

ICTの活用による土工事施工および管理業務の省力化

東急建設株式会社 正会員 ○太田 啓介 東急建設株式会社 正会員 小島 文寛
東急建設株式会社 正会員 菅原 健太 東急建設株式会社 正会員 小寺 光秀

1. 概要

現在、技能労働者の高齢化、若年層の低い入職率のため、今後十数年を見通した場合、技能労働者数の減少が続く見込みであり、建設業に従事するものとして生産性を向上させることが求められている。近年推進されてきた、CIM¹⁾、IoT²⁾、そして今年度から開始された i-Construction 等、建設業の技能労働者の減少に対して、3次元データを活用した設計、ICTを活用した施工等による、省力化・効率化が進められている。本報文は、国道45号宮古北地区道路工事で行なっているICTを活用した現場の生産性向上への取り組み状況、および現状判明している効果について報告するものである。

2. 事業および工事の概要

2.1 事業概要

三陸縦貫自動車道の整備は、三陸沖や宮城県沖等の大規模地震による被害発生時の救助・救援活動の支援や緊急物資の輸送、孤立地域の解消等を支える、広域的防災に資する道路ネットワークの強化事業である。

2.2 土工事区間工事概要

国道45号宮古北地区道路工事は、三陸縦貫自動車道の宮古田老工区を構築するものである。岩手県宮古市の山間部に、トンネル区間1kmおよび、切土・掘削、盛土の土工事区間約500mを含む道路の造成工事であり、大きく分けてトンネル工事区間（崎山地区）と土工事区間（山口地区）に分かれている（図2-1）。本報文では、このうち土工事区間（山口地区）を対象にしている。

土工事区間では、岩手県宮古市街地近傍において、切土・掘削569,320m³、盛土347,000m³を施工する（図2-2）。掘削土砂のうち347,000m³は場内での盛土利用であるが、残りの222,320m³は土捨場への場外搬出となっている。また、切土箇所は丘陵部に位置しており、法面は最大で約35mの高低差を有するため、施工中の正確な土量の把握が困難な地形となっている（図2-3）。

