

道路土工事における ICT 活用による施工 Consturction and management using ICT on the Road Earthwork

土岐 宥美子* 五十嵐 洋*
Yumiko Toki Hiroshi Igarashi
田中 勉** 佐藤 靖彦***
Tsutomu Tanaka Yasuhiko Sato

要 約

本工事は土工量約 125 万 m^3 等の施工を行うもので、起工測量、施工、出来形管理、検査等まで 3 次元データを活用する ICT 活用工事（指定型）である。各施工段階で UAV、レーザースキャナおよび GNSS 搭載した ICT 建機を利用した施工・施工管理を実施し、また出来高土量の迅速把握のために簡易 UAV 測量を導入し 3 次元土量管理を行い、施工・施工管理の省力化・効率化を図った。本報告は、ICT 活用の実施方法を紹介するとともに、それぞれの段階での ICT 活用時の留意点について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事内容
- § 3. ICT 活用工事と実施内容
- § 4. ICT 活用における留意点と対応
- § 5. 3 次元土量管理
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

本工事は、福島県相馬市から秋田県横手市を結ぶ高速道路・東北中央自動車道の一部区間（全長約 2.3 km）で切盛土約 125 万 m^3 を施工するものである。本工事は、ICT 活用工事（土工）に指定され、起工測量、施工から出来形管理、検査等まで 3 次元データを活用して施工を行った。UAV、レーザースキャナおよび GNSS 搭載した ICT 建機等を用いるので、施工・施工管理の省力化と効率化が期待できる。一方、3 次元データを用いた管理は、従来の測線による 2 次元の横断管理による方法と管理手法が大きく異なるため、ICT の特徴や手法をよく理解した上で活用することが必要となる。そこで本報告では、ICT 活用の実施方法を紹介するとともに、それぞれの段階での ICT 活用時の留意点について述べる。

§ 2. 工事内容

2-1 工事概要

工 事 名：東北中央自動車道 所沢地区道路改良工事
発 注 先：国交省東北地方整備局 福島河川国道事務所
施 工 者：西松建設株式会社
施工場所：福島県伊達市保原町富沢～伏黒地内
工 期：2017 年 10 月 12 日～2021 年 3 月 25 日
工種内容：

掘削工	599,270 m^3	
路体盛土工	627,570 m^3	路床盛土工 32,000 m^3
法面整形工	149,630 m^3	法面植生工 72,890 m^3
地盤改良工	184,800 m^3	函渠工・橋梁下部工他

本工事は福島県相馬市から秋田県横手市を繋げる東北中央自動車道の一部区間を担い、本工事区間では延長約 2.3 km（切土区間 1.4 km、盛土区間 0.9 km）を施工するのである（写真－1～3）。



写真－1 切土区間（保原地区）

* 北日本（支）伊達（出）

** 技術研究所先端技術グループ

*** 技術研究所



写真一2 盛土区間（伏黒地区）

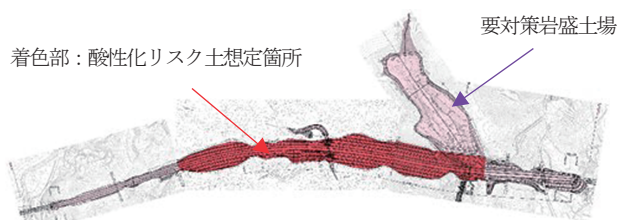


写真一3 要対策岩盛土場（大柳地区）

2-2 工事の特徴

当該工事の切土区間の地質は、霊山層と呼ばれる安山岩と凝灰角礫岩などの火砕岩が分布する。この地層の一部は火山活動により熱水変質を受けており、岩石中に黄鉄鉱等の硫化鉱物が含まれている。黄鉄鉱含有土は掘削して空気・雨水に触れると酸性化して強酸性水が発生する酸性化リスクのある性質をもつ。そのため、本線盛土とは別途に、要対策岩盛土場にて酸性化リスク土を封じ込める盛土を施工した。図一1に酸性化リスク土の出土範囲と要対策岩盛土場の範囲を平面図で示す。要対策岩盛土場においては、透水係数の低いベントナイト混合土にてリスク土を封じ込める構造とした。一方、盛土区間では酸性化リスク土でない健全土を用いる。

