

ICT を用いた土工管理システムの開発

Development of earthworks management system utilizing ICT data

黒田 卓也* 吉野 修*
 Takuya Kuroda Osamu Yoshino
 足立 順一** 村上 泰紀**
 Junichi Adachi Yasunori Murakami

要 約

建設現場のさらなる生産性向上・品質確保のため、ICT 施工のプロセスの中で得られる施工履歴データを利活用する取り組みが進められている。ICT 土工における転圧管理システムは、施工時に記録される軌跡データを活用し、出来高管理に適用することが期待されている。しかし、得られるデータは複雑かつ膨大で、データ取得時に不具合が生じていることがあり、データの利活用には高度な専門技術や手間を要する。このことから、転圧施工履歴データを簡易に利活用することを可能にし、転圧管理の効率化、土量管理の高度化を図る目的で、ICT 土工管理システムを開発した。

本報告では、開発技術の概要について述べるとともに、および現場で運用および検証結果について紹介した。なお、当成果は戸田・西松・奥村 3 社共同研究の成果である。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 施工履歴データによる土量管理方法と課題
- § 3. ICT 土工管理システムの開発
- § 4. 現場実証
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

国交省が進める i-Construction において、現場の生産性向上を目的として、2016 年より ICT を全面的に活用する「ICT 活用工事」の実施が進められている。ICT 活用工事では、測量から設計、施工の各段階において 3 次元データを導入するとともに、現場ではドローンを用いた 3 次元計測や、ICT 建設機械を用いた施工が実施され、現場の生産性向上に一定の効果が得られている。

一方で、国土交通省では出来高管理のさらなる生産性向上に向けて、「施工履歴データによる土工の出来高算出要領（案）¹⁾」を制定し、ICT 建設機械の施工履歴データの利活用が進めている。出来高管理は、UAV やレーザースキャナ（LS）の普及により、従来の断面測量と比較して格段に効率化されている。しかし、施工履歴データを活用した出来高管理は、現地計測を行うことなく土量を

取得することが可能になるため、施工管理の大幅な省力化が期待されている（表一）。

表一 出来高管理手法の比較

種類	断面測量	UAV, LS	施工履歴
計測方法	作業員が断面ごとに測量	ICT 機器により 3 次元的に測量	ICT 土工時に自動取得
計測時間	長い	短い	なし
土量算出	計測データから算出	点群ソフトにより解析	施工履歴から抽出し、点群ソフトで解析
メリット		・短時間かつ高密度に計測可能	・現地計測不要 ・日々データ取得が可能
デメリット	・計測時間が長い ・計測密度が少ない	・解析に専門技術を要する	・データ処理が複雑 ・解析に専門技術を要する



写真一 転圧管理システム搭載の振動ローラー

* 技術研究所土木技術グループ

** 西日本（支）東海太田川（出）

ICT 建設機械の中でも、転圧管理システムを搭載した ICT 振動ローラー（写真-1）は早くから施工に導入され、普及が進んでいる。転圧管理システムは、振動ローラーの平面座標を GNSS で取得し転圧回数を算出することで、転圧回数管理を効率化している。その一方で、同時に取得している標高データは十分に利用されていないため、標高データを出来高管理に活用することができれば、さらなる効率化を図ることができる（図-1）。しかし施工履歴データは、複雑かつ膨大で、データ取得時に不具合を生じることがあり、利活用にはデータの確認・編集のための高度な専門技術と手間、ソフトウェアの整備など、現場負担を要する。施工履歴データは日々得られるため、簡易な利活用方法を構築することができれば、日常の土量管理に有効な手法となると考えられる。

このことから、ICT 土工で得られる施工履歴データを活用して現場の土量を算出し、日々の施工管理の省力化を図る目的で、ICT 土工管理システムを開発し、現場実証を行った。

§2. 施工履歴データによる土量管理方法と課題

振動ローラーの施工履歴データは、振動ローラーに搭載された転圧管理システムに記録されている。出力した日々の施工履歴データは転圧管理の帳票作成のため、管理用 PC に保管されるのが一般的である。