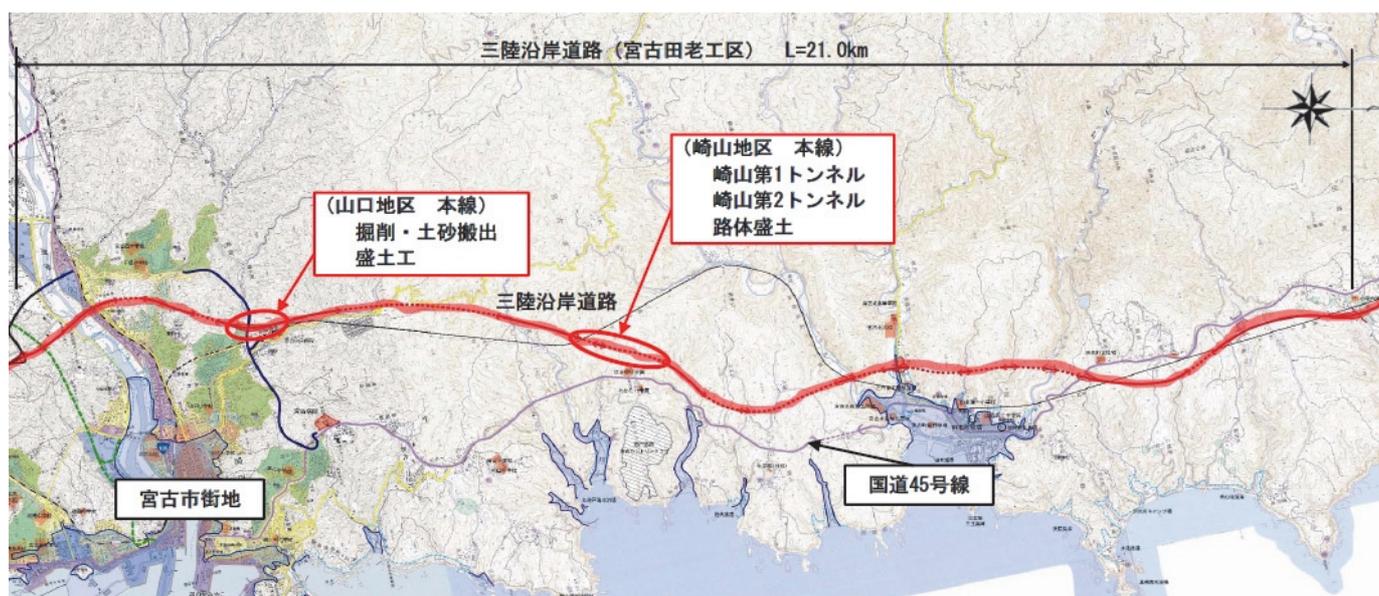


図2-1 国道45号宮古北地区道路工事概要

キーワード ICT, 土工事, バックホウ MG, UAV 測量

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内) 土木本部土木技術設計部 TEL 03-5466-5322

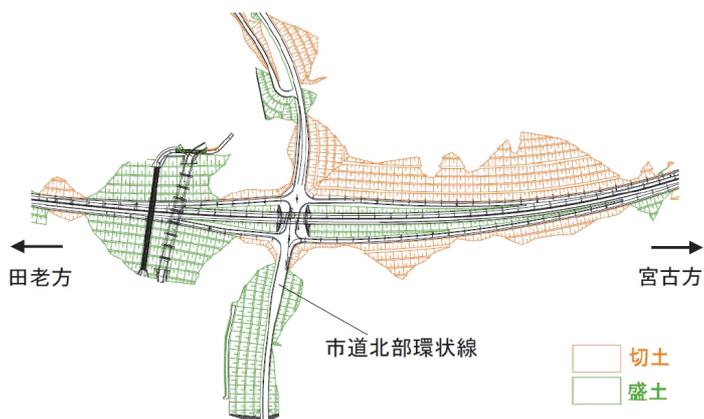


図 2-2 宮古北山口地区平面図

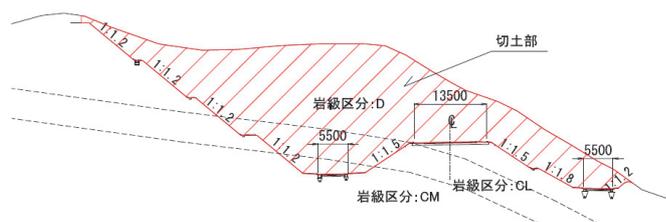


図 2-3 宮古北山口地区断面図

2. 3 課題・問題点

本工事は、本線法面全体が曲線区間となっており、出来形精度を向上させるためには複数の法丁張りが必要となる。加えて、国道本線と市道が交差する箇所では、上り、下り合わせて4本のランプが存在しているため複雑な断面形状をしており、施工中の現状把握が比較的困難な工事となっている。また、本工事では切土、盛土、そして掘削土砂の場外搬出を並行して行なうため、現状の土量を把握しながらの効率的な土配計画の策定が必要であり、工期の厳守のためには、施工中の土量を如何にして把握するかが重要となっていた。

また、近年では震災復興による建設需要の増加、建設業全体の高齢化、低入職者数のため建設業従事者不足が問題として顕在化してきている。本工事においては、特に、法面整形作業を行うための重機技能者、そして施工管理技術者の確保が困難であったため、これらの作業に関して省力化を図る必要があった。

3. ICT を活用した現場施工

土工事における ICT の活用事例は近年急激に増加している。また、本年度には i-Construction が公表されたことにより、ICT の活用が義務化された工事もでてきており、3D データの使用、重機の作業補助や半自動運転といった情報化施工等による現場作業の生産性向上を図る動きが一般化しつつある。

