

ICT を活用した大規模切土工事の効率化施工

The ICT utilization which makes a large-scale earth-moving become efficient

福永 憲敬 *

Noritaka Fukunaga

峯尾 裕喜 **

Hiroki Mineo

要 約

本工事は、さがみ縦貫道路の神奈川県愛甲郡愛川町から相模原市までの延長約 1 km 区間の土工事である。43 万 m³ の切土を約 6 か月の短期間で急速施工を行う必要があり、情報化施工技術 (ICT) を活用して施工の効率化を図った結果、工期内で施工を完了することができた。施工効率化技術としては、3D レーザースキャナやロードランナーなどの測量技術、マシンガイダンスシステムおよびダンプロックの運行管理システムなどの ICT を採用し、特に今回の工事では人的資源の効率化の面で一定の成果を上げることができた。本報では、これら ICT による業務の効率化とコストダウンについて検証を行った結果を報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 採用した情報化施工技術
- § 4. 採用技術活用による効果
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

近年、工事の大型化とともに供用時期を見据え短期間施工が求められる工事が増えてきている。一方で、建設業界では技術者や職人・作業員の不足が顕著となっている。このような状況から限られた人員で業務を効率的に実施できる技術導入を進めていくことも必要である。

本工事は、首都圏中央連絡自動車道 (圏央道) の神奈川区間である「さがみ縦貫道路」のうち、神奈川県愛甲郡から相模原市までの延長 980 m を、切土・盛土および法面工等を昼夜施工にて、上下片側 2 車線道路を構築するものである。

今回の工事は、「さがみ縦貫道」の開通まで 9 ヶ月、舗装工事への引渡しまで 6 ヶ月の期間に、土量 43 万 m³ の土砂を掘削し一般道路を通過して場外に搬出するという工事内容であり、タイトな工程条件であった。そのため、受注時から施工を如何に効率化できるか、工程短縮するための施工方法について検討した。

本報では、採用した取り組みのうち情報化施工技術 (ICT: Information and Communication Technology) を活用した施工・施工管理について報告する。

§ 2. 工事概要

工事場所は碎石採掘場を建設発生土で埋戻しされた長大盛土の人工地層が大部分を占める。工区中央部には小仏層と呼ばれる古期堆積岩があり、施工中は下位に向い軟岩から中硬岩、硬岩と変化する。

主な工事内容は、人工地層の土砂掘削が約 358,000 m³、岩掘削が約 73,000 m³ であった。詳細を以下に示す。図-1 に工事位置を、図-2 ~ 図-4 に横断図・平面図を示す。

工 事 名：さがみ縦貫角田三栗山地区改良 (その 3) 工事
工事場所：神奈川県愛甲郡愛川町角田～

神奈川県相模原市緑区小倉字三栗山
工 期：平成 25 年 6 月 13 日～平成 26 年 10 月 31 日
(このうち、本線部分の引渡期限である指定部分工期は平成 26 年 2 月 14 日まで)



図-1 圏央道と工事位置図

* 関東土木(支)さがみ縦貫愛川(出)(現:大生郷(出))

** 関東土木(支)さがみ縦貫愛川(出)(現:横須賀シールド(出))

主要数量：掘削工	433,000 m ³
法面整形	36,700 m ²
鉄筋挿入工	21,265 m
連続繊維補強土	10,591 m ²
グラウンドアンカー	168 本
植生工	19,768 m ²
排水構造物工	4,695 m
補強土壁工	2672 m ²

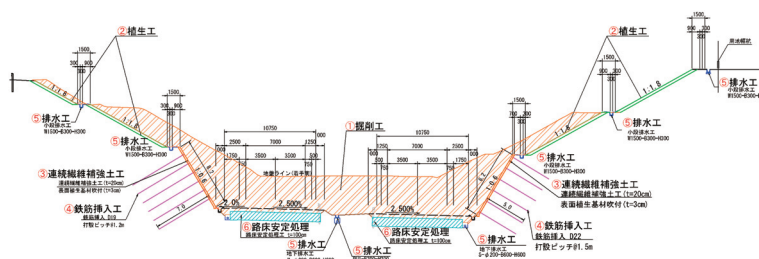


図-2 標準横断面図(土砂部)

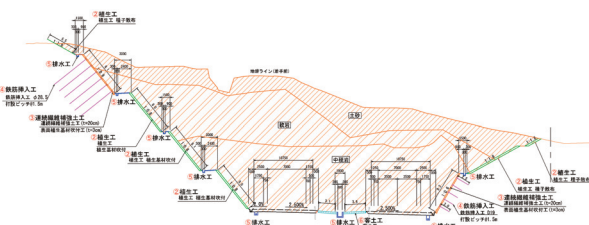


図-3 標準横断面図(岩部)