施工履歴データには、各メッシュの座標、転圧回数、材料情報等が記録されている。施工履歴はその日の出来形を表すため、施工履歴データから座標を抽出し、点群データとして扱うことで、起工測量データと比較した土量算出が可能となる。ただし、施工履歴データを活用した土量管理には、以下の課題があった。

①データ様式の統合

施工履歴データを利活用するためには、データの不具合を確認し処理する必要がある。しかし、データの出力形式や内部構造は転圧管理システムごとに異なっており、処理には専門知識や技術が必要となる。そのため、データを統一した様式に変換することで、同じ方法でデータの不具合を発見・対処でき、転圧管理、土量計算に活用することが可能となる。

②軌跡データの処理

ICT を用いた締固め管理では、軌跡データを提出する必要があるため、どの転圧管理システムでも軌跡データは必ず出力可能となっている。そのため、軌跡データを活用できれば、システムに寄らず対応することが可能となる。ただし、軌跡データは1秒間隔等で記録された点の移動履歴からなるため、移動履歴を振動ローラーの鉄輪部にオフセットし、ローラーが転圧した個所を塗りつぶしていく必要がある。また、同じ個所を複数走行するが、一番最後に取得した標高がその日の出来形であるため、データをメッシュに分割し、メッシュごとの最終時

刻データを抽出する必要がある。

③土量算出方法

施工履歴データを利用して土量を算出するためには、施工履歴データを点群データに変換し、点群処理ソフトを使用して解析を行う必要がある。そのため、土量の算出には専門技術と手間を要する。

④データの管理方法

日々得られる施工履歴のデータは膨大だが、現場のローカル PC や転圧管理システムメーカーの運用するクラウドサーバー上に保管されるなど、データが散在しているケースが多い。現場の管理効率化のため、データ管理の一元化やデータ共有が課題となっている。

§3. ICT 土工管理システムの開発

前述の課題を踏まえて、施工履歴データをクラウドサービス上に集約し、日々の土量管理を行うことができる ICT 土工管理システムを開発した（図-2）。

施工履歴データを活用し、アプリケーションを用いてデータ処理を行うことで、計測・解析の手間なく土量管理を行うことができる。また、クラウド上で3Dでのデータの閲覧・共有、土量管理ができるため、現場と本支社の関係者は、誰でも、どこからでも、施工状況を閲覧することが可能になる。