そこで本工事では、前述した土工事における施工中の土量管理、そして機械土工、施工管理の省力化のために ICT を活用した施工を行なうこととした。本工事において適用している ICT を活用した技術を表 3-1 に示す。

機械土工に関しては、切土法面整形工の作業効率向上のため、バックホウの3次元マシンガイダンスシステム（以下、バックホウ 3DMG）を使用している。施工管理においては、測量補助機器であるデータコレクターを使用することによる 3D 設計データを活用した測量による測量作業の省力化、また、土工事の進捗状況の確認・施工土量の把握のために定期的に UAV³⁾を使用した空中写真測量（以下、UAV 測量）による現場全体の土量管理を行なっている。

表 3-1 適用技術一覧

作業	適用した ICT	期待する効果	備考
①施工（機械土工）	バックホウ 3DMG	作業効率向上、品質向上	・切土法面整形工において使用
②施工管理（測量・位置出し）	データコレクター	作業効率向上	・丁張りの設置、土工事の出来形確認にて使用
③施工管理（土量管理）	UAV 測量	管理精度向上、施工数量の正確な把握	・土工事の施工が進捗後、およそ1ヶ月毎に進捗・施工数量確認のため測量を行う

4. 適用技術の概要と効果検証

本工事における土工事での ICT の活用効果を検証した。以下に各技術に関する検証結果を示す。

4. 1 バックホウ 3DMG

①技術概要

バックホウ 3DMG (写真 4-1) は、機体の位置情報および傾き等 (ブーム・アーム・バケットの傾き、本体の傾き) から計算したバケット刃先位置情報と 3D 設計データとの差分を、操縦席に取り付けた補助モニター (写真 4-2) に表示する機械土工の操作補助 (ガイダンス) システムである。オペレーターはこの補助モニターに表示されたガイダンス情報に従って切土・法面整形等の作業を行うことで、従来では、法面の切り出し位置に設置された丁張りに基づいて、バックホウ外部で行っていた出来形形状の確認作業を操縦席内で確認することができる。



写真 4-1 バックホウ MG システム



写真 4-2 操縦席内補助モニター (コントロールボックス)

②検証項目

バックホウ 3DMG を使用するにあたり、従来作業との比較による作業手順、作業効率の確認、および施工精度の検証を行なった。

a) 作業手順および作業効率の比較

バックホウ MG 無しの従来方法で施工する場合とバックホウ MG を使用して施工する場合の切土法面整形工における作業手順を図 4-1 に示す。バックホウ MG システムを使用することで、従来の方法では必要となる丁張りの設置作業や丁張りを確認しながらの法面整形の仕上げ作業を省略することができる。

作業効率に関しては、切土法面整形工の日当り施工量を測定することで、従来方法との比較を行なった。掘削時には法面仕上がり面から 30cm 程度の表土を残して荒掘削を行ない、その後法面整形の仕上げ作業を行っている。本検討において、バックホウの 3DMG による作業効率の確認は、法勾配 1:1.2、法高 7m の連続した法面を対象区間として、荒掘削後の法面整形仕上げ作業における日当り施工量を測定した。本測定箇所の土質は礫等を含まないマサ土であり、比較的法面整形の容易な土質である。

バックホウ 3DMG を使用した場合の切土法面整形工の日当り施工量は 400m²/日であった。バックホウ MG 無しの従来方法の場合、およそ 200m²/日⁴⁾の施工量であることから、連続した法面の整形に関しては、バックホウ 3DMG を使用することで効率化できることが確認できた。ただし、切土法面整形における重機足場の盛替え、掘削土の積込み・搬出等に関しては両者で違いはないため、切土法面整形の作業全体としてみた場合は、測定した数値程の効果は現れないと考えられる。また、礫混じり土や軟岩等の作業性の悪い地質状況においても同様の効果を得ることができるかについては、今後確認していく必要がある。

