

データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発

西松建設(株) 正会員 ○佐藤 靖彦 正会員 吉野 修
戸田建設(株) 正会員 本木 章平 正会員 坂崎 信夫
(株)奥村組 正会員 高尾 篤志 正会員 宮田 岩往

1. はじめに

国交省の「i-Construction」施策によって現場における ICT の活用が進み、施工・施工管理などで省力化・効率化に一定の導入効果が得られている。しかし一方で、ICT 活用の際には高度かつ多種多様の膨大なデータを扱うため、データ処理に多くの時間がかかり負担となっている。特に近年の土工事は、大規模でかつ多数種類の発生土を扱う場合が増え、工程管理のための土量進捗管理と品質確保のための材料管理が重要になっている。このような ICT 土工データの管理作業の省力化と効率化を目的に、筆者ら西松建設・戸田建設・奥村組は共同で、プラットフォーム上でデータを一元的に集約・管理し横断的に連携し利活用を図るシステム「データ利活用型土工管理システム」(以下、本システム)を開発した^{2),3),4)}。本システムは、①データ共有プラットフォーム、②転圧施工履歴データによる土量算出手法、③土砂トレーサビリティ管理システムで構成する。本報告では、それぞれの開発システムの内容および実証方法と効果確認結果について述べる。

2. 全体システム概要

本システムは、以下①～③の3つのシステムで構成する。施工データをデータ共有プラットフォームにアップロードしてデータ処理・共有し、各管理を効率的に利活用するものである。図-1 に本システム全体の概要を示す。

- ① **データ共有プラットフォーム**: 取得データをクラウドに自動的にアップロードし、データ処理・共有する。データ処理の省力化とデータ共有が図れる。
- ② **転圧施工履歴データによる土量算出**: ICT 施工履歴データから得られる点群データにより土量計算を行う。UAV やレーザースキャナによる測量せずに短時間で進捗土量を把握でき、土量算出作業の省力化になる。
- ③ **土砂トレーサビリティ管理システム**: 盛土材の土取り位置と荷下し位置や施工位置の情報をセンサーにより自動的に管理する。複数の盛土材料の施工位置情報が詳細に管理され、品質のトレーサビリティが確実になる。

本システムが対象とする施工データは、図-1 に示すように ICT 施工で行われる 3 次元起工測量、3 次元設計データ、3 次元施工履歴データ、3 次元出来形測量データおよび土取り・荷下し位置データである。これらのデータをクラウド上の共有プラットフォームに集約して、現場と本支社の関係者が共有・連携して、出来形・出来高(土量)管理および品質管理などに利活用する。

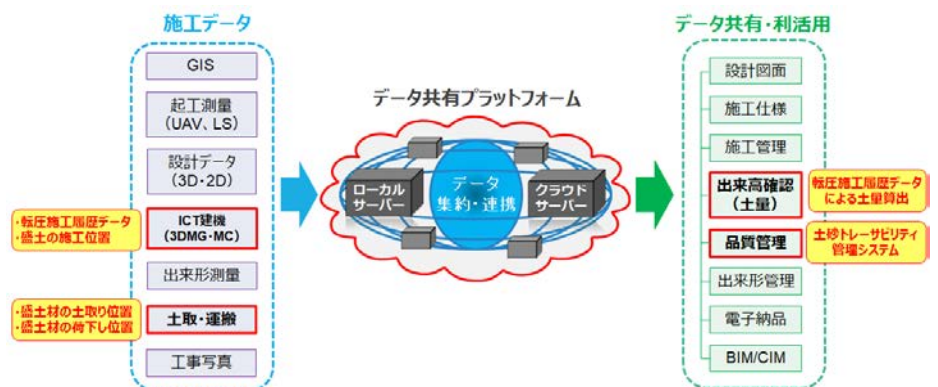


図-1 データ利活用型 ICT 土工管理システムの概要

キーワード 土工, ICT, データ共有, 土量管理, 土砂トレーサビリティ

連絡先 〒105-6407 東京都港区虎ノ門 1-17-1 西松建設(株) 技術研究所 TEL 03-3502-0247

3. データ共有プラットフォーム活用システム

ICT 土工で得られるデータは、これまで専用ソフトを使って現場等ローカルでデータを保存管理、データ処理を行っていたが、クラウドサービスを使うことにより、誰でもどこからでもデータを閲覧、処理、活用することができるようになる。