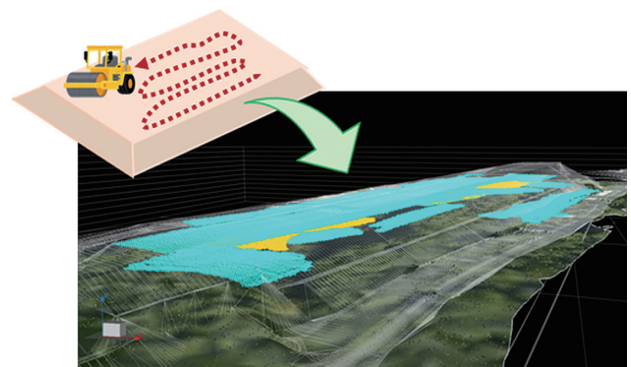


図-1 施工履歴データを用いた3次元情報の取得

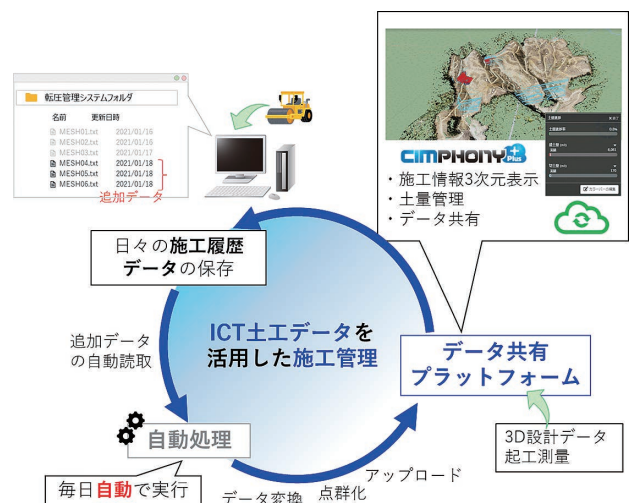


図-2 ICT 土工管理システムの概要

3-1 技術の概要

本技術は、施工履歴データを自動処理し、クラウド上にアップロードするアプリケーションである「データ自動処理ツール」、およびデータ共有プラットフォームとなるクラウドサービス「CIMPHONY Plus (福井コンピュータ)」から構成される。

データ自動処理ツールにより、施工時に得られる振動ローラーの施工履歴データは、日々の盛土形状を表す点群データ形式に変換され、CIMPHONY Plusに登録される。CIMPHONY Plusは、ウェブブラウザ上で点群データや3Dデータを3次元で閲覧し、土量を算出する機能を有している。そのため、集約された施工履歴データを元に、日々の転圧状況の3D閲覧、任意の施工日の土量算出を行うことができる。

データの処理はアプリケーションにより自動で行われることから、職員の手間を要さない。そのため、日々の施工履歴を保存するだけで、施工状況が3D化され、土量管理を行うことができるシステムとなっている。

3-2 自動処理ツールの流れ

RPAソフトウェアにより、施工履歴データの変換、データチェック、クラウドへのアップロード作業を自動化した。自動処理の流れを以下に示す。

①施工履歴データの取得

所定のフォルダに保存された施工履歴データのうち、新規に追加されたデータの情報を取得し、リスト化を行う。新規追加データについて、自動処理を開始する。

②施工履歴データの変換

振動ローラーの施工履歴データから必要情報を抽出し、点群データ形式に変換する。転圧管理システムごとに施工履歴データの形式が異なるが、様式を問わず対応可能である。また、点群に転圧回数に応じた色を付与することで、3D上で転圧管理を行うことを可能にしている。

振動ローラーの軌跡データ形式で出力される場合も、軌跡データの座標変換(図-3 a, b)、メッシュデータ化(図-3 c)を行い、各メッシュの転圧回数集計、標高の最適化(最終時刻データでフィルタリング)を行う。

データチェック、不具合修正は、転圧回数、高さをチェックして、周辺の高さと比べて極端に高さが違うなど異常値や不足値がないかスクリーニング検査をする。異常値や不足値があった場合は、近傍のメッシュデータを用いて補完・修正を行う。

③クラウドへのアップロード

CIMPHONY Plus上にアップロードする際には、CIMPHONY Plusにアクセスし、1ファイルずつファイルを登録し、施工日時・測地系の情報を入力する必要がある。自動処理ツールは、上記作業を自動化する機能を有しており、点群データ化されたファイルを自動的にCIMPHONY Plus上に登録する(図-3 e)。