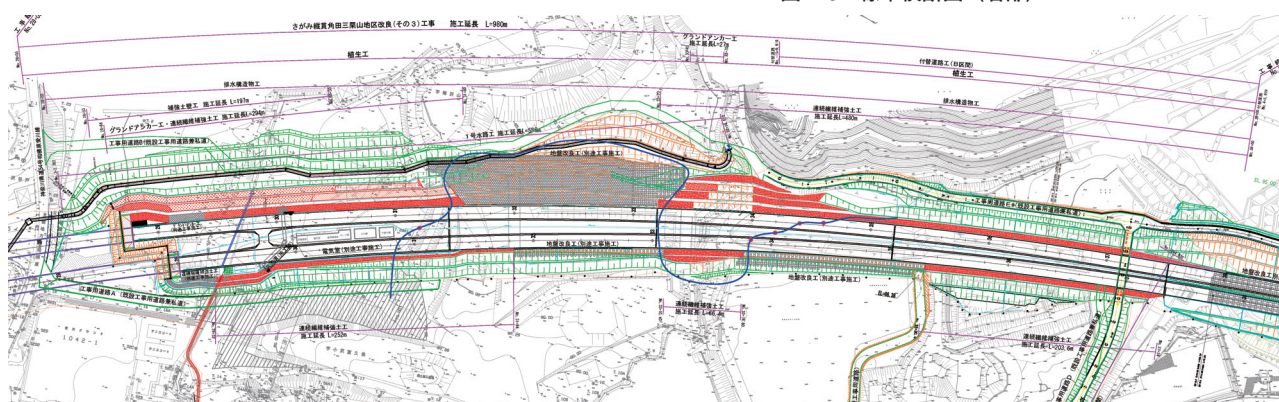


図-4 平面図

§3. 採用した情報化施工技術

採用した情報化施工技術の概要を以下に説明する。

3-1 3D レーザースキャナ

工事着手時の現況測量に、3D レーザースキャナ(写真-1)を用いた。ノンプリズムタイプの計測器で、対象物と離れた所から3次元データ(点群データ)を取得できる。



写真-1 3D レーザースキャナ

従来のトータルステーション(以下、TS)の計測では、管理横断面毎(通常20m毎)に「輪切り」状に測量を行い、2次元データとして管理する。この作業を行う場合、管理断面の位置座標から方向角の視準等の現場での作業に加えて、机上での事前作業も多い。また、管理断面の間

のデータは原則測定しない。

これに対して3次元レーザースキャナは、「面」的な3次元測量が可能となり、従来のTSによる計測と違い、現場作業時間を大幅に短縮できる。また、より正確にかつ安全に対象物の形状をデータ化して保存できる。

3次元レーザースキャナによる計測手順は、以下の通りである。

- ①現場の見通し箇所に計測器を設置して計測を実施する。見通せない箇所は位置を変えて計測し、複数の計測から現場全ての範囲のデータを取得する。
- ②複数のスキャンデータから合成した点群データを作成する(図-5)。

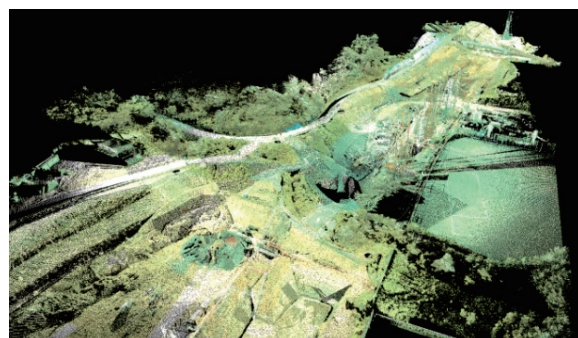


図-5 合成した点群データ

- ③点群データから草木などの不要データを除去し、TIN (Triangulated Irregular Network) メッシュデータを作成する(図-6)。TINとは、不規則な3次元地表面形状を小さな三角形の集合で表現する手法である。
- ④3次元CADで3次元設計データを作成する(図-7)。
- ⑤3次元設計データとTIN地形データを合成する(図-8)。