これらの条件から、それぞれの施工土量を的確に把握しながら施工することが必要であり、この点でも ICT の活用は重要とされた。



図一1 切土区間および要対策盛土場の平面図

§3. ICT 活用工事と実施内容

3-1 ICT 活用工事

本工事は、国土交通省が提唱する i-Construction に基づき、ICT の全面的活用を図るため、起工測量、施工、出

来形管理、検査及び工事完成図や施工管理の記録及び関係書類について3次元データを活用するICT活用工事（土工）である。建設生産プロセスの各段階においてICTを全面的に活用するものであり、次の①～⑤の全ての段階でICT施工技術を活用することとされた。

- ① 3次元起工測量
- ② 3次元設計データ作成
- ③ ICT建設機械による施工
- ④ 3次元出来形管理等の施工管理
- ⑤ 3次元データの納品

3-2 実施内容

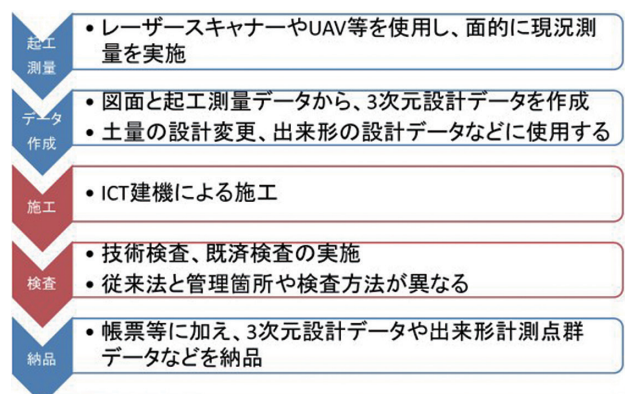
(1) ICT 施工計画・機器選定および協議

ICT活用工事の最初の検討事項として、当該工事で用いるICT技術の選定と施工計画書の作成を行った。

地形、立地条件および測位精度等の点から、①起工測量には空中写真測量（無人航空機 UAV）による3次元起工測量を、③掘削・法面整形工にはバックホウ3次元マシンガイダンス（3D-MG）を、盛土工にはブルドーザ3次元マシンコントロール（3D-MC）の技術を、④締固め回数管理にはGNSS転圧管理システムを、3次元出来形管理にはレーザースキャナによる出来形管理を選定した。

これらの選定に関する概要書を作成して、受発注者間で協議して合意した後に、起工測量、施工段階、検査のそれぞれ段階におけるICT実施計画書を作成した。

図一2にICT活用工事の流れを示す。



図一2 ICT 活用工事の流れ

(2) 3次元起工測量

3次元起工測量の方法は、国交省「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）」ならびに「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」に準拠して計画した。

使用した UAV 機種と飛行・撮影条件を写真一4および表一1に示す。切盛土区間を工程に合わせ6回に分けて測量した。標定点は外部標定点60地点、内部標定点13地点、検証点は13地点として設けた。写真処理はPhoto Scan、点群処理はTrend Pointのソフトウェアを用いた。



写真-4 起工測量に用いた UAV

表-1 UAV の飛行・撮影条件

項目	内容
UAV 機種	DJI Matrice 600
搭載カメラ	Panasonic DMC
飛行高度	50 m
ラップ率	進行方向 90%, 左右方向 60%
地上画素寸法	1 cm / 画素以内

(3) 3次元設計データ作成

受領した2次元設計図面データから、3次元CADにより3次元設計データを作成した。図-3に切土区間と要対策盛土の3次元設計データを示す。使用したソフトウェアはAutoCAD Civil 3Dである。また事前の地質調査ボーリングから予想された酸性化リスク土の分布状況の3次元モデルを作成し、リスク土表面のサーフェスモデルを3次元化して可視化し、イメージの共有を図った(図-4)。