3-3 データ共有プラットフォーム

点群データ化した施工履歴データを、データ共有プラットフォーム上で3D化し、施工状況の3D閲覧と土量算出を可能にした(図-3 f)。データ共有プラットフォーム

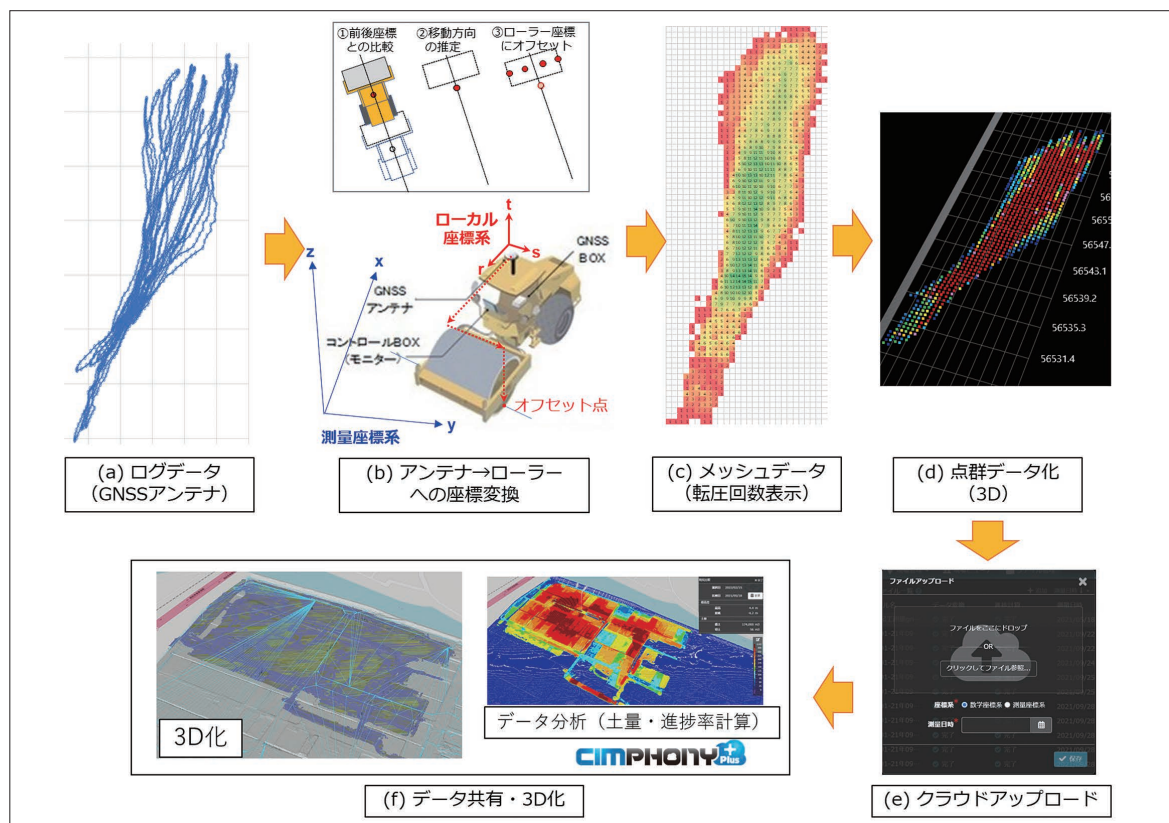


図-3 施工履歴データの変換（ログデータ形式の場合）

ームには、汎用性の高いクラウドサービスである CIMPIONY Plus（福井コンピュータ社）を使用する。

本サービスは、点群データや 3D モデルを 3 次元可視化し一元管理を行うことができるクラウドサービスである。ウェブブラウザ上で閲覧や解析ができるため、専用ソフトを用いる必要がなく、アクセス権を付与すれば誰でも閲覧が可能となる。

点群に転圧回数による着色を行っているため、転圧の施工状況を確認することができる。また、アップロードした施工履歴データから、差分土量計測による現況土量の把握を行うことができ、時系列管理機能により、日々の進捗管理が可能となる。

3-4 現場での運用の流れ

現場での運用の流れを示す（図-4）。

現場作業終了後に、振動ローラーから施工履歴データを取り出し、指定したフォルダに保存する（図-4 ①～②）。指定した時間に自動処理ツールが自動実行され、保存した施工履歴データの変換、クラウド登録が行われる。そのため、職員の作業は日々の施工履歴を所定のフォルダに保存するのみであり、翌日にはクラウド上で前日の施工状況確認や、土量算出を行うことが可能となる（図-4 ③）。