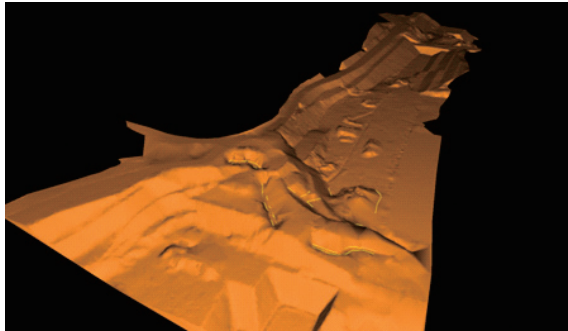


図-6 地山をメッシュ化したTINデータ

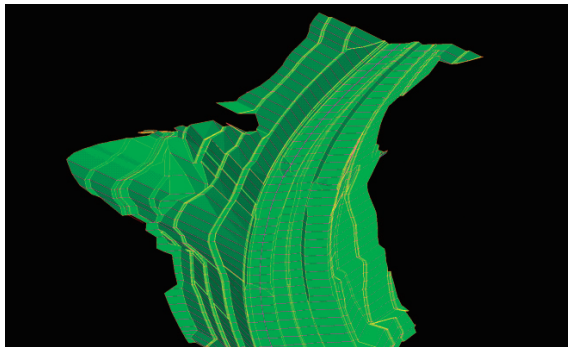


図-7 3次元設計データ



図-8 3次元設計とTIN合成データ

設計データと現場の地形データを合成することにより、事業用地との関係や切土法面設計の現地との整合性を事前照査として検証できる。

作成したデータは、各種フォーマットに変換して、後述するマシンガイダンスシステムやロードランナーで利用する。

3-2 マシンガイダンスシステム

マシンガイダンスは、バックホウなどの機械に搭載したTS、GNSS(汎地球測位航法衛星システム:衛星を用

いた測位システムの総称)の計測技術とアームに取り付けたセンサーにより、バケットと掘削箇所(または盛土箇所)の正確な位置情報をモニターに表示して施工するシステムである(写真-2,3)。オペレータが現場状況(施工状況)と設計値(3次元設計データ)との差異を確認しながら作業を行うことができ、オペレータの操作をサポートする技術である。



写真-2 バックホウ搭載型マシンガイダンス外観



写真-3 オペレータ室ガイダンスモニター

従来は、丁張りを設置してそれを基準に切土を行い、管理断面から外れた箇所においては現地で切土形状を確認しながら、細かく丁張りを掛ける等の対策が必要であった。これに対してガイダンスシステムを用いると、オペレータは、全ての断面の法面形状を車載モニターで確認しながら丁張りがなくても施工できる。これにより測量人員の大幅な削減と、測量待ちのロス軽減になる。

なお、上空を制限されGNSSの受信状態が悪いところなどでは、自動追尾型TSでも対応可能であり、使用する環境によって最適な機器を選定できる。

3-3 ロードランナー

ロードランナー¹⁾は、GNSSや自動追尾型TSを利用した測量アプリケーションで、フィールドコントローラーを使用して操作する(写真-4,5,図-9)。TSの場合はトラバース基準点の設置が必要となるが、GNSS

の場合は基準点も不要である。どちらもワンマンで作業が可能であり、大幅な時間短縮と測量人員の削減が可能となる。正確な切出し、盛土位置が把握でき、3D 設計データから任意の場所の設計高と現況高がその場で確認できる。ターゲットポイントを設定した場合は、そのポイントまでナビゲート（誘導）する機能も有している。



写真-4 ロードランナー測量機器

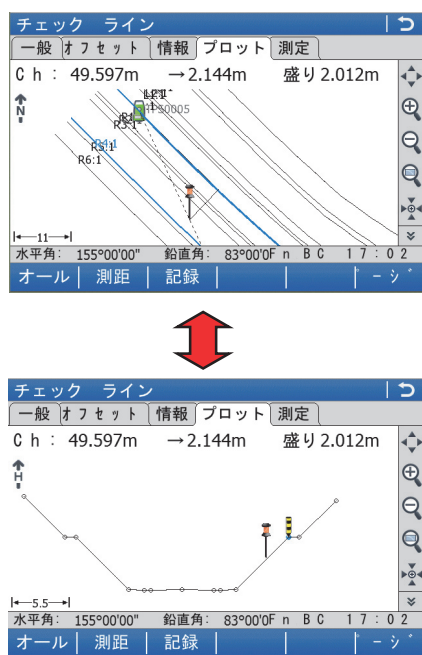


図-9 ロードランナー画面表示



写真-5 ロードランナー使用状況

3-4 3次元写真応用計測システム「Kuraves」

「Kuraves」は、デジタルカメラで撮影した2枚以上の画像データ（写真）から被写体の三次元位置座標（X, Y, Z）を出力し、対象物の三次元データ化をするアプリケーションである。三次元データとして作成され、物体の長さや面積、体積計測、断面図作成のほか、三次元 CAD データを取り込んで合成表示や追加作図も行える（図-10, 11）。本工事では土量算出に用いた。計測から土量算出のフローを図-12に示す。