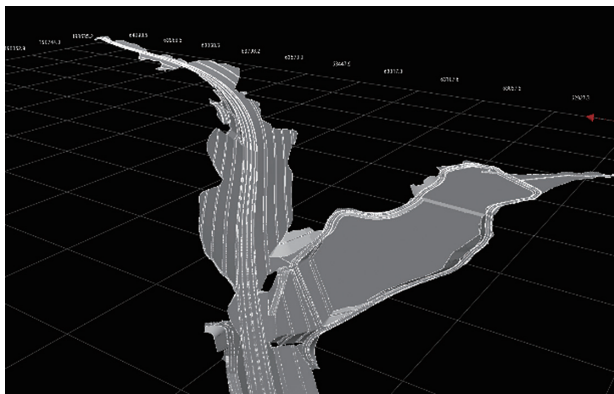


図-3 切土区間と対策盛土の3次元設計データ

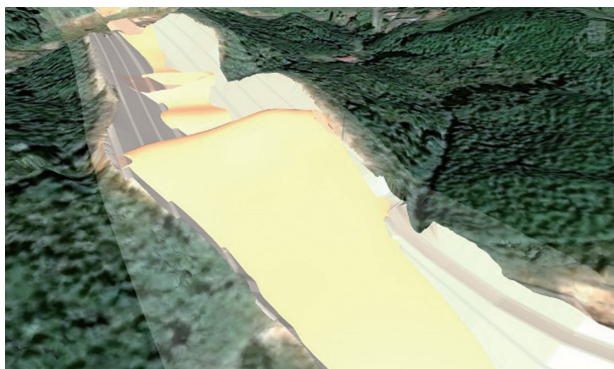


図-4 酸性化リスク土予想分布の3次元モデル



写真-5 バックホウ MG と丁張りレスの施工状況

(4) ICT 建機による施工

バックホウ MG、ブルドーザ MC およびローラ転圧回数管理には、それぞれの機械に GNSS アンテナを搭載し、また現場に基準局 GNSS アンテナを設置して、RTK-GNSS 方式により ICT 施工を行った。搭載した GNSS アンテナは Trimble 社製のもので、転圧管理システムには Site Compactor を用いた。ICT 建機 PC に入れた 3 次元設計データを基にオペレータは運転席の車載モニターにて、バケットや排土板と設計データの位置関係をリアルタイムに確認しながら施工を行うことができる。これにより丁張り無しでの施工が可能となり(写真-5)、施工性と安全性の向上に繋がった。

(5) 3次元出来形管理と検査

切土及び盛土の法面整形後の3次元出来形管理には、測定精度面を考慮してレーザースキャナを用いた。使用した機器は GLS-2000 (トプコン) と MS60 (Leica) である(写真-6)。測定頻度は、本工事の延長が長い為、各区間の法面整形が完了した段階で、順次3次元出来形計測を行い、計100回以上の計測を行った。取得した点群データと3次元設計データとの標高較差を求め、ヒートマップと呼ばれる出来形調書(図-5)を作成し、管理値との合否を評価した。3次元出来形計測は、一度に広範囲の出来形測量が可能となること、また法面の計測も不要となり、人での計測は小段などの最小限となり、安全性の向上に繋がった。

出来形検査については、全体の出来形はヒートマップで表し、実地検査は計測点群から検査官が任意に選んだ点の標高をロードランナーを使用して現場計測し、標高較差が規格値内であることを確認した(写真-7)。

3次元の出来形検査は、基本的には事務所の PC 上でデータの出来形を確認することを主として確認検査が行われ、現場での検査時間の短縮、検査書類の簡素化に有



写真-6 レーザースキャナによる出来形計測状況

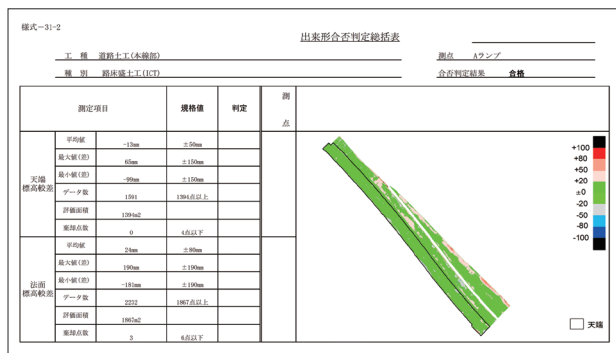


図-5 3次元出来形管理における出来形調査



写真-7 出来形検査状況

効であった。

(6) 3次元データの納品

工事竣工時には、一連の帳票に加え、3次元設計データおよび出来形計測点群データ等の3次元データを、ICONフォルダに収納して納品した。

§ 4. ICT 活用における留意点と対応

(1) 3次元設計データ作成時の留意点

受領した2次元図面CADデータと起工測量データ(地上型レーザースキャナやUAVを用いた面的測量)を用いて、3次元設計データを作成する。データ作成は外注で行い、職員は受領した3次元データの確認を行った。その後のICT建機施工と出来形の設計値として使用するため、不整合な点がないか確認作業が非常に重要である。