また、本社・支社からもアクセスができるため、遠隔地から現場の進捗確認や、3D データの修正対応等のフォローを行うことが可能である。

§ 4. 現場実証

東海太田川駅西土地区画整理事業における造成工事において、当技術の現場実証を行った。

当現場では、2021 年 9 月より盛土施工を実施しており、

Trimble 社の転圧管理システムを利用して振動ローラーの転圧管理を行っている。また、当現場では月に 1 回の空中写真測量を行い、盛土量を計測している。施工履歴データを活用した日々の土量管理の省力化、および ICT データ管理の効率化・一元化を目的として、本技術を導入し、現場実証を行った。

4-1 ICT 土工管理システムの現場適用

ICT 土工管理システムを現場に導入し、施工履歴データの自動処理、クラウド上での 3D 閲覧、土量算出の施工管理への適用について、検証を行った。

振動ローラーの施工履歴データを日々現場の所定のフォルダに保存し、自動処理ツールにより変換・アップロードを行い、クラウド上での管理を行った。これにより、日々の施工状況を 3D 化し、クラウド上で 3D 閲覧・管理をすることが可能となった（図-5）。

作成した 3D 形状は、メーカーの転圧管理システムから出力した帳票と比較し、平面形状および標高に大きな差異がないことを確認した。