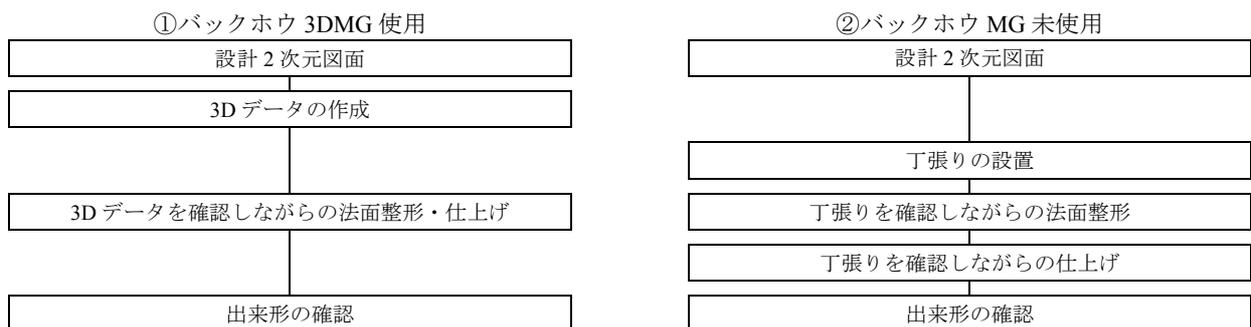


図 4-1 法面整形工の作業手順

b) 施工精度の確認

今年度から開始される i-Construction 型工事により、切土および盛土に関して、3次元計測による面的な出来形確認が行われることになる。従来の出来形計測では、標高、法長、小段幅等の計測により土工の出来形確認（トータルステーション（以下、TS）を用いた出来形管理）を行なっているのに対して、3次元計測による面的管理では、法面を含む全ての箇所での座標による出来形確認となるため、法面中腹等を含めた全体としての出来形精度が求められることになる。本検証では、バックホウ 3DMG を使用して施工した場合に、この全体としての精度を確保できるかについて確認を行なった。

バックホウ 3DMG による施工誤差としては、操縦席内の補助モニターを見ながらの作業によるオペレーターの機械操作による人為的な誤差、そして、バックホウの位置情報の取得に用いられている GNSS の測定精度の変動によるシステム的な誤差が上げられる。本検証では、これらの人為的な誤差、システム的な誤差を包括して、バックホウ 3DMG の誤差として計上している。

出来形精度に関しては、「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）（案）」に基づいた UAV 測量により、切土法面の出来形計測を行うことで確認した。本検証では、878m²の法面を測量対象範囲として出来形計測を行なった。ここで、出来形確認における UAV 測量の測量精度は±50mm 以下であった。出来形の計測結果と設計形状との比較を図 4-2 に示す。出来形精度の検証は、法肩・法尻から 50mm の区間は検証対象外とし、法面について 1 点/m²以上の頻度で確認を行なった。出来形は、+155~-122mm（平均は+32mm）の精度であり、「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）（案）」の規格値内での施工精度となっていることが確認できた。

バックホウ 3DMG を使用した場合には、補助モニターに表示される設計データを見ながら作業を行うため、法面全てについて施工中に出来形の確認を行なうことができる。そのため、バックホウ 3DMG を使用することで、法面を含めた測定箇所全体として+32mm の精度での施工ができたと考えられる。これに対して従来のバックホウ MG 無しの施工では、施工中は、丁張りと丁張りの間の出来形に関しては両者を見通すことで確認を行っている。また、法長が長くなったとき丁張り自体の精度は下がる傾向にある。そのため、本検証では確認ができていないが、従来の MG 無しのバックホウによる施工では今回の検証結果よりも全体としての施工精度は低下する可能性がある。