本開発では、データ共有プラットフォームとして、3D が使い汎用性のあるクラウドサービス「CIMPHONY Plus（福井コンピュータ社）」を利用した。現場で取得した転圧データ等は、クラウドサービスのデータ様式に応じた変換処理をした後、クラウドへアップロード、データ登録する作業が発生する。従来、現場職員が行っていたこの作業をソフトウェアで置き換えることで自動化を図り、定期的動作ができるようにした。現場職員はクラウドサービスを利用してすぐにデータを閲覧・利活用できる。またメッシュデータや軌跡データを点群テキストデータとして取り扱うことで、複数社の転圧施工履歴データを同じように取り込むことができるため、汎用性も高い。

データ連携の例として、図-2 に転圧施工履歴データのアップロード手順を示す。転圧施工履歴データを点群データに変換して、クラウドに自動アップロードする。データ変換し

アップロードする作業について、従来の手作業による方法と開発したツールを使用した場合の作業時間を比較した結果を表-1 に示す。10 ファイルのデータをアップロードするのに、手作業では 70 分かかるところを、開発ツールを使用すると人手が掛からず約 3 分で処理できるようになる。これによりアップロード作業時間が 90%以上削減され、現場での省力化が図れることを確認した。

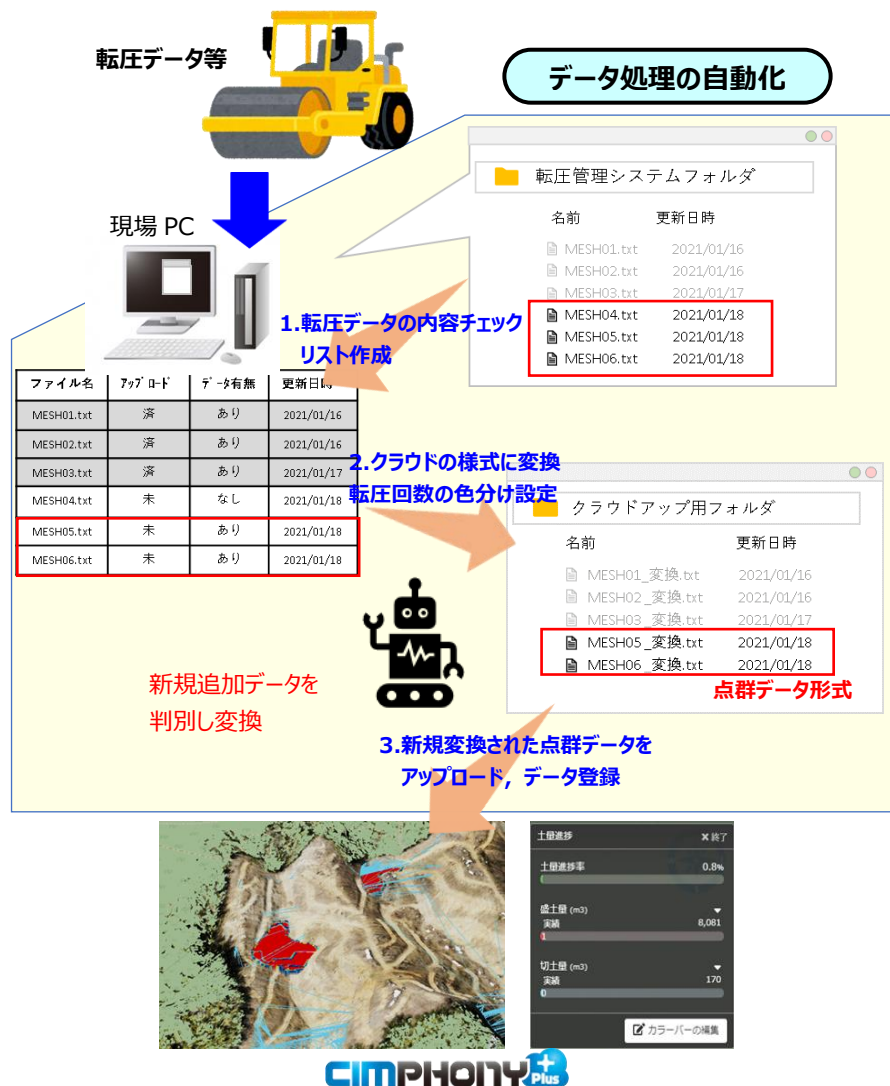


表-1 データ処理・アップロード作業時間の比較

	従来方法（手作業）		新手法（開発ツールを使用）		
	作業項目	作業時間	作業項目	処理内容（自動）	作業時間
転圧データの取得	有効ファイル選別	1分/ファイル	初期設定 ソフト実行	有効ファイル選別	4秒/ファイル
データの変換	（エクセル上での作業） データなし列の除外 点群データ形式に並び替え 転圧回数毎の色分け	3分/ファイル		データの変換	
	（Web上での作業） クラウドログイン データアップロード	3分/ファイル		クラウドログイン	25秒