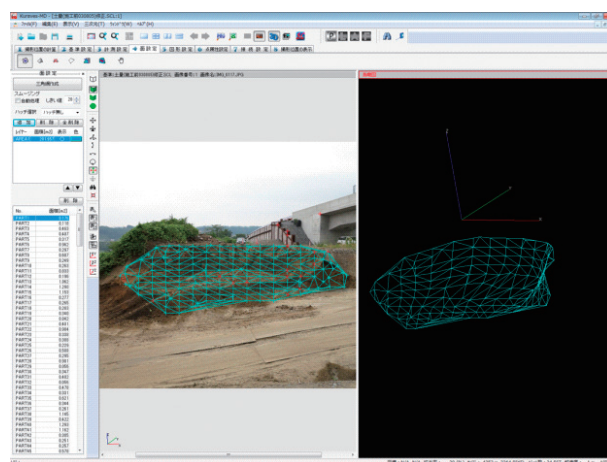


図-10 掘削した地山の3次元化処理

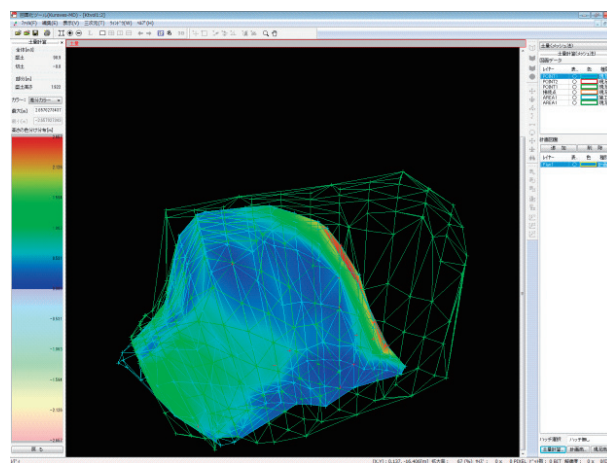


図-11 土量の算出例

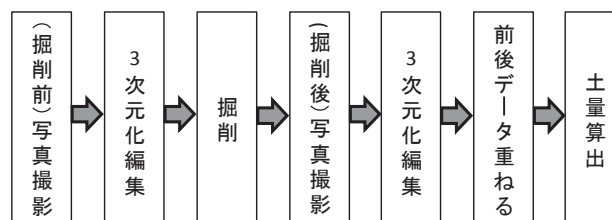


図-12 土量算出フロー

従来の TS による土量算出では、現場と机上の作業にも多くの時間を要するのに対し、Kuraves を用いると、2 枚の写真を撮りアプリケーションを操作するだけで、短時間に土量を算出することができる。特に高精度な数量を求めない日常の施工管理には有効である。

3-5 運行管理システム「ぴた@」

大量の土砂を短期間で運搬するため、1日に数多くのダンプトラックを運行させなければならない。また、行き先が数カ所もあり、運行状況を人で管理するには限界があった。そこで、効率的なタイムテーブルを管理する上で、ダンプトラック一台一台の運行状況の常時把握が可能なGPS運行管理システム「ぴた@」を採用し、各車両にデータ通信用スマートフォンを搭載した（写真－6）。



写真－6 「ぴた@」と設置状況



写真－7 ダンプトラックの集中管理状況

本システムにより全車両の位置情報（ルート情報）や車速等の運転情報を集中管理（写真－7）することができ、電子ハザードマップ音声ガイダンス機能により運転手への注意喚起を行った。また、システムのカスタマイズにより、土砂搬出先ごとに複数のルートを設定し（図－13）、交通渋滞情報サービスを取得して、現場または土砂搬出先から退場する際の最適ルート（運行時間の短いルート）を選択できるようにし、その指示内容をテキストデータと音声で各車両に連絡する機能を付加した。



写真－8 沿道状況



図－13 複数ルート設定状況

§4. 採用技術活用による効果

実際に採用した技術の効果について、検証した結果を以下に述べる。

4-1 3D レーザースキャナ

今回の工事の場合、工事延長約1 km 区間を管理断面毎に横断測量を実施して、特に用地が複雑な形状な箇所を密に測量したケースを考える。従来手法の場合、現場2名による約60測線の測量作業で10日間、机上のデータ整理、CAD編集に7日間程度かかり、合計17日間かかる。これに対して、3D レーザースキャナを用いると、現場測定が2日間、机上の作業が5日間程度となり、合計7日間で行える。さらに、面的に全ての工区範囲を確認可能である。なお、コスト比はわずかな差であった。