(2) ICT建機による施工時の留意点

ICT施工では、丁張がないため、オペレータ以外の者が現場で完成形をイメージしづらいことや、これによりデータの間違いに気付きにくい点がある。そのため、データの事前確認とオペレータとの日々のコミュニケーションが重要となる。少しの異変もないか確認し、設計通りに施工が進むようにフォローすることが重要である。

そのため当現場では、施工前や施工中にICT建機の精度確認を実施した。ICT建機を使用する各エリアの施工着手時には最初だけ丁張を設置し、その丁張とICTデータが合っているかを確認した後に本施工を実施した(写真-8)。また、ICT建機用基準点(写真-9)を設け、作業前に基準点と建機に表示される座標値の誤差を確認し

た。±3 cm以上誤差がある場合には本施工は行わず職員へ連絡する体制をとった。

その他、構造物周辺などの現場合わせが必要とある箇所については適宜ICT対象外とする等の対応をし、データにとらわれすぎないことも重要である。これについては適宜発注者との協議を行い対応した。

(3) 出来形管理時の留意点

出来形管理における留意点として、施工途中での確認作業が難しい点が挙げられる。データ通りにICT建機で施工しているとはいえ、施工後に点群を取得し、出来形が規格値外であった場合、手直しが大きくなる可能性がある。従来施工であれば高さや法長、幅員などを施工中に簡単に確認できるが、ICT施工は出来形の判定方法が異なるため、従来の管理で合格であってもICT施工では規格外となる場合や箇所がある。例えば切出しのラウンディング部や転石などによる法面の凹凸などである。法肩、法尻部が設計通りであっても面自体に凹凸が多いと合否判定で不合格になる可能性がある。これらを踏まえ、法面の状態に応じてICT出来形判定から除外したり、従来の管理に変更する等の対応を発注者と協議しながら工事を進める必要がある。

また、計測のタイミングについて、法面工・植生工などにより土工面が不可視となる場合、法面工施工前に随



写真-8 バックホウMG位置確認状況



写真-9 ICT建機用基準点

時点群を取得する必要がある。測量業者などに外注する場合、現場の進捗に合わせた計測が必要となり、密な打合せが必須であると同時に、現場職員である程度計測できる体制を整えておくことが重要である。計測、データ処理、帳票作成をいつ、誰が行うのかについては事前によく検討しておく必要がある。

(4) 出来形検査の留意点

ICT 出来形検査時の留意点として、検査方法や頻度については発注者と協議しておく必要がある。管理要領に記載されている頻度は1工事1断面となっているが、本工事の対象は路床までであり、エリア毎に舗装業者へ部分引渡しを随時行う必要があったため、引渡しの際にはその都度実地検査を行っているのが実情であった。

(5) 既済検査の留意点

既済検査における掘削土量は3次元データにて算出した。手順としては地上レーザースキャナで現況測量を実施、起工測量データとの差分をソフトで算出し、これを既済の数量として提出した。図-6に既済検査資料の一例を示す。該当箇所は延長約200m区間の土量であり、従来通りの平均断面法との数量比較をしたところ、約102%の土量であった。各種管理要領や検査要領にも記載があるが、3次元データにより算出された数量は変更の対象となるため、検査時にも3次元データから算出した数量を扱った。

土量計測時の留意点として、現況地盤を面的に計測するため、重機や仮置き土、休憩ハウスなど土量算出の弊害となる仮設物は除外する必要がある。計測時に現場から退避するか、データ上で除外するかについては、現場状況や発注者との協議などにより決定した。