図 4-2 法面出来形確認結果

③検証結果および効果

バックホウ 3DMG に関する検証結果を表 4-1 に示す。本検証結果から、バックホウ 3DMG を使用することにより、従来方法と比較して、荒掘削後の重機足場の整備、掘削発生土の積込み等を含まない切土法面整形の作業効率は2倍程度に向上すること、丁張り設置作業の省略により測量作業の省力化を図ることができること、出来形の精度に関しては、バックホウ 3DMG による施工で i-Construction 型工事の切土工の出来形要求精度を満足することが確認できた。

表 4-1 バックホウ 3DMG の検証項目および効果

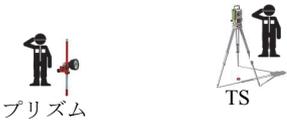
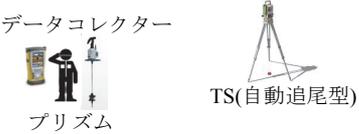
検証項目	検証方法	検証結果	効果
a. 作業手順	従来作業との比較	測量作業の省力化	・従来作業と比較して、丁張り設置作業を軽減することができる
b. 作業効率	法面整形の歩掛り比較	400m ² /日（切土法面整形のみ） ※従来では 200m ² /日	・MG を使用しないバックホウでの施工と比較して切土法面整形工の作業効率は 2 倍程度に向上した
c. 施工精度	出来形の面的確認	+155mm~-122mm	・「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」の規格値内の精度であった

4. 2 データコレクターを使用した測量

①技術概要

データコレクターは、TS などの測量器械と一対で使用する測量支援ツールであり、3D 設計データを登録することで、任意箇所の出来形計測、丁張り設置、また、リアルタイムで設計データと比較しながらの現況測量等が可能となる。一般にデータコレクターと共に使用される測量器械は、TS と GNSS 受信機の 2 種類がある。今回データコレクターの導入にあたり、①従来の TS のみを用いた方法（以下、従来 TS）、②TS+データコレクター（以下、TS+DC）、そして③GNSS 受信機+データコレクター（以下、GNSS+DC）の 3 種類の方法で実際に測量を行い、測量作業の省力化についての検証を行った。各測量方法による器械構成および概念図を表 4-2 に示す。

表 4-2 測量器械および測量支援ツールの構成

No.	構成	測量器械	測量精度（一般的な精度）		備考	器械構成概念図
			水平	鉛直		
①	従来 TS	TS	±3mm	±5mm	・従来の方法	
②	TS+DC	TS	±3mm	±5mm	・自動追尾型 TS の使用でワンマン測量が可能 ・3D 設計データが必要	
③	GNSS +DC	GNSS 受信機	±20mm	±30mm	・ワンマン測量 ・TS を使用した測量と比較すると精度は悪い ・GNSS の受信方式によっては固定局が必要 ・3D 設計データが必要	

②検証項目

今回、①従来 TS、②TS+DC、③GNSS+DC の 3 種類の構成での丁張り設置作業に掛かる作業時間の比較を行なった（写真 4-3、写真 4-4）。各構成での丁張り設置作業における作業手順を図 4-3 に示す。3D 設計データがある場合には、データコレクターを使用することで、従来の方法では測量毎に必要なとなっていた測量データの準備作業を省略できる。併せて、測量ミス要因の一つである座標の拾い間違いを防止することができる。また、データコレクターと自動追尾機能付き TS もしくは GNSS 受信機を組み合わせることで、ワンマン測量が可能となるため、測量作業の省力化を図ることができる。

作業効率に関しては、丁張り 1 基を設置するまでに掛かる作業時間の計測、比較を行った。丁張り設置作業に掛かる作業時間の比較結果を図 4-4 に示す。①従来 TS と②TS+DC を比較した場合、現場での丁張り設置に