クラウドアップロード				アップロード	12秒/ファイル
クラウド上で閲覧					
作業時間合計	1ファイル	7分	1ファイル		40秒
	10ファイル	70分	10ファイル		3分10秒
条件	・ 作業熟練者を想定 ・ 複数ファイルの場合は上記作業を繰り返す		・ 初期設定は各現場で一度のみ ・ 操作はソフトの実行のみ		

4. 転圧施工履歴データによる土量算出

盛土の品質管理方法の一つに「TS・GNSS による盛土の締固め管理システム」⁵⁾を用いた方法があり、通常、平面位置（x 座標，y 座標）データを用いて締固め機械の転圧回数の管理（面的な管理）が行われている。このシステムでは締固め機械の施工位置を 3 次元点群データで取得しており、この高さ（z 座標）データを用いて転圧した盛土表面形状をサーフェス（面）化して土量算出することが可能である。転圧施工履歴データを用いた土量算出フローを図-3 に示す。

転圧施工履歴データを活用することで、TS、UAV やレーザースキャナなどによる定期的な測量をせずに容易に転圧後の盛土量を算出することが可能である。また、転圧施工履歴データでは UAV 測量等で生ずる周辺の不要な地形データを取得しないため、土量算出における点群処理が簡素化される。さらに、メッシュ化（0.25m×0.25m 又は 0.5m×0.5m）されたデータであり、データ容量が軽量で扱いやすいことも特長である。転圧施工履歴データを用いた土量算出手法の有効性の検証を目的とし、以下の現場検証実験を行った。

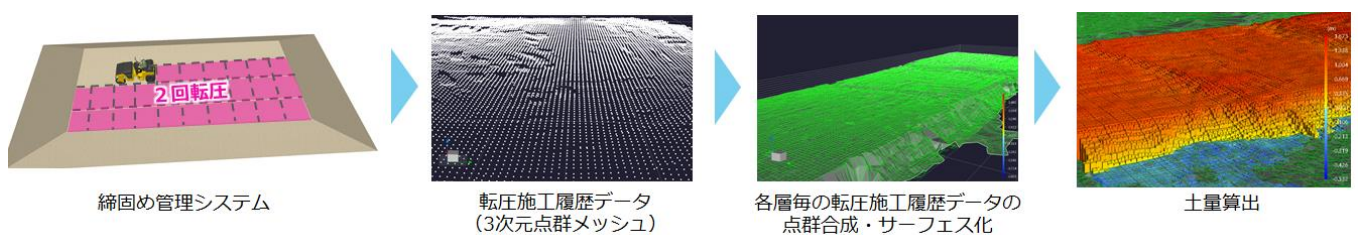


図-3 転圧施工履歴データによる土量算出フローの概要



写真-1 盛土前の状況



写真-2 盛土の施工状況

(1) 実験場所

実験は、土地造成工事の一部の盛土範囲（面積：34.8m×127.6m，最大盛土高さ：1.6m）にて実施した（写真-1，写真-2）。盛土の施工期間は、2020年11月4日から11月30日である。