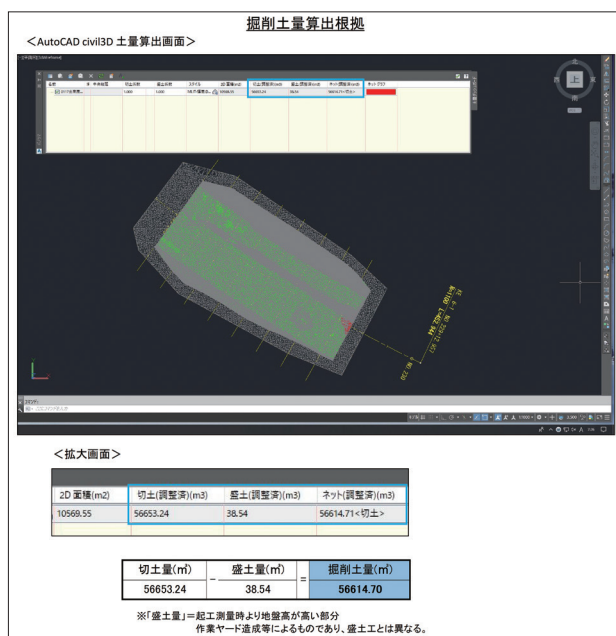


図-6 掘削土量の算出資料

§ 5. 3次元土量管理

施工中の土工の施工出来高数量（土量）の把握は、土工事の施工管理とその後の施工計画に重要である。本工事では計測時間の短縮と定期的な土量把握を目的として、UAVによる現況測量と解析ソフトによる算出方法を用いて、3次元データを用いた簡易土量算出・管理を行った。

(1) 使用機器とソフトウェア

UAV機器にはEveryday Drone（コマツカスタマーサポート社）を使用した（写真-10）。Edge BoxというGNSSを装備したPCを使用してUAVの位置情報を取得するため、評定点（マーカー）の設置が不要である。UAVは自動飛行、取得データは専用アプリにより自動点群処理される。

ソフトウェアにはTrend Point（福井コンピュータ社）を用いた（図-7）。点群処理を得意とするソフトウェアであり、土量算出や出来形の評価等の処理が可能である。

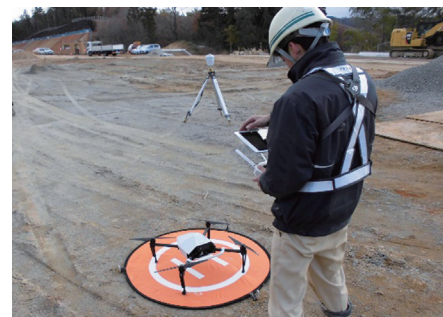


写真-10 Everyday Drone

(2) 実施運用方法

本手法の運用は2回/月の頻度で計測、土量の把握を行った。切土量と対策岩盛土場における盛土量、本線盛土場の実績や残数量および土量変化率の把握に利用した。

導入準備時にはメーカーによるローカライゼーションと自動飛行ルートの設定、操作方法の講習を2日程度で行った。飛行ルートは、ドローンの飛行可能時間と道路の形状（カーブや樹木等）に応じた可視範囲を考慮して、切土区間総延長約1.6kmに対して5ルート、現場全域では計8ルートを設定した。計測当日は1人が1日かけてUAV計測を実施し、夕方よりデータをアップロード、自動点群処理を行い、翌日には計測データを確認可能であった。

実際の土量算出は職員がソフトを使用して行った。ソフトによる土量計算は30分程度の作業時間を要した。専用ソフトによる土量計算は単純に設計データと計測データの差分から算出しているため、その後仮設物等の控除数量を別途算出し、数量を補正する形で運用した。

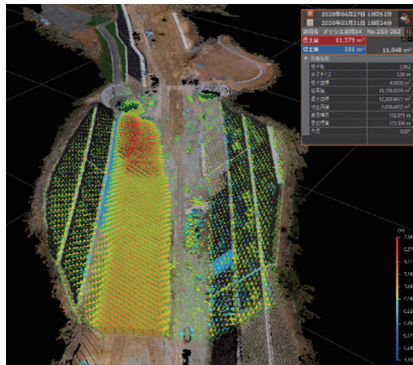
(3) 効果

本手法の効果としては、施工途中における現場全体数

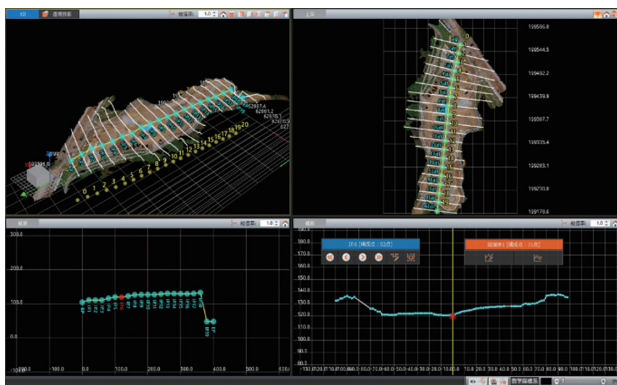
量を短時間で把握することができたことが挙げられる。従来の測線断面毎を測量して平均断面法で算出する場合には、1～2人で数日はかかるところ、1人で1日計測すれば最短で翌日午前には数量を把握することが可能となり、測量の省力化、内業の短時間化を図ることができた。また、知りたい箇所の現況断面を簡単に抽出することも可能であり、2次元的にも3次元的にも設計との位置関係を簡単に把握できるという点では他工種での施工計画にも有益であった（図－8）。

