

砂防工事におけるICT施工技術を活用した 工事の手引き（案）の作成について

石田 哲也¹・目黒 喜之²・石山 慧²・林部 龍雅²

¹飯豊山系砂防事務所（〒999-1363 山形県西置賜郡小国町大字小国小坂町3-48）.

²飯豊山系砂防事務所 調査課（〒999-1363 山形県西置賜郡小国町大字小国小坂町3-48）

砂防工事は山間地域で実施されるためインターネット通信環境の確保が難しく、GNSS衛星を活用したICT施工の実施が困難な地域が多い。また、施工現場が狭隘で地形が複雑なため、杭ナビシステム等の活用も制限される場合がある。そこで、携帯キャリア等の衛星通信技術を活用したインターネット通信環境の整備によりICT施工が可能か検証実験を行った結果、実施可能であることが明らかになった。この結果を踏まえ、飯豊山系砂防事務所発注工事におけるICT施工の参考として「砂防工事におけるICT施工技術を活用した工事の手引き（案）」を作成した。

キーワード 砂防工事, ICT施工, DX

1. はじめに

近年、就労者の高齢化や人手不足への対応策として、デジタル技術を活用したDX（デジタルトランスフォーメーション）が様々な分野で推進されており、業務の効率化、省人化、安全性の向上等が図られている。建設分野においても、ICT施工の導入により、丁張りや検測、施工作業等の簡素化・省力化が進められている。

一方、砂防工事の施工現場は山間地域に位置することが多く、通信環境の確保が困難であることから、地域によってはICT施工の導入実績が比較的少ないのが実情である。また、携帯電話の不感地帯となっている箇所も多いことから遠隔臨場による材料確認や現地確認の効率化についても十分な活用が進んでいない地域がある。

こうした状況を踏まえ、飯豊山系砂防事務所では、山間地域の砂防現場におけるDXの推進を目的として、管内の砂防工事でICT施工へ取り組む際の参考資料となるよう、「砂防工事におけるICT施工技術を活用した工事の手引き（案）」（以下「手引き」という）を作成した。

本報では、砂防事業におけるDXを推進するため、建設現場で活用が進められているICT施工技術の砂防工事への適用に向けて実施した実証実験の内容とその評価について報告する。また、実証結果を踏まえて作成した手引き作成における工夫点及び今後の展開について報告する。

2. 砂防工事におけるICT施工の課題

砂防工事の施工現場は山間地域に位置し、自然環境が豊かで周辺には樹木が繁茂している場合が多い。このため、ICT施工に必要なGNSS衛星の捕捉が難しく、一般的にGNSS衛星を利用したICT施工の適用が困難となる場合が多い。また、携帯電話の不感地帯となっている現場も多く、通信環境の確保が課題となっている。

このように、従来は通信環境が大きな課題であったことから、砂防工事ではICT建機を利用したICT施工の実施に制限があった。近年では、ICT施工技術も様々な通信技術を取り入れてきており、現在ではインターネット通信環境があればRTK-GNSS方式によるICT施工が実施可能となっている。さらに、衛星通信技術を活用した通信環境の整備が可能となってきた。こうした通信技術を活用し、山間地域で実施される砂防工事現場においても安定した通信環境を確保することが出来れば、ネットワークを用いたRTK-GNSS方式によるICT施工の導入が可能となる。その結果、砂防工事における生産性向上等に大きく寄与することが期待される。

3. ネットワークを用いたRTK-GNSS方式を活用した砂防工事におけるICT施工の検証実験

(1) ICT施工の検証実験実施対象工事

インターネット通信環境を構築することで主に砂防工事が行われる山間地域でのRTK-GNSS方式を活用したICT施工の適用可能性について検証実験を行った。

検証実験の対象工事は、山形県西置賜郡小国町足水中里地先で行われている小川沢砂防堰堤工事とした（図-1）。当該工事箇所は、ICT施工に必要な通信環境として、ICT施工範囲全体で複数のキャリアで携帯電話回線の通信環境が良好で、Starlink通信衛星との接続も遮蔽率が小さく、ICT施工を実施するには問題ない状況で、GNSS衛星の捕捉状況も良好な施工地である。検証実験の対象工種は、『土工』とし、同一施工箇所において従来施工とICT施工の双方を実施することとした（図-2, 3, 4）。施工精度の評価は、工事内での出来形計測結果を比較することで評価することとした。

