

建設施工現場における 3次元点群データの計測と進捗管理への活用

山口 愛加*・田中 友悠**・原田 風渚**・窪田 諭***・安室 喜弘****

Measurement of 3D point cloud data at construction sites and its use for progress management

Aika YAMAGUCHI*, Tomoharu TANAKA**, Kazana HARADA**,
Satoshi KUBOTA***, and Yoshihiro YASUMURO****

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) aims to introduce ICT for construction site and utilize three-dimensional data. The MLIT releases data acquired at the stage of planning, design, construction, and maintenance of civil infrastructures in MLIT Data Platform. However, it is difficult to use a uniform method for data acquisition, because the scale and conditions of construction sites vary widely. And, there are no established method for transferring three-dimensional data among the stage of civil infrastructures and for its specific utilization method. In this study, we proposed a use case of progress management using 3D point cloud data constructed by terrestrial laser scanner and camera, and measured and processed the data with the aim of distributing and using 3D data at construction sites. In addition, a prototype system was developed for managing 3D point cloud data on a 3D GIS.

Keywords: 3次元点群データ (three-dimensional point cloud data), 情報システム (information system), 建設施工 (construction practice), 地上型レーザスキャナ (terrestrial laser scanner), structure from motion/multi-view stereo

1. はじめに

我が国では、人口減少や高齢化によって生産年齢人口は毎年減少していくと見込まれている。総務省統計局の『労働力調査 (基本集計) 2022 年』と『労働力調査 1997 年』によると、2022 年 6 月の建設業就業者数は 464 万人で、ピーク時の 1997 年の 685 万人から約 32%減少している。国土交通省は建設事業において、ICT (Information and Communication Technology) を全面的に導入する i-Construction を推進している。そこでは、人手不足による生産性低下の解消を目的として、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新まですべての建設生産プロセスで ICT を活用し、労働者の減少を上回る生産性の向上を実現することを目指している。国土交通省の『ICT 土工の現状分析について』によると、国土交通省における ICT 土工の活用効果に関する調査では、起工測量から完成検査まで土工にかかる一連の作業時間は、従来手法より起工測量では平均 39.4%、出

来形測定では平均 53.1%の削減が可能となり、全体として平均 26.1%の削減効果がみられた。また、丁張作業が不要となることにより重機周辺での補助作業者が不在となり、施工の効率化だけでなく安全面においても大きな効果がある。しかし、ICT 施工の普及拡大に対しては、費用面に課題がある。国土交通省の『ICT 施工の普及拡大に向けた取組』によると、ICT 建機や測定機器が高額なため中小規模工事での導入コストの投資に見合わないことや工事での採算性に不安があることから、都道府県・政令市の ICT 活用工事の実施状況は全体の約 2 割に留まっている。また、建設施工現場は多種多様であり、現場状況を把握する 3次元データや点群データの取得に統一的な手法を用いることは困難である。

国土交通省は、自らが保有する国土や経済活動、自然現象に関するデータと民間などのデータを連携し、デジタルツインにより業務の効率化や施策の高度化、イノベーションの創出を目的として、国土交

* 学生会員 関西大学大学院理工学研究科 (Kansai University Graduate School)

** 非会員 関西大学環境都市工学部 (Kansai University)

*** 正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (Kansai University)

〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 E-mail : skubota@kansai-u.ac.jp

**** 非会員 関西大学教授 環境都市工学部 (Kansai University)

通データプラットフォーム 1.0 を公開した。建設分野では、既設構造物の維持管理情報や地盤情報などを連携することにより、新規工事の際に ICT 準備工が円滑に進むことや地下埋設物における電力、ガス、下水道などの配管の干渉を解消することが期待される。維持管理分野では、土木構造物の点検・診断における技術者の判断を補助することや緊急に点検・対応すべきエリアを効率的にスクリーニングし監視することが期待される。また、日々形状が変化する建設施工現場や経年劣化により損傷が現れる既存の構造物では、変化の過程をデータとして蓄積することにより、工程管理や維持管理に活用できると考える。しかし、社会基盤施設の調査・測量、設計、施工、検査、維持管理・更新の各事業段階間におけるデータの受け渡しや、その具体的な活用方法は確立されていない。