掛かる作業時間には違いはなかったが、②TS+DC では測量準備作業を省略できることによる効果が見られる。③GNSS+DC では、①従来 TS と②TS+DC で必要となる TS の設置作業が必要ないため、現場での作業時間は最も短い結果となった。また、TS の据付け作業を除いた丁張り設置のみの作業時間に関しても、①従来 TS および②TS+DC での作業に比べて 2 割程度短いものであった。



写真 4-3 TS+DC による測量状況



写真 4-4 GNSS+DC による測量状況



図 4-3 丁張り設置作業手順

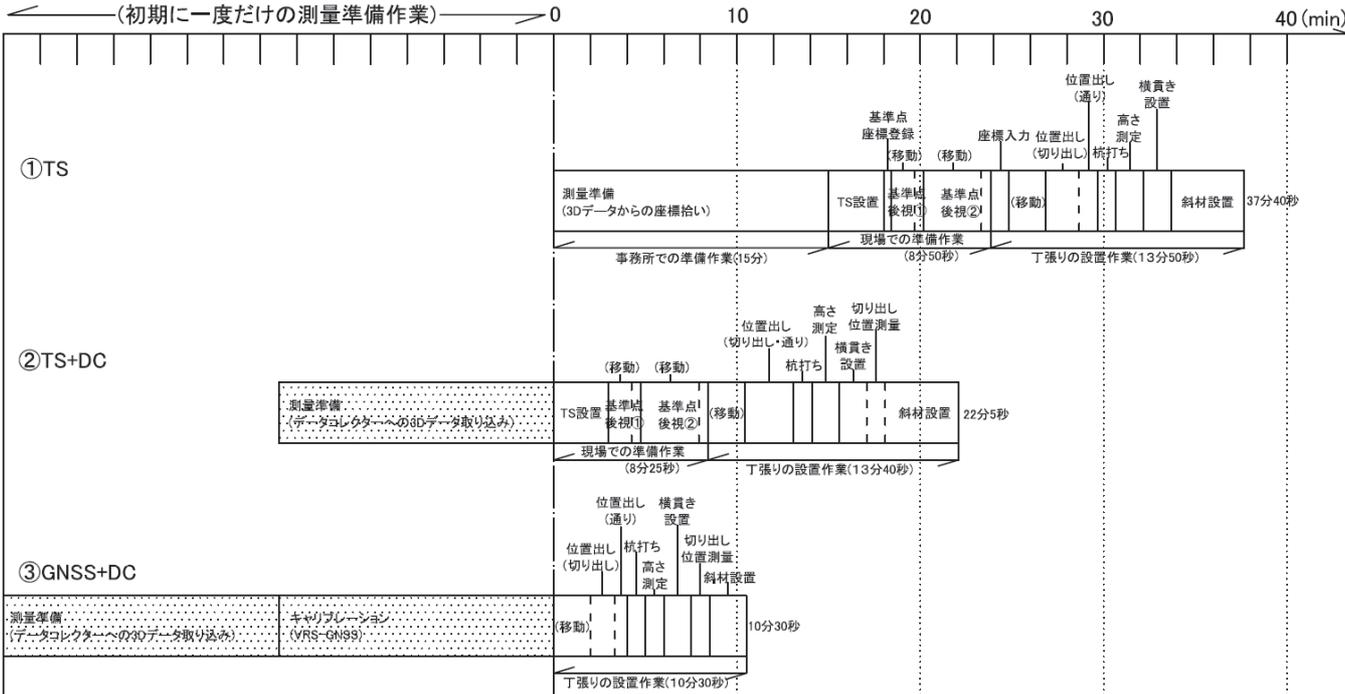


図 4-4 丁張り設置作業に掛かる作業時間の比較

③ 検証結果および効果

データコレクターに関する検証結果を表 4-3 に示す。3次元データを活用し、データコレクターを使用することで、測量前の測量準備作業を省略することができる。丁張りの設置作業に関しては、GNSSを使用することでTSを使用する場合と比較して、器械の据付け作業を除いた丁張りの設置作業に掛かる作業時間は2割程度短縮できることが分かった。