なお、Starlinkは多数の人工衛星を使った高速・低遅延の衛星インターネットサービスで、Starlinkは通信環境の構築と運用が容易である。Starlinkは、ネットワークを用いたRTK-GNSS測位以外に、IP電話、遠隔監視、遠隔臨場等のDX活用が可能であり、副次的効果も期待できる。また、現在はStarlink以外のサービスも運用され始めている。

(2) ICT施工に用いる測位システムの選定

本検証実験で用いるICT施工の測位システムを選定にあたり、ICT施工で用いられている一般的な測位方式の環境や特徴等を示す（表-1）。また、ネットワークを用いたRTK-GNSS方式では、VRS型（移動体測位方式）と固定局型（ローカル基地局測位方式）の2種類に分けられ、それぞれの環境や特徴等も示す（表-2）。

土木工事では、どの方式も活用されており、それぞれの現場条件に合わせて測位システムが選定されている。そのため、測位システムと通信環境との関係性について整理した（表-3）。

本検証実験では、中山間地域で通信環境が比較的悪い場合においても、ICT施工の適用可能性を確認することを目的として、GNSS衛星の捕捉は難しいが、衛星通信（例えば、Starlinkなど）を活用したインターネット通信環境が確立可能な場合におけるICT施工の適用性を評価することとし、ネットワークを用いたRTK-GNSS方式でVRS型（移動体測位方式）を選定した。

(3) ICT施工のシステム構成

小川沢砂防堰堤工事現場におけるネットワークによるRTK-GNSSを用いたICT施工実施時の機器構成を示す（図-5）。なお、GNSS受信機及びコントローラは、ICT建機に既存で設置されている（写真-1）。

ICT建機のシステムとして、一般的な2種類のシステムを示す（表-4）。本検証実験では、ICT施工による効率化をより明確に把握するため、ICT施工の経験が少ないオペレータによる施工を実施した。使用機械は、高い施工精度が得られるマシンコントロール（MC）方式のバックホウ（コマツ製、0.45m³級）を採用した。