以上の背景から、本研究では、中小規模の建設施工現場においても 3 次元データや点群データを流通し利用することを目的として、地上型レーザスキャナとカメラから構築した 3 次元点群データを用いた進捗管理をユースケースとして設定し、データの計測と処理を行う。そして、3 次元点群データを用い施工進捗を可視化する。また、構築した 3 次元点群データを 3 次元 GIS 上で管理するシステムのプロトタイプを作成する。

2. 建設ライフサイクルにおける現状と課題

i-Construction により、建設事業において UAV (Unmanned Aerial Vehicle) や地上型レーザスキャナ (Terrestrial Laser Scanner : 以下、TLS という) を使用した 3 次元点群データの取得や 3 次元データの活用が増えている。田中ら (2018) は、目的とする対象を計測するにあたり、レーザスキャナ搭載 UAV の精度検証方法とその評価について研究を行い、高橋ら (2019) は、UAV を用いた河道地形の測量手法を検討した。そこでは、UAV を用いた計測方法を対象構造物によって変更し、現場での利用方法を提案、検証して、ICT の導入可能性を示唆している。ただし、対象構造物を決定して計測を行う場合、現場の規模や周囲の状況に応じた測量方法の提案が必要に

なる。

本研究では、現場状況に応じた計測方法を考察するために、3 次元点群データを用いた進捗管理をユースケースとして、建設施工現場でデータを計測し、その処理を行って土量の変化を解析する。

3. 建設施工現場における 3 次元データのユースケースの設定と検証

3.1. ユースケースの設定

建設施工現場の施工中の段階において計測を行い、3 次元点群データを構築し、施工進捗の工程を管理することを、3 次元データのユースケースとして設定した。レーザスキャナやカメラなどの計測機器により日々単位で取得した現場地形の 3 次元点群データを記録し、過去のデータと重ね合わせて日々の進捗を把握する。

3.2. 建設施工現場の計測

建設施工現場の施工進捗を可視化するために、2021 年 11 月 1 日～4 日に岐阜県揖斐川町にて、図-1 に示すように仮想現場の盛土の形状を変えて以下の機器で 2 回計測し、施工前と施工後に設定した。施工前後で盛土の形状のみを変更する。TLS として、FARO Focus3D X330 を利用する。人が立ち入ることができない場合は Inspire2 (UAV) にて、UAV 飛行制限場所や狭域な現場では GoPro Hero9 Black (カメラ) にて写真測量することを想定し、それぞれの機器で現場全体を撮影する。

TLS 計測は施工前では 10 箇所、施工後では 15 箇所で行った。UAV は同じ条件での写真測量を可能にするため、コース設定を行い飛行した。飛行高度は撮影機器の画角により 30m で 1 往復、20m で 2 往復とした。カメラによる撮影は仮想現場内を一周です

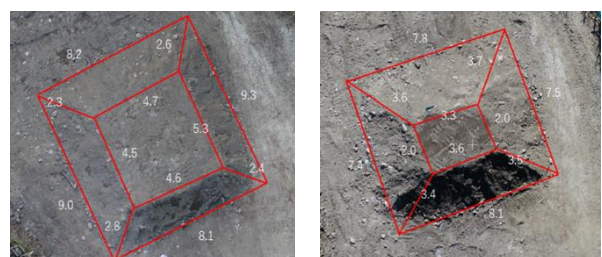


図-1 施工前の盛土 (左) と施工後の盛土 (右)

べて撮影できる高さ 8m と、正面と内向きの二周で撮影できる高さ 3m とで行った (図-2). UAV とカメラによる写真測量は、3 次元点群データを用いて施工進捗を可視化するため、施工前と施工後の 2 回行った。

3.3. データの処理

TLS による 3 次元点群データはデータ処理ソフトウェア FARO SCENE を用いて結合し、現場全体の 3 次元点群データを構築した。カメラでは、計測したデータを入力として、Agisoft 社製 Metashape を用いて SfM/MVS (Structure from Motion/Multi-View Stereo) 処理によって 3 次元点群データを出力した。カメラで得た動画データによる写真測量では、相対座標のみの 3 次元点群データが生成されるため、絶対座標値を付与し、現場実寸を測定できるようにした。カメラ画像から 3 次元データを構築する際の計測時間と処理時間は使用する写真枚数に比例することを考慮し、撮影高度の変更により写真枚数を削減した。構築した 3 次元点群データでは、UAV 写真測量を鉛直方向に行ったため、飛行ルートと飛行高度によっては植生が遮蔽物となり、地表面のデータが欠損すること、写真測量により 3 次元点群データを構築した際にノイズが発生することがわかった。