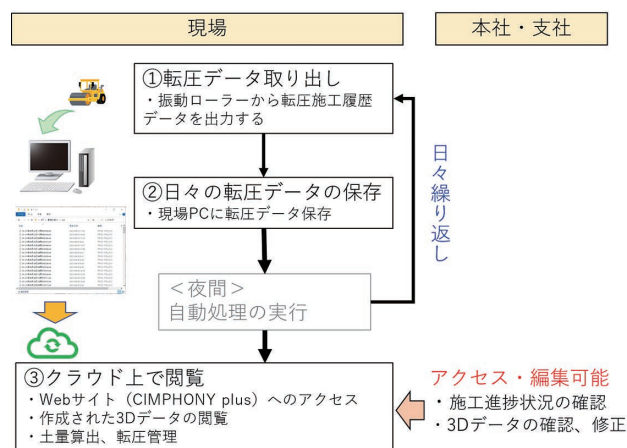


図-4 現場での運用フロー

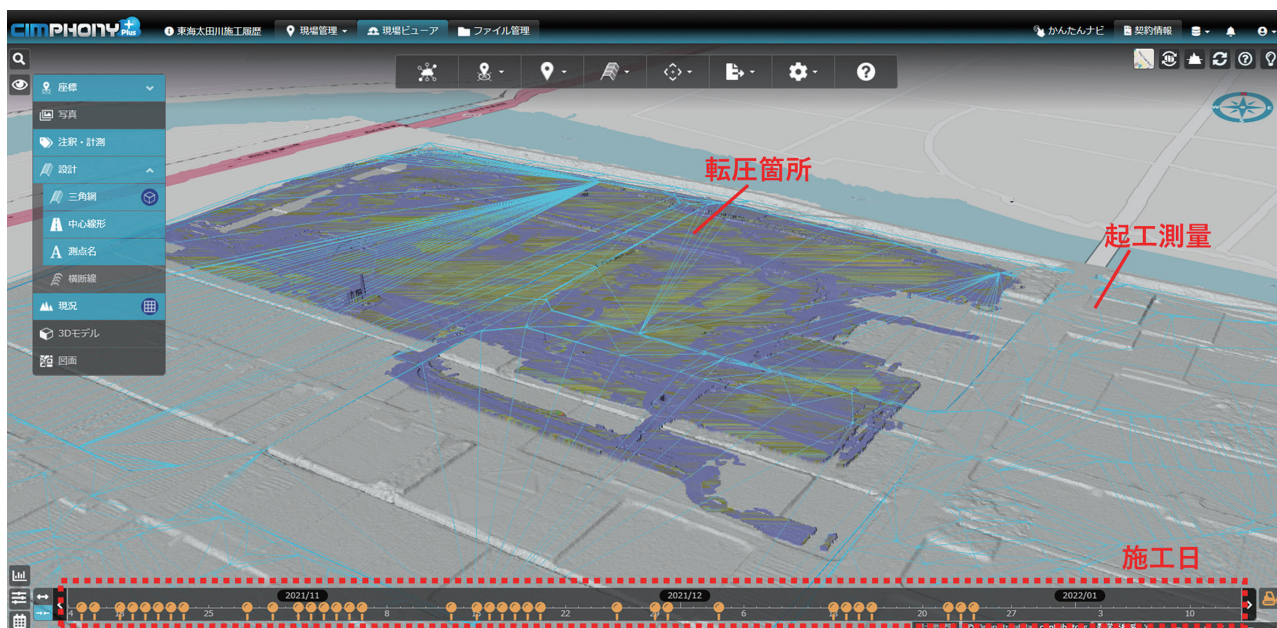


図-5 施工履歴データから作成した現況の 3D 形状

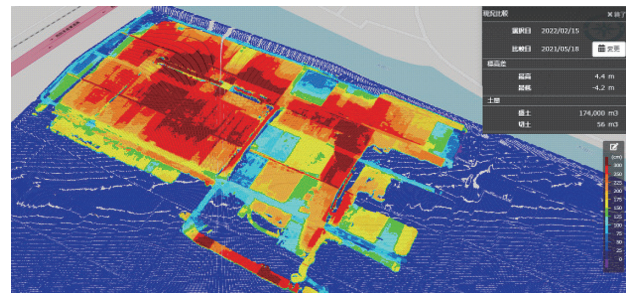
クラウド上に集約された施工日毎の施工履歴データから、日々の施工状況の閲覧、進捗率・土量の確認を行うことが可能となった（図－6，7）。また、転圧回数に応じた3Dモデルの着色、転圧データの不具合修正がなされていることで、3D上で転圧施工管理を行うことが可能となった。

4-2 土量の精度検証

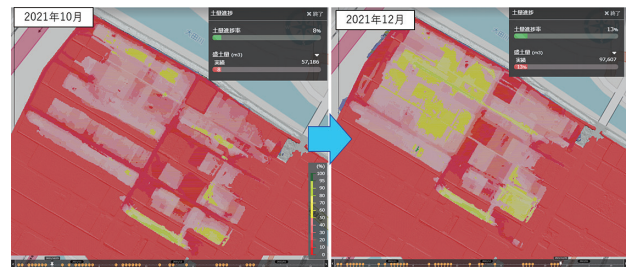
施工履歴データを用いた土量管理の妥当性を検証するため、月毎の空中写真測量結果と比較した（図－8）。

両者の盛土形状を比較すると、平面形状に大きな差異は認められない。また、両者の盛土形状を断面図上で比較すると、振動ローラーによる転圧が行われている個所では標高は概ね一致しており、施工履歴から再現した盛土形状の妥当性が確認できた（図－9）。