(2) 実験手順

a) Step1：起工測量

盛土施工前の地形データを地上型レーザースキャナ（TLS）により計測した。

b) Step2：転圧施工履歴データの取得

実験対象期間の盛土施工において、GNSS 締固め管理システムを搭載したブルドーザによる転圧回数管理を行い、日々の転圧施工履歴データを取得した。なお、締固め管理システムはライカジオシステムズ社製のiRollerCEを使用し、1層の仕上り厚さを30cmとした。

c) Step3：従来の測量方法による盛土の出来形計測

以下3つの従来の測量方法により、盛土の出来形計測を2020年12月5日に実施した。

- ① TLS 測量
- ② UAV を用いた空中写真測量

③ GNSS ローバーを用いた横断測量

d) Step4：盛土量の算出

Step1 の起工測量の地形データを基準面とし、Step2 及び Step3 で得られた盛土の出来形形状データ (①と②) を比較面とし、差分から盛土量を算出した。なお、①と②の土量計算には 3 次元 CAD ソフトによる 4 点平均標高法を使用し、③については平均断面法を用いた。

(3) 転圧施工履歴データの沈下補正

本実験では、盛土終了から一定期間経過後に出来形計測を行ったため、軟弱地盤上の当該盛土範囲では圧密沈下による影響を考慮する必要があった。そこで、圧密沈下量を計測するために予め設置した沈下板を用いて、盛土終了後から従来の測量方法による出来形計測までの沈下量を算出した。計測結果から算出された沈下に伴う推定土量は 180 m³ であり、転圧施工履歴データを用いた土量算出結果に補正を加えた。

(4) 実験結果

転圧施工履歴データを用いて算出した土量算出手法と、従来の測量方法を算出土量比較した。算出土量の比較結果を表-2 に、作業時間の比較結果を図-4 に示す。

転圧施工履歴データを用いた算出土量は、TLS 測量と比較して-473 m³ であり、全体土量 4,891 m³ に対する誤差率は 10%であった。盛土の出来高数量確認や進捗管理に適用できると考えられる。

また、土量算出までの作業時間は、TLS 測量と比較して 90%以上短縮できることを確認した。また、従来の測量方法と比較しても大幅な省力化・効率化が期待できると考えられる。

この結果から盛土の出来高数量確認や進捗管理方法の一つとして、転圧施工履歴データを用いた手法が有効であることを確認した。特に従来の測量方法と比較して、作業時間の大幅な削減効果を確認した。一方で、切土部や法面部のデータ取得は今後の課題であり、他の ICT 建設機械の施工履歴データの活用を含め検討する必要があると考えている。

表-2 算出土量の比較

		算出土量 (m ³)	①との差分 (m ³)	誤差率 (%)	備考
①	TLS測量	4,891	-	-	
②	UAVを用いた空中写真測量	4,927	36	1%	
③	GNSSローバーを用いた横断測量	4,944	53	1%	
④	転圧施工履歴データを用いた土量算出	4,418	-473	-10%	沈下に伴う推定土量 -180m ³ を補正