(4) 留意点

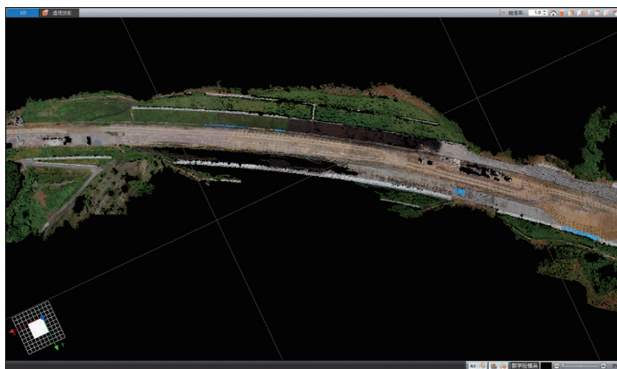
本手法の留意点として、計測精度と自動点群処理が挙げられる。本機器として測量用機器に位置付けられておらず、計測データの出来形管理に用いる精度は担保されていない。実際の使用感としては精度が良い箇所と悪い箇所が混在しているようである。精度の良い箇所は±10



図－7 Trend Point による土量計算例



図－8 断面抽出画面 (Trend Point)



図－9 自動ノイズ処理後画面 (Trend Point)

cm 以内である一方、悪い箇所は局所的に数 m 異なっていたり、位置がずれていたりすることもあった。これは周辺障害物などによるマルチパスの影響等によるものと考えられる。

点群の自動処理は、計測データをソフトにアップロードすると自動でノイズ処理が施され、この自動化によりデータ処理の手間が大幅に縮小された（図－9）。一方で、自分の意図しない箇所がノイズとして削除されることもあり、土量算出時は点群処理後のデータをよく確認する必要がある。法面の植生工により、草の表面を計測してしまい、盛土量、切土量の残数量（設計データとの差分）に誤差が生ずることもあった。

また、場内運搬、仮置き等の場合にも注意が必要である。算出結果として見かけ上、ほぼ何も施工していないように見える場合がある。施工手順によってはこういった数量が見えづらい場合があり、算出結果と実際の施工を照らし合わせ確認することも重要となる。

これらの留意点への対応としては、計測データをよく確認すること、必要に応じてノイズ処理等の手動処理を加えること、またあくまで概算数量として取り扱うと理解することが必要である。

§ 6. おわりに

ICT 建機等の ICT を活用した施工・施工管理は施工性、安全性共に向上しその効果は大きい。一方、図面の変更等が発生する場合、データの修正に費用と日数がかかるため、従来測量での施工よりも着手へのスピードが劣ることがある。しかし ICT 建機による施工は、オペレータ 1 人でデータ通りの施工を進めることができるため、日々の施工では測量工、手元作業の省力化が実現できた。

なお、今回の施工方法は ICT 土工の一つの例であり、施工方法によって必要なデータは異なることを留意されたい。例えば本工事では出来形を現場仕上り後に改めて計測しているが、ICT 建機の施工履歴データを取得し、それをもとに出来形管理を行う方法もある。この場合、日々の施工履歴データを常に取得、整理する必要もあり、これが後の検査書類、納品データとなり、施工前に必要なデータ等を十分把握しておくことが重要となる。ICT 活用工事に限らないが、データの作成、確認、修正などの手間と時間を考慮すると、最終的に必要なデータを見据えて事前に準備することが特に重要だと考える。

ICT 活用により施工性の向上、書類の簡素化に繋がった一方、現時点では ICT を利用することで手間が増える場合もあり、従来法の管理や検査を織り交ぜながら活用することが、当面効率化に繋がる対応かと考える。

謝辞. 本工事の施工ならびに ICT 活用にあたり、国土交通省福島河川国道事務所の方々をはじめ、ご協力、ご指導いただいた関係各位に感謝いたします。