工事規模が小さくなる場合は、測量作業も短期間で可能であり、コスト差が広がる可能性があるため、個々の現場条件により検討が必要である。

現在は、測量技能者についても不足している状況を見ると多少のコスト差であっても効率化を選択してアウトソーシングすることも必要と考える。

4-2 マシンガイダンスシステム

このシステムの使用により、測量作業の大幅な削減が可能となる。したがって、重機オペレーターは、測量による丁張り設置作業を待つことなく作業を開始できるうえ、丁張りの無い断面を重機から降りて見通すなどの確認作業も不要となり、作業時間の大幅な効率化となる。

コスト面でも、測量作業をアウトソーシングした場合の丁張り設置作業とシステムのリース費用を今回工事で比較した場合は、マシンガイダンスのリース費用の方がコストダウンとなった。

工事の規模によっては、マシンガイダンスの方が割高となる場合もあると考えられることから、導入には十分な検討を行うことが必要である。

4-3 ロードランナー

今回の工事では上空制限がほとんど無いため GNSS を使用するタイプを採用した。従来の TS 測量による仮基準点の設置や事前の座標計算は不要となり、1 人で作業が可能となった。例えば、丁張りを設置する場合、仮基準点の設置から機械の移動、丁張り設置まで 30 分必要であったなら、GNSS 利用のロードランナーなら 5 分程度で可能である。

今回使用した GNSS は補正情報配信サービス（VRS 方式）を利用しており、基地局の設置が不要である。上空制限がある場合や、より高精度の測量が必要な場合は、自動追尾型 TS を利用したロードランナーが採用可能である。この場合は、基準点の設置が必要となるが、GNSS タイプと同様に作業出来る。

測量業務をアウトソーシングしている場合は、測量業者に貸与することでコストダウンが可能である。職員が使用する場合も含めて、システム的に測量ミスの削減にもつながるうえ、データの利用もスムーズとなり、業務効率化に有効である。

コストの比較では、機器のリースで考えるとロードランナーのコストが大きい。測量技能者を 2 人から 1 人に削減できることやデータ処理の時間を削減できることを総合的に検討するとメリットは大きい。

4-4 3次元写真応用計測システム「Kuraves」

このシステムの利用は、出来形等高精度の数量算出を目的とすることは、企業先との合意が必要であり現段階では考慮していない。

今回の工事における本システムの目的は、土砂搬出量の日常的な把握であり、ダンプ台数による管理との誤差を工程にフィードバックさせることとした。

しかし、撮影においては、土量算出に障害となる建設重機等を移動する必要がある。また算出においては、撮影範囲内での不動点の設置が必要となるため土砂搬出範囲が広大な場所や施工速度が急速な場所では困難となることが多い。日常的な土量把握の測量作業が必要な場合や比較的小範囲の土工工事についてはコストや精度の面で有効であると考ええる。

4-5 運行管理システム「ぴた@」

今回の工事では、ダンプトラックを昼夜間平均 120 台、最多 200 台を運行させ、運搬延べ台数では 1 日あたり約 1,000 台となった。

運行管理システムの最大のメリットは、全車両がモニター上に表示され、どのルートをどの時間で走ったかが帳票として出力されることであり、帳票をまとめる事後作業が大幅に削減できる点である。

コストの面から考えると 200 台のスマートフォンリース代と通信費用、車載用キットに加え、期間が 1 年に満たないことから発生してしまう通信契約解除料があるた

め、帳票作成のメリットだけで採用できるかどうかは検討が必要であり、ダンプの台数も採用の可否に影響があると考ええる。

今回工事位の規模になると安全上や沿道に対するリスク管理等でのメリットも大きいことから現場運営としての満足度は大きかった。

§5. まとめ

本工事の完成状況を写真-9、10 に示す。本工事で適用した ICT（情報化施工技術）の検証結果を以下にまとめる。

- (1) ICT 活用で工事の効率化と人的資源の有効活用ならびにコストダウンの効果を確認した。
- (2) ICT 活用における効果の大きさは、工事の内容や規模によって違ってくことから、導入にあたっては十分な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 橋本・福永・浮田・岸岡：3次元ポリラインデータによる測量および施工管理システム、土木学会建設技術研究発表会 2014, pp.208-212, 2014 年。
- 2) 佐久間・野中：43 万 m³ の急速切土工事—さがみ縦貫角田三栗山地区改良（その 3）工事—、土木施工, pp.122-125, 2014 年 9 月号。



写真-9 完成状況（起点側）



写真-10 完成状況（終点側）