-5 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
リップラップ	光波測距儀	1.9	—
	ICT 施工	0	▲100%

表-6 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 (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%

③ リップラップ整形の効率化

表-6 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。

(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施工精度であることが確認できる。

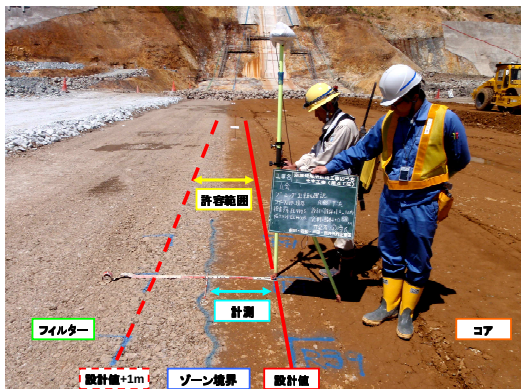


図-18 ゾーン境界出来形計測状況

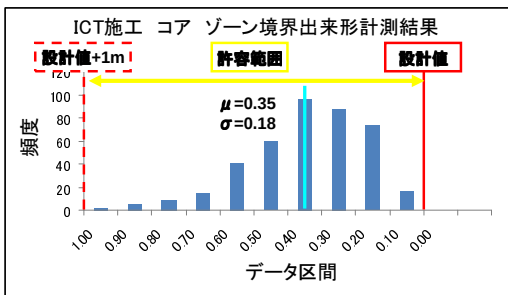
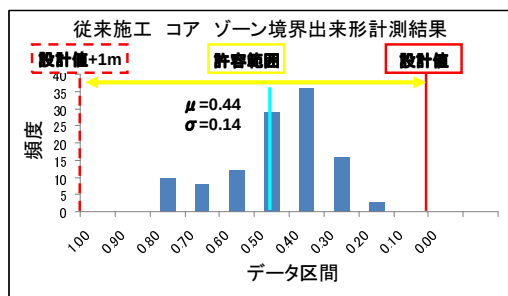


図-19 ゾーン出来形計測結果比較

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。

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。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

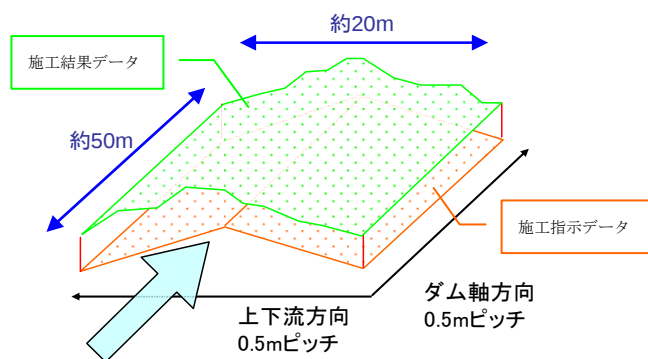


図-20 計測データの分析方法

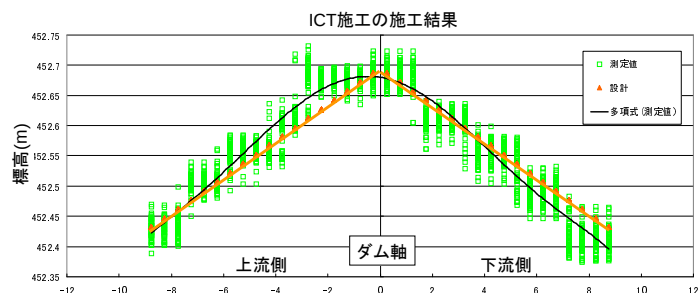
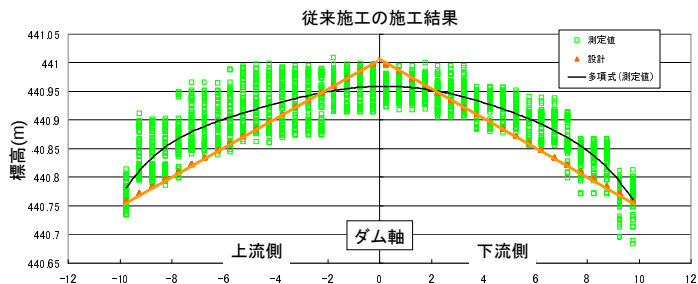


図-21 従来施工と ICT 施工の高さ精度比較

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) 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