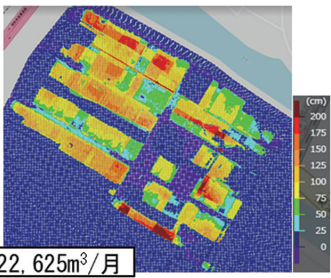
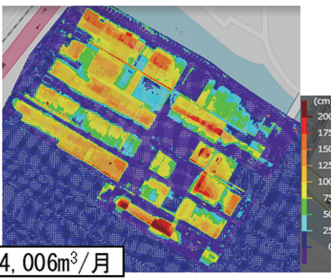
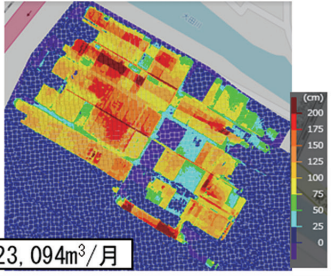
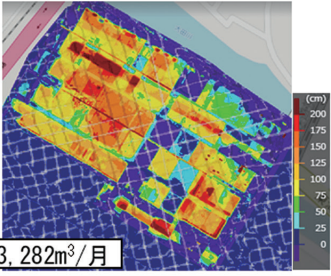
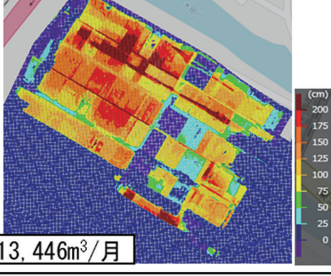
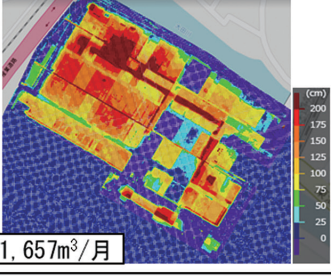
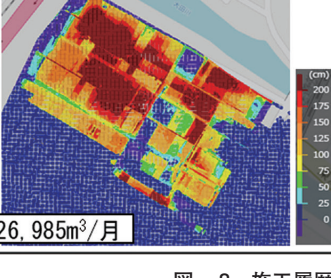
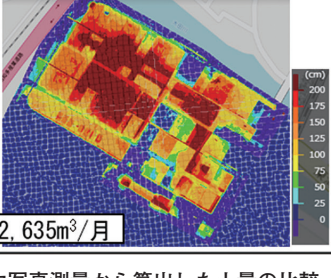
土量を比較すると、誤差は概ね5%程度であり、日常の土量管理には十分な精度が得られた。土量はすべて、施



図－6 盛土量の算出



図－7 時系列による進捗率の算出

施工月	施工履歴	空中写真測量	土量比較
1月目	 22,625m³/月	 24,006m³/月	累積土量 施工履歴：22,625m³ 空中写真：24,006m³ 施工-空中=-1,381m³ 誤差：5.8%
2月目	 23,094m³/月	 23,282m³/月	累積土量 施工履歴：45,719m³ 空中写真：47,288m³ 施工-空中=-1,569m³ 誤差：3.3%
3月目	 13,446m³/月	 21,657m³/月	累積土量 施工履歴：59,165m³ 空中写真：68,945m³ 施工-空中=-9,780m³ 誤差：14.2%
4月目	 26,985m³/月	 22,635m³/月	累積土量 施工履歴：86,150m³ 空中写真：91,580m³ 施工-空中=-5,430m³ 誤差：5.9%

図－8 施工履歴と空中写真測量から算出した土量の比較

工履歴データから算出したほうが少なくなっていたことから、それぞれの計測方法で得られた盛土形状を断面と比較した。その結果、振動ローラーが走行できない法面部、土砂撒き出し直後で転圧されていない個所で差異が生じており、空中写真測量と比較して施工履歴データから算出した土量が少なくなっていることが確認された(図-9)。

なお、3月目は振動ローラーが走行していない仮設の工事用道路や仮置き土の影響で、土量の誤差が大きくなっていた。

4-3 法面部不足範囲の確認

振動ローラーが走行できない法面部の土量が不足することが確認されたため、GNSS 測量を行い簡易に法面形状を把握した(図-10)。その結果、細かく GNSS 測量を行い、得られた座標に対してデータ処理を行うことで、不足する法面土量を補間することが可能であった。これにより、空中写真測量との土量の誤差は 5.9% から 2.6% に減少し、土量算出の精度が向上した(表-2)。その一方で、日常管理に適用するには計測や解析に手間を要するため、法面形状を単純化し、その体積分を補完することで、十分な土量の精度が得られると考える。

4-4 システム導入の効果

施工履歴データの自動処理とデータ共有によって、測量や解析の手間なく施工状況を 3D 化し、現場外から 3D モデルの確認・修正を行うことが可能となった。これにより現場職員は、作業なく、ウェブブラウザにアクセスするだけで施工進捗確認、土量管理を行うことができ、作業量の大幅な軽減につながる。また、導入が容易であることから、運用コスト低減を図ることができる。