また、作業時間のみでなく、データコレクターとGNSS受信機および自動追尾機能付きTSを組み合わせることでワンマン測量が可能となるため、従来のTSのみで行なう測量と比較して大幅な省力化を図ることができる。ただし、GNSSを使用した測量をする場合には、TSを使用した測量と比べて測量精度は低下するため要求精度を確認して使用する必要がある。

表 4-3 データコレクターの検証項目および効果

検証項目	検証方法	検証結果	効果
a. 作業手順	従来作業との比較	・データコレクターを使用することで測量準備作業を省略できる	・データコレクターを使用することで測量準備作業を省略でき、省力化を図ることができる
b. 作業効率	丁張り設置に掛かる作業時間の比較	・GNSS受信機を使用した場合、TSでの測量と比較して、丁張りの設置作業時間は2割程度短くなる	・TSを使用する場合、データコレクターのあり、なしで現場での丁張り設置作業時間に違いはない ・GNSSを使用することで丁張り設置作業時間を短縮することができる

4. 3 UAV 測量による土量管理

① 技術概要

従来、施工中の土量の算出は、対象区間での横断測量や特徴点の測量により得られた測量データから算出を行っており、複雑かつ広範囲の土量を把握することは困難であったが、UAV 測量を行うことで容易に現況把握を行なうことができる。UAV 測量状況を写真 4-5 に示す。

UAV 測量による土量算出では、工事着手前に UAV 測量による当該地形の「着工前 3D モデル」を作成し、土工事がある程度進捗した後に、およそ1ヶ月毎に UAV 測量による当該地形の「現況 3D モデル」を作成し、「着工前 3D モデル」との差分から当該期間の施工土量を算出する。

② 算出結果とその活用

UAV 測量により得られた地形データを図 4-5 に、「着工前 3D モデル」と「現況 3D モデル」との差分に基づく、施工土量の算出図面を図 4-6 にそれぞれ示す。なお、「現況 3D モデル」は、土工事の施工開始後5ヶ月が経過した段階での現況モデルである。施工土量の算出図面を見ることで、工程の進捗状況の確認や測量後の重機の配置等を含めた施工計画の策定に利用することができる。

また、施工土量算出における UAV 測量の測量誤差は最大で 100mm 程度であったが、図 4-7 に示すように、断面積に対して最大でも 1%程度の誤差であるため、土量算出にはほとんど影響のない精度であると判断した。



写真 4-5 UAV 測量状況

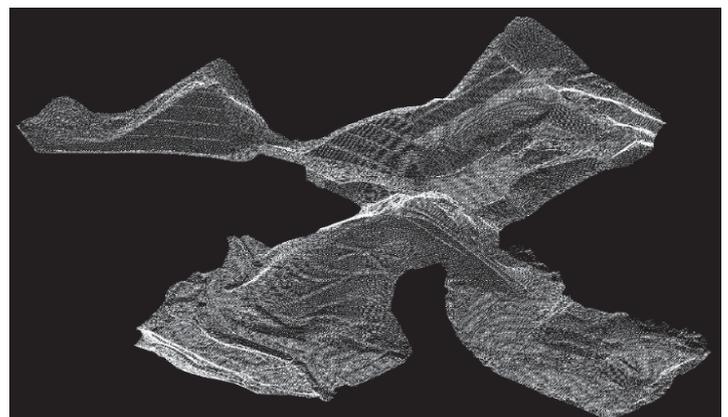


図 4-5 地形点群データ「現況 3D モデル」

今回、各月での施工土量を把握することにより、次月の工程および重機の配置を含めた施工計画の策定、部分出来高の確認を行なった。起伏の少ない地形においては、TS によって現況の特徴点を抑えることが簡便であるが、丘陵地における現地形の把握には UAV 測量が有用であった。