※差分及び誤差率は地上型レーザースキャナ測量結果との比較

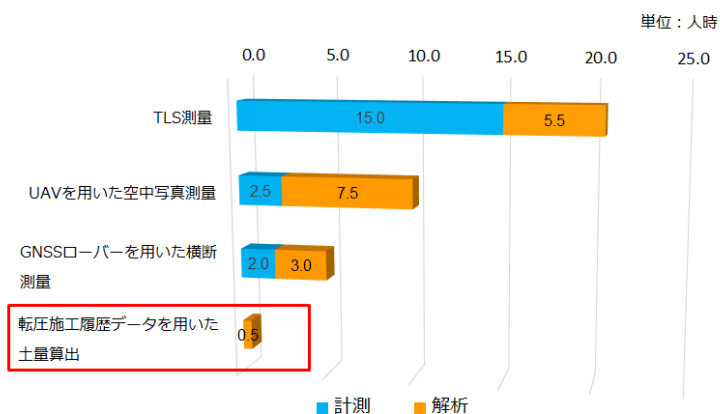


図-4 土量算出作業時間の比較

5. 土砂トレーサビリティ管理システム

土砂トレーサビリティ管理システムは、「どの土」を「どの場所」に盛土したかを自動で記録可能なシステムである。土砂運搬のダンプトラックの荷下ろし場所を検知するダンプアップセンサーと、センシングにより取得した施工日や土質情報などのデータを管理する「土砂トレーサビリティ管理アプリケーション」(以下、管理アプリケーション)を開発した(図-5)。ICT 土工の転圧管理システムのデータと関連付けることで、3 次元土工管理図を自動作成する。3 次元土工管理図では、土質情報によって色分けされたボクセルモデルによって盛土形状が表現され、各ボクセルは属性情報として盛土材情報とともに転圧管理データなどを保持している。これにより従来、職員が手作業で行っていた盛土材の記録管理が自動化され、人員削減が図れるとともに将来の施工履歴の確認等に利用することが可能である。

(1) ダンプアップ検知センサー

土砂運搬ダンプトラックのダンプアップレバーに触圧センサー、加速度センサーを、運転席に GPS、ビーコン受信機および LTE 通信機により構成されたダンプアップ検知センサーを設置した(図-6)。土取場では、センサーを搭載したダンプトラックがビーコンを設置した積込みバックホウに接近するとビーコンの電波を受信し、ビーコンの識別信号とその時の時刻・位置情報(以下、積込みデータ)を LTE 通信によりサーバに送信する。運搬時も GPS により位置情報を取得し、30 秒に 1 回サーバにデータを送信する。通信が行えない場所を走行していた場合は、データを内部のメモリに記憶し、通信が回復したタイミングでサーバに送信し、データの損失を防いでいる。盛土場においては、ダンプアップの操作を検知した際に、ダンプアップ有の識別子・荷下ろし位置情報・時刻(以下、荷下ろしデータ)をサーバに送信する。

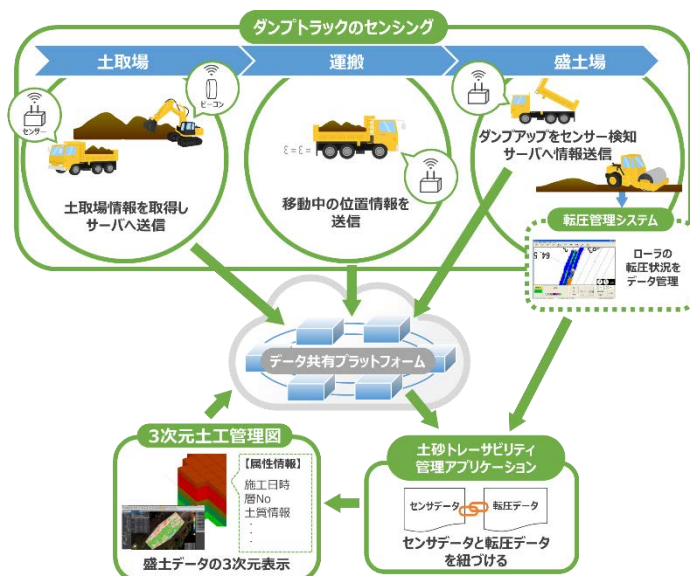


図-5 土砂トレーサビリティ管理システム全体図



図-6 ダンプアップセンサー構成機器

(2) 土砂トレーサビリティ管理アプリケーション

盛土工の施工にあたり、盛土材の土質試験等の情報を基に、土取場においてどの時期はどのような土質の土の積込みを行っていたかを登録したマスターデータ(以下、土取場データ)をあらかじめ管理アプリケーションに設定する。管理アプリケーション上で指定した日時の積込みデータと荷下ろしデータをクラウドからダウンロードし、土取場データおよび転圧管理データと結合することで荷下ろし位置における積込み時の土質情報(以下、荷下ろし情報)を判別する。荷下ろし情報の判別の際は、荷下ろし位置から隣接ボクセルの重心までの距離に応じて距離の逆数による重みづけを行い、隣接ボクセルに振り分け計算を実施する(図-7)。ボクセル内で土質毎の投入割合を計算し、最多となる土質をそのボクセルの代表土質として属性情報を持たせ、出力したデータを 3 次元 CAD ソフトウェアに取り込み、3 次元土工管理図を色分け表示する。