§5. まとめ

施工履歴データを活用した ICT 土工管理システムを開発し、現場実証を行った。

その結果、転圧施工履歴データをプラットフォーム上に一元集約し、職員の手間を要せずに現場の日々の土量管理を行うことが可能となった。得られた土量の精度を検証したところ、日常管理に十分な精度であり、GNSS 測量と併用することでさらなる精度向上を図れることを確認した。これにより、現場職員の省力化と、施工管理の高度化を図ることが可能となった。

今後は、現場で運用を続け、さらなる効率化を図っていくとともに、より正確に土量を把握するための法面部補間方法を検討していく。また、盛土材料のトレーサビリティ管理との連携を図ることで、より効率的な施工管理ができるよう改良を行っていく予定である。

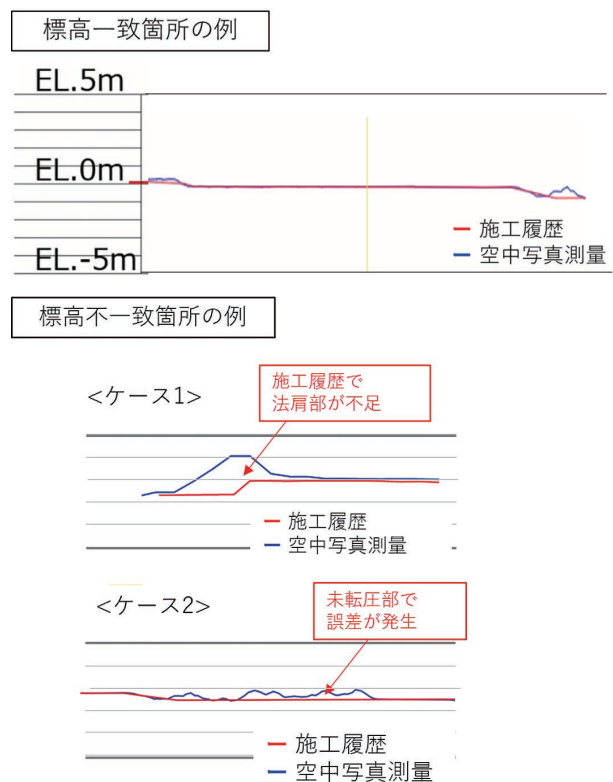


図-9 施工履歴と空中写真測量の断面比較

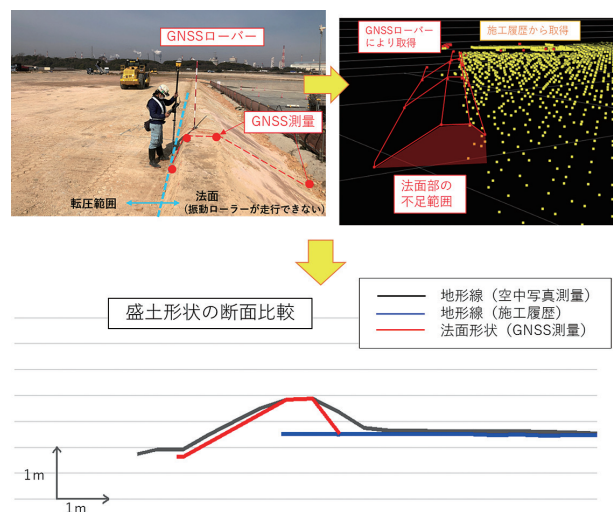


図-10 GNSS 測量による法面形状の取得

表-2 GNSS 測量による不足部の土量補間

計測方法	空中写真 測量	施工履歴	
		法面補間前	法面補間後
土量算出に使用	—	—	— + —
土量	91,580m ³	86,150m ³	89,196m ³
誤差 (施工-空中)	—	-5,430m ³ (誤差5.9%)	-2,383m ³ (誤差2.6%)

参考文献

- 国土交通省：施工履歴データによる土工の出来高算出要領（案），平成 31 年 3 月