図-1 検証実験をした小川沢砂防堰堤工事位置図

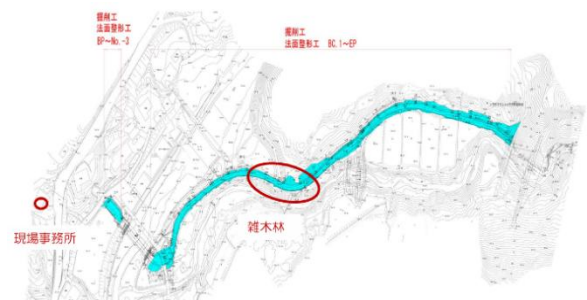


図-2 施工範囲平面図

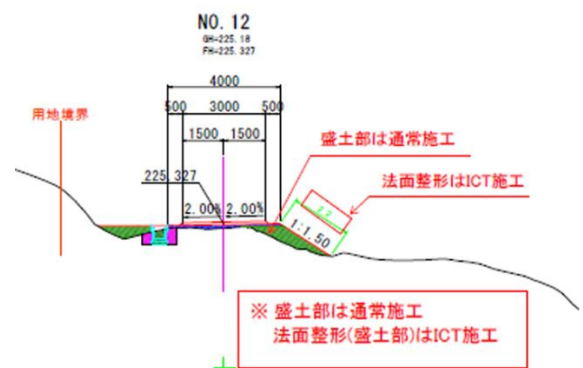


図-3 道路土工：法面整形（盛土部）標準断面図

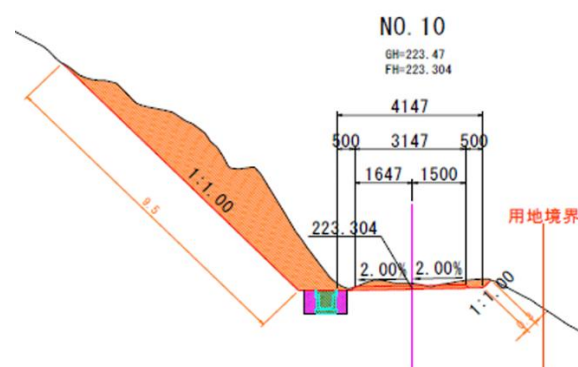


図-4 道路土工：法面整形（切土部）標準断面図

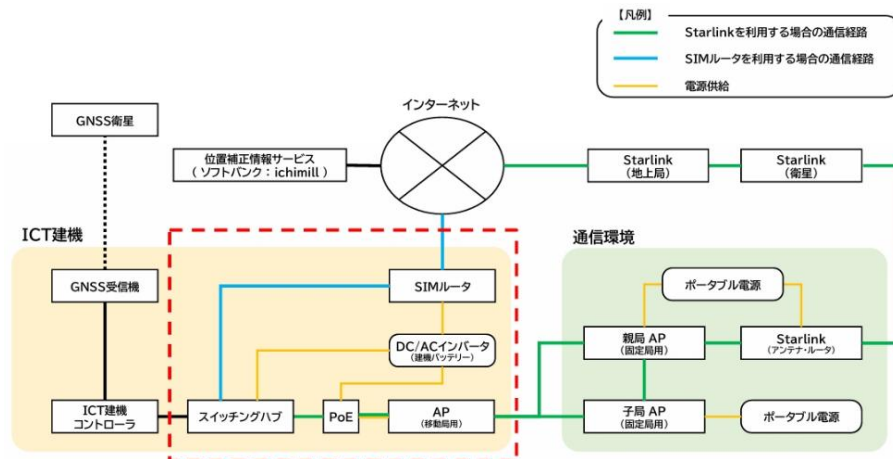


図-5 ネットワークによるRTK-GNSSを用いたICT施工実施時の機器構成
(赤枠が本検証実験で対象のネットワーク接続環境)

表-1 測位方式

測位方式	① RTK-GNSS方式	② ネットワークを用いた RTK-GNSS方式	③ TS方式 (自動追尾、杭ナビ)
ネットワーク 接続	不要	必要	不要
GNSS受信	必要	必要	不要
基準点	必要	VRS型: 不要 固定局型: 必要	必要
留意事項	● 基地局とICT建機を無線で接続 ● 1つの基地局で複数建機と接続可能	● 通信契約、補正サービス契約が必要 ● 固定局型では基地局とICT建機を無線またはWi-Fiで接続	● 基地局とICT建機をレーザーで接続 ● 通行車両等により接続が切れる場合あり ● 自動追尾型の方が接続範囲が広い
市場性	○	◎	○
コスト※	高	③(自動追尾)=①>②(固定局型)>②(VRS型)>③(杭ナビ)	安
施工性※		高	②(VRS型)>①=②(固定局型)>③ 低

※本試行工事での条件での比較(バックホウ1台、小規模)

表-2 ネットワークを用いたRTK-GNSS方式の種類

構成	②-1 VRS型 (移動体測位方式)	②-2 固定局型 (ローカル基地局測位方式)
概要	● 国土地理院の電子基準点データと建機搭載の移動局の位置情報を移動局がネットワークから補正情報受信して位置情報を補足する方式 ● 固定局の設備が不要	● 座標が既知の工事基準点上に設置した基地局で位置情報の補正情報を取得し、建機搭載の移動局の位置情報を補足する方式
必要設備 (ICT建機以外)	● なし ※ ICT建機に受信機がある場合	● ローカル基地局 ● 無線LANアクセスポイント又はデジタル無線設備 ● ポータブル電源設備
通信契約 補償サービス	● ICT建機ごと ※ 複数台同時稼働時は台数分契約が必要	● 固定局ごと ※ 複数台同時稼働時も1契約
留意点	● 通信環境が悪い箇所が含まれる場合は適用やや難	● 固定局の据替が必要な現場は手間が増加 ● 固定局との接続が問題なければ一部通信環境が悪くても適用可能