3.4. データの活用

現場における施工進捗を 3 次元点群データのカラー表示によって可視化する。3 次元点群データ処理ソフトウェア CloudCompare によって施工前後の点間距離を計算して、カラー表示によって土量変化を可視化する。図-3 では、施工前に対して施工後が高さ方向にプラスであれば赤色、マイナスであれば青色、変化が無ければ白色に表示する。施工進捗をカラー表示することにより現場状況の変化を視覚的に把握できる可能性がある。施工進捗毎に 3 次元計測を行えば、施工進捗管理にも利用できる。

4. 3 次元点群データの GIS での管理

4.1. GIS 管理の構想

建設施工現場で取得した 3 次元データを管理し流通することを目的に、3 次元点群データを GIS で管理する。建設施工現場で発生したデータを管理する



図-2 カメラでの撮影の様子

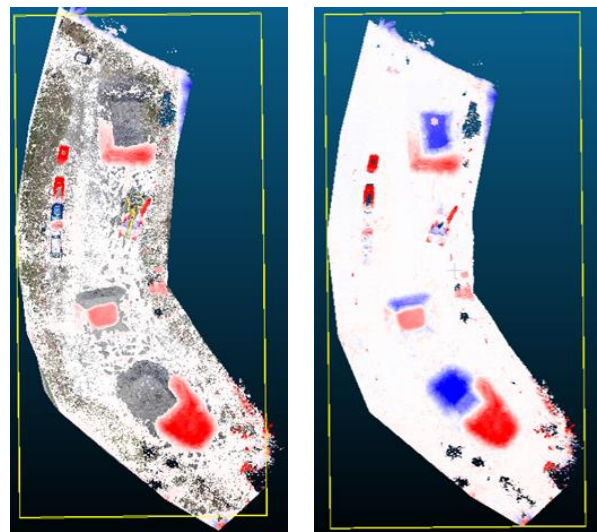


図-3 施工進捗のカラー表示による可視化

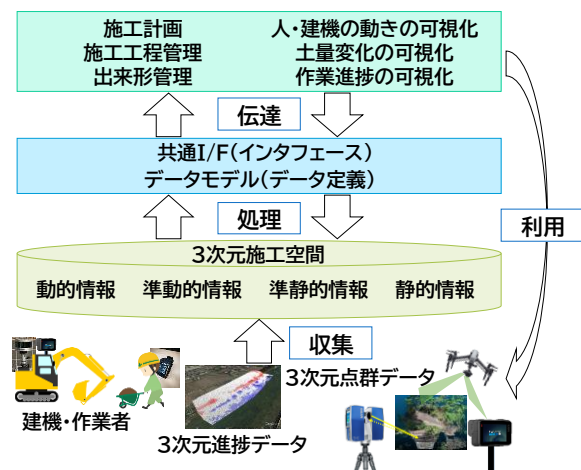


図-4 情報システムの構想

ための 3 次元点群データを基盤とする情報システムの構想を図-4 に示す。システムでは、建設施工現場

や既存の構造物において、構造物の形状や変化を TLS や UAV などの 3 次元計測機器により、また、建機や作業者の行動をカメラやウェアラブル端末により取得するデータを取り扱う。これらのデータは、施工空間の 3 次元データとして蓄積される。本研究では、状況が常に変化する建設施工現場の特性から、自動運転でのダイナミックマップ LDM (Local Dynamic Map) (ETSI, 2011) におけるデータ階層を参考に取得するデータを分類する。ダイナミックマップ基盤では、データの変化の速さに応じて動的情報、準動的情報、準静的情報、静的情報の 4 つの階層に分類される。静的な地図の上に準静的な点群データ、準動的または動的な作業や建機の動きが重畳される。それらのデータ構造を定義し、共通インタフェースによってユーザーに提供する。その例として異なるデータ間の差分の可視化による進捗状況や、建機や作業者の移動の可視化がある。これらを現場にフィードバックし施工作業の見直しや補修につなげることができると考える。