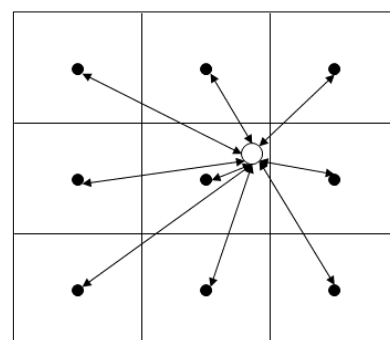


図-7 重み付けイメージ

(3) 現場検証

土砂トレーサビリティ管理システムについて、ダンプトラック 10 台にダンプアップ検知センサーを設置し、図-8 に示す施工現場で検証を実施した。設置したセンサーにより荷下ろし位置を特定し、管理アプリケーシ



図-8 土砂トレーサビリティ現場検証場所

プロパティ確認	
項目名	値
施工日時	2020/11/26 13:11:16
X	-173482.25
Y	3608.75
H	36.7538
計画高	28
層厚	0.2
層No	17
規定回数	8
転圧回数	1
5mメッシュ縦位置	20
5mメッシュ横位置	0
土質情報	土質 8
土の混合率	土質 8 : 50.00%、土質 7 : 20.00%、土質 9 : 30.00%

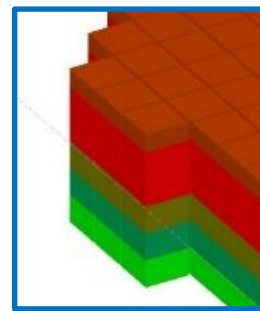


図-9 属性情報表示の例

ョンを使用して荷下ろし情報を 3 次元 CAD ソフトウェアに取り込んだ結果、3 次元モデル上において属性情報として荷下情報を確認することができた(図-9)。

(4) 期待される効果

従来、盛土材のトレーサビリティを確認する土工管理図を作成する場合は、記録員が施工箇所に常駐し、帳票に記録を付けていた。本システムによればセンサーにより自動的に位置情報を取得でき、記録員を配置する必要がなくなるため盛土工のトレーサビリティ確保において、1 人/日程度の人員削減の効果が期待できる。

ICT 土工を現場で実施する際に取得・集積されている様々なデータを活用することで、データ整理や入力などの手間を増やすことなく、より一層の施工の効率化を行うことができると考える。

6. まとめ

ICT 土工データの管理作業の省力化と効率化を目的に、データ利活用型 ICT 土工管理システムを開発した。各要素技術については、以下の検証結果が得られた。

データ共有プラットフォームに関して、プラットフォーム上で 3 次元データを一元的に集約管理するシステムを構築した。データ連携のためのデータ共有プラットフォームへの自動的にデータアップロードを行うツールを開発し、その省力化効果を確認した。

転圧施工履歴データを用いた手法に関して、盛土の出来高数量確認や進捗管理として現場検証した結果、従来の測量方法と比較して作業時間の大幅な削減効果が得られ、有効性を確認した。

土砂トレーサビリティ管理システムに関しては、ダンプアップ検知センサーと土砂の属性情報を管理できるアプリケーションを開発した。盛土材のトレーサビリティについてセンサーにより自動的に位置情報を取得することができ、記録員の配置が不要となり、盛土材料管理において省人化効果が期待できる。

今後は、開発したシステムを現場展開して総合的に現場活用して実証するとともに、さらなる精度の向上と汎用性の高いシステムにブラッシュアップしていきたい。

謝辞 本開発にあたり、協力いただいた福井コンピュータ㈱をはじめ関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省：ICT 施工の普及拡大に向けた取組,第 13 回 ICT 導入協議会資料,2021.
- 2) 佐藤靖彦他：データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発（その 1）ーシステム概要とデータ共有プラットフォームー, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-195, 2021.
- 3) 本木章平他：データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発（その 2）ー転圧施工履歴データによる土量算出手法ー, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-196, 2021.
- 4) 高尾篤志他：データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発（その 3）ー土砂トレーサビリティ管理システムー, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-197, 2021.
- 5) 国土交通省：TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領, 2020.