表-3 測位方式と通信環境等との関係

現場条件			実施できるICT施工		
Internet	GNSS捕捉	RTK-GNSS方式	ネットワークを用いたRTK-GNSS方式		TS方式
			VRS型 【移動体測位方式】	固定局型 【ローカル基地局測位方式】	
○	○	○	○	○	○
○	×	×	×	×	○
×	○	○	×	×	○
×	×	×	×	×	○



写真-1 キャビン内に設置した各機器

ICT建機の通信環境への接続は、建機に設置するアクセスポイント（以下、「AP」という）により接続される（写真-2）。Starlink 本体が提供するWi-Fi通信環境エリアは半径7.6mと限られていることからAPを接続することにより、位置補正サービスからの位置情報の補正情報をインターネット及び構築した通信環境を経由して、安定した通信することが可能となる。ネットワーク接続環境を構成する各機器については、ICT建機との互換性が確認されている機器を採用した（写真-1）。また、インターネットに接続する通信を冗長化するため、携帯電話回線に接続可能なSIMルータを設置した。

ICT建機に接続するAP及びSIMルータはどちらかがスイッチングハブに接続されている場合、もう一方は接続しない運用とした（図-5）。

4. 検証実験結果

本検証実験の結果は次のとおりであった。

(1) 人工（図-6（上図））

- ・ 起工測量や出来型計測は、UAV計測により作業時間が約4割程度削減された。
- ・ 丁張設置が不要になったことで当該作業員の人工が削減できた。
- ・ 施工中に位置出し等を行う手元作業員も不要になることで、ほとんどの作業をオペレータ1名で施工することが可能となった。
- ・ 設計図面と現況に不整合があったことから、3次元設計データ作成時に設計データ修正作業が必要となった。
- ・ 内業（設計照査、出来形資料作成等）の手間は従来施工とほとんど変わらなかった。

(2) 施工日数（図-6（下図））

- ・ 本検証実験ではICT施工範囲のうち、樹木が生えている場所（図-2）で作業した午前中にGNSS衛星やStarlinkが繋がらない事象が度々発生したため、ICT建機が動かせずに手待ち時間となり、全体の施工日数はほとんど変わらなかった。



写真-2 ICT建機に設置したAP

表-4 ICT建機搭載システム

MG: マシンコントロール Machine Control	MG: マシンガイダンス Machine Guidance
作業機の位置を計測し、建機の油圧を制御して作業機を半自動でコントロールするシステム	作業機の位置を計測し、表示・誘導(ガイダンス)するシステム