4.2. データの可視化

システムでは、3 章で構築した 3 次元点群データは、GIS の絶対座標上に配置され、管理される。使用するソフトウェアは、Skyline 社の Terra Explorer Plus である。Terra Explorer Plus は、ユーザー毎にカスタマイズされた 3 次元仮想空間を構築、配信、閲覧、検索、解析を行うことができるインタラクティブなアプリケーションソフトウェアであり、複数ソースの地盤モデルを表示し、高度解析を行い、編集、パブリッシュなどを行うことができるソフトウェアである。Terra Explorer Plus 上に表示させた 3 次元点群データを図-5 に示す。提案システムでは、3 次元 GIS 上に全国の 3 次元点群データを可視化できる。これは、図-5 の左の Project Tree で一覧表示され、ユーザーが見たいデータを選択する。地図上には、点群データとデータの計測方法や処理方法などをまとめたメタデータを表示する。また、異なるデータを重ね合わせて表示することができ、複数年度のデータを一元管理することが可能となる。図-6 に示すように、3 次元点群データの Timespan に日時を与え、時間軸を変更することにより、データの表示を変更できる。



図-5 地図上に表示した 3 次元点群データ

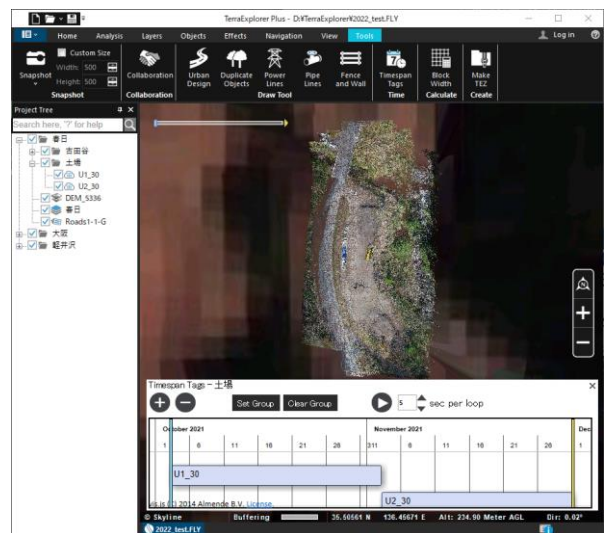


図-6 3 次元点群データの 4 次元管理

施工進捗の管理をする際に各データに日時情報を与え、日ごとの変化を可視化することができる。

5. おわりに

本研究では、建設施工現場において 3 次元データを流通し利用することを目的に、地上型レーザスキャナ、UAV 搭載カメラと高所カメラから構築した 3 次元点群データを用いた進捗管理をユースケースとして設定し、データの計測と処理を行った。また、構築した 3 次元点群データを 3 次元 GIS 上で管理するシステムのプロトタイプを作成した。今後は、3 次元 GIS 管理に必要なデータを定義し、施工情報システムを実装して、有用性を検討する。

謝辞

実験フィールドを提供していただきました株式会社山晃の山口晃正氏には多大なる感謝を申し上げます。

参考文献

- 国土交通省（2017）ICT 土工の現状分析について。
<<https://www.mlit.go.jp/common/001174968.pdf>>.
- 国土交通省（2021）ICT 施工の普及拡大に向けた取組。 <<https://www.mlit.go.jp/common/001415324.pdf>>.
- 総務省統計局（2015）労働力調査 1997 年，第 18 表 年齢階級，産業別就業者数（実数及び構成比）.
- 総務省統計局（2022）労働力調査（基本集計）2022 年（令和 4 年）6 月分結果，第 1 表 就業状態別 15 歳以上人口，産業別就業者数，完全失業者数.
- 高橋剛一郎・角貝亮・宮本卓・松浦良輝・滝口祐次・小川光雄・宮平永一郎・林達夫（2019）UAV を用いた河道地形測量手法の検討。「土木学会論文集 G（環境）」，**75**（5），I_313-I_322.
- 田中成典・窪田諭・今井龍一・中村健二・山本雄平・塚田義典・谷口寿俊・中原匡哉（2018）土工の施工管理における UAV 搭載型レーザスキャナによる計測方法と計測誤差に関する研究。「土木学会論文集 F3（土木情報学）」，**74**（2），II_125-II_135.
- ETSI(2011)ETSI TR 102 863. Intelligent Transport Systems(ITS)； Vehicular Communications； Basic Set of Applications； Local Dynamic Map(LDM)； Rationale for and guidance on standardization, 1.1.1.