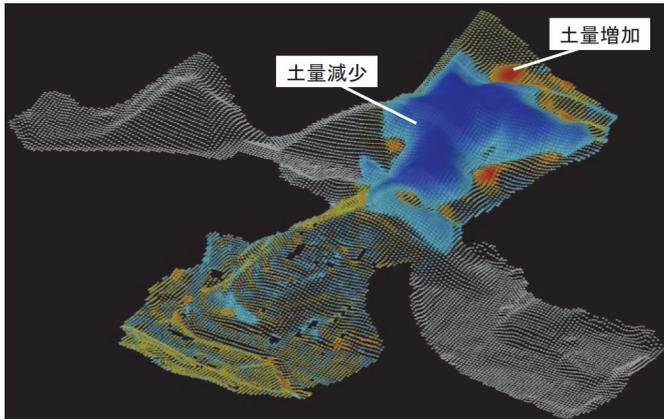


図 4-6 施工土量算出

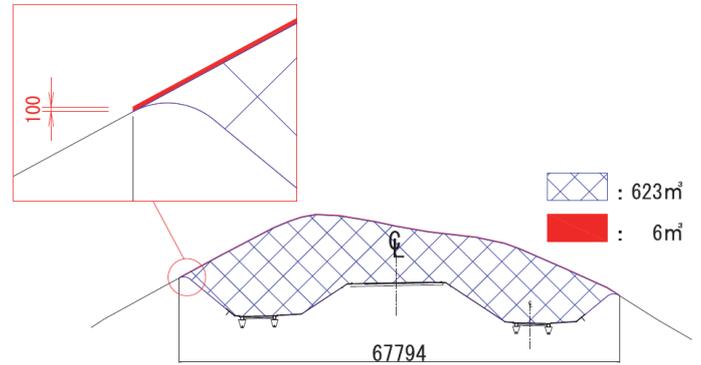


図 4-7 測量精度の影響確認

5. まとめ

本工事において、バックホウ 3DMG システム、データコレクターを用いた測量、UAV 測量による土量管理を行なうことで得られた効果を以下に示す。

- 1) バックホウ 3DMG (マシンガイダンス) システムを使用することで、MG システムを使用しない従来の施工方法と比べて、マサ土での連続した法面整形の作業では施工効率を約 2 倍に向上させることができる。
- 2) 3D 設計データを活用した、データコレクターを使用した測量により、測量の準備作業を省略できる。また、データコレクターと併せて GNSS を使用することで丁張りの設置作業時間を約 2 割短縮することができる。
- 3) UAV 測量により施工中の土量を算出することで、土工事の進捗状況の把握、合理的な部分出来高の把握を行なうことができる。

6. 課題および今後の展望

今回、ICT を活用することで土工事の生産性を向上できることが確認できた。ただし、バックホウ MG システムに関しては、使用することで従来方法と比較して作業の省力化を図ることができるが、費用対効果を高めるためには、MG システムが十分に効果を発揮できるように、工程管理、施工計画を準備して使用する必要があると感じた。今後、生産性の向上だけでなく、施工段階で得られる各種データを有効に活用することで、品質、安全性、環境等の改善といった付加価値を加えた一歩進んだ ICT の活用を実践できるように検討していきたい。

用語の説明

- 1) CIM (Construction Information Modeling) : 調査・設計段階から 3 次元モデルを導入し、施工、維持管理の各段階での 3 次元モデルに連係・発展させることにより、一連の建設生産システムの効率化を図るものである。
- 2) IoT (Internet of Things) : ビックデータの解析、高速通信技術等を活用することにより、設計から施工、維持管理における各種データを結びつけることにより生産の効率化を図るものである。
- 3) UAV (Unmanned aerial vehicle) : 人が搭乗しない航空機のことであり、ドローンと呼ばれることもある。

参考文献

- 4) 国土交通省土木工事標準積算基準書 (共通偏)