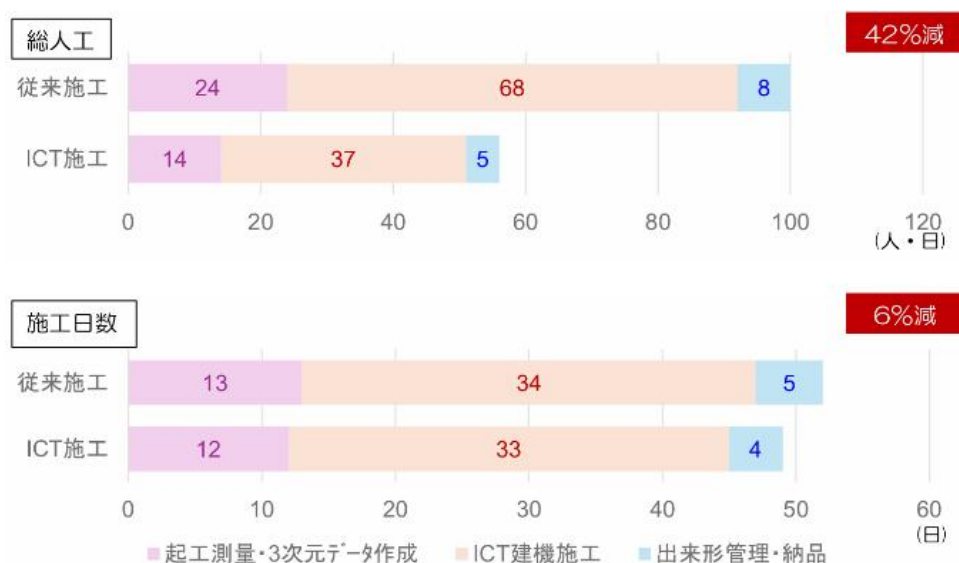


図-6 ICT施工による人工（上）と施工日数（下）

(3) 施工精度

本検証実験で実施した工事の施工精度について、従来施工とICT施工の双方の計測結果で比較した（表-5）。

出来形計測結果の平均値・最大値・最小値は、従来施工・ICT施工とも全て規格値内に収まっていた。平均値はICT施工の方が小さく、最大値/最小値は従来施工の方が小さかった。

本検証実験では、ICT施工による施工精度は従来施工の施工精度とほぼ同程度の精度が確保出来ていることが確認できた。

表-5 出来形計測範囲と計測結果
（設計高と計測高の差）

	従来施工	ICT施工	規格値
工種	路体盛土工	掘削工	
測点数	1,094点	2,083点	
面積	907.3m ²	1746.3m ²	
平均値	-10.1mm	-7.8mm	±50mm
最大値	+58mm	+68mm	±150mm
最小値	-86mm	-99mm	±150mm
棄却点数	0	0	0.3%以内

(3) 検証実験から得られた留意点

本検証実験の結果から、現場条件に応じて施工前に確認すべき事項が明らかになった。

a) 衛星通信の接続安定性の確認

検証実験では、時間帯による衛星配置の変化により、GNSS衛星やStarlink衛星との接続が不安定となり、ICT建機の運用に待機時間が生じる場面があった。このため、利用する衛星の通信環境を十分に確認する必要がある。

b) 3次元設計データの整合性の確認

検証実験では、起工測量の結果、法線位置が設計図面と不整合であったことから、3次元設計データの修正により、手戻りが生じた。このため、3次元設計データの作成時には、現況地形、設計図面及び施工範囲との施工確認を十分に行い、施工着手前に設計データの修正要否を確認する必要がある。

c) TS・建機間の接続維持の確認

本検証実験とは別に実施された施工現場において、杭ナビシステムによるICT施工では、ICT建機の旋回等の動作や、杭ナビとICT建機との間に車両や作業員が割り込むことにより、杭ナビとICT建機間のレーザ接続が遮断され、再接続に時間を要する場合が確認されている。このため、杭ナビとICT建機間に支障物が入らないよう、現場内の作業員や車両の導線及び機器配置を事前に検討しておく必要がある。

5. 手引き（案）作成

本検証実験結果及び別工事で実施した杭ナビシステムによるICT施工の成果も踏まえて、「砂防工事におけるICT施工技術を活用した工事の手引き（案）」を作成した（図-7）。

手引き（案）作成に当たっては、施工業者からの意見や要望を踏まえ、基準等の詳細な文書を基本とした手引き（案）ではなく、実務上必要な要点を簡潔に示し、詳細な事項を確認したい場合は関連基準類が分かるように巻末に整理してとりまとめた。具体的には、確認項目をチェック方式で記載し、アドバイスなどは「ポイント」として表現するなど、視覚的にわかりやすくなるように留意して作成した。また、検証実験等の実施事例を基に

とりまとめたものについては、その実施効果を記載し、施工業者が取り組むことで得られる効果が分かるようにすることで、導入に対する関心や意欲を持ってもらえるように工夫をした（図-8）。

6. まとめ

本検討では、飯豊山系砂防事務所管内における砂防工事のDXの推進、及び業務効率化を目的として、施工業者の協力やニーズを得ながら、手引き（案）を作成した。また、本手引き（案）は、北陸地方整備局ホームページに掲載され、広く活用できる環境が整備された。

今後は、発注時や施工協議時に本手引き（案）の周知を図り、ICT施工の導入支援に活用していくとともに、基準類の改訂や新たなICT技術の導入状況、及び施工事例の蓄積を踏まながら、適宜、内容の充実・更新を行うことで、管内の砂防工事現場における更なる施工の効率化、省人化及び安全性の向上に繋げていきたい。

砂防工事における ICT 施工技術を活用した工事の手引き(案)	
令和7年3月	
目次	
1. ICT活用工事について	1.6 3次元出来形管理等の施工管理
1.1 発注から施工開始までの流れ	1.6.1 面・断面の出来形管理手法
1.1.1 通常施工とICT活用工事の違い	1.6.2 出来形管理基準及び規格値の留意点
(1)ICT活用工事とは	1.6.3 写真管理
1.2 準備工	1.7 3次元データの納品
1.2.1 事前準備	1.7.1 出来形管理図
1.2.2 現地踏査	1.7.2 電子納品について
1.2.3 施工計画書の作成	2. 電波不感地帯でのICT施工
1.3 3次元起工測量	2.1 Starlinkを活用したICT施工
1.3.1 工事基準点の設置	2.2 航ナビシヨベルによるICT 施工
1.3.2 精度確認試験結果の作成	3. 参考資料
1.3.3 起工測量の実施	
1.4 3次元設計データ作成	
1.4.1 3次元設計データの作成	
1.4.2 3次元設計データの照査	
1.5 ICT建設機械による施工	
1.5.1 MGとMC	
1.5.2 ICT建機の位置情報取得	
1.5.3 ICT施工の実施方法	
1.5.4 砂防土工の主なICT建機	

図-7 作成した手引き（案）の表紙と目次

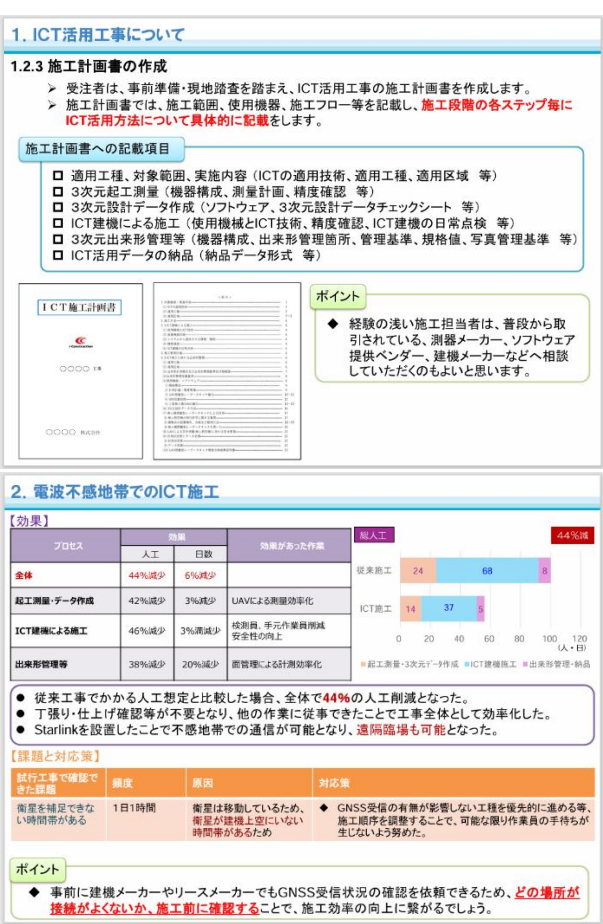


図-8 作成した手引き（案）の記載例