

3次元モデルを活用した法枠工の出来形管理

日特建設株式会社 ○藤田哲、蔵谷樹

1. はじめに

近年、工事に従事する作業者の減少が社会問題となっており、生産性や安全性の向上を目指し国土交通省を中心に ICT の活用が推進されている。法面工事においても例外ではなく、従来からのロープにぶら下がり巻尺等を使用した出来形計測作業には少なからず危険が伴い、安全性の確保、効率化を目的に TS、UAV、レーザースキャナ等の様々な 3 次元計測技術の活用検討が進められている。

筆者らは、UAV を用いて法枠工の撮影を行い、SfM 技術により得られた 3 次元モデルの UAV の撮影条件の違いによる 3 次元モデル上での寸法精度の検討を進めてきた¹⁾²⁾。現在、ICT 活用は土工については本格的に運用されているものの、法面工事における事例は少ない。本報告では、吹付法枠工を対象とした ICT 活用工事現場において、UAV、地上型レーザースキャナ、ハンディスキャナによる測量を行い、使用機器の違いによる 3 次元モデル上の寸法精度を比較検証した。また、計測者の違いによる測定誤差、計測手法毎の歩掛りの比較について報告する。

2. 試験の概要および実施方法

対象とする法枠は国土交通省関東地方整備局相武国道事務所発注の H30 吉野地区（その 3）工事（神奈川県相模原市）で、3 段の既設法枠の上部に法長 10m 前後、法勾配 45°の 2 段の法枠工を施工している。仕様は法枠工枠断面 300mm×300mm、枠間隔 1500mm、交点に補強土工を併用している。面積は上段 618m²、下段 798m²、梁延長は上段 935m、下段 1146m である。UAV 写真測量には、Mavic Pro（DJI 社製）で、搭載カメラ（横×縦：4000×3000 画素）を使用した。撮影時の画像ラップ率はオーバーラップ（横方向）80%以上、サイドラップ（上下方向）60%以上を確保した。撮影は、以下の CASE1～CASE3 の 3 つの条件で手動により行い、撮影した画像から写真測量ソフトウェア（Pix4Dmapper）により 3 次元モデルを作成した。

CASE4 は地上型レーザースキャナ（S350 FARO 社製）を使用し、上段と下段の間の小段で 2 箇所、下段の仮設ステージで 4 箇所、下部の道路待避所で 1 箇所計測を行った。

CASE5 は手持ち測定が可能なハンディスキャナ（VLP-16 Velodyne 社製）を使用して、法枠上段の小段及び下段の仮設ステージ（幅 4.5m、延長 60m）を歩き計測を行った。

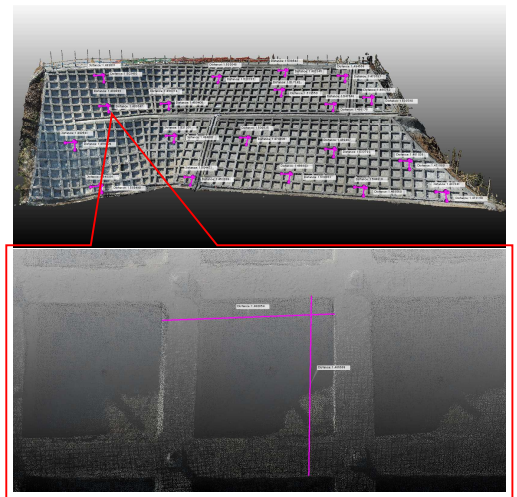
- ・CASE 1 UAV写真測量 距離：10m、撮影方向：法面に垂直（-45°）
撮影枚数：318枚、点群総数：24,425,586点
- ・CASE 2 UAV写真測量 距離：20m、撮影方向：法面に垂直（-45°）
撮影枚数：138枚、点群総数：6,487,456点
- ・CASE 3 UAV写真測量 距離：20m、撮影方向：上面から下向き（-90°）
撮影枚数：100枚、点群総数：4,590,205点
- ・CASE 4 地上型レーザースキャナ計測 7ショット、点群総数：43,747,501点
- ・CASE 5 ハンディスキャナ計測 2ライン：本体 30°傾斜、歩行速度：0.8m/秒、点群総数：4,452,611点

得られた3次元モデルについて、以下の項目について寸法を測定して精度を評価し、適用性を検討した。3次元モデル上での寸法値の読み取りには点群処理ソフト Cloud Compare V2.10.2を使用した。

2.1 法枠中心間隔の計測

法枠工の出来形管理基準には法長・延長、枠中心間隔、幅・高さの管理項目がある。本試験ではその 1 つである枠の中心間隔について、上段法枠 9 箇所、下段法枠 10 箇所の 19 箇所の縦横の枠間隔の現場計測値と比較を行った。

2.2 計測者の違いによる測定値の比較



図－1 CASE1におけるのり枠間隔計測結果



写真－1 地上型レーザースキャナ計測状況

点群表示ソフト上で法枠の端部の点群の中から任意の点を選択し、個人差の度合いの検証を行う。3人の計測者により Cloud Compare で枠の中心間隔（縦横1組×19箇所）を計測し記録し、CASE1～CASE3の写真測量における三者のデータ比較を行った。

2.3 各種計測手法による歩掛りの比較

各種計測手法において、法枠の出来形計測に関わる作業の所要人数と計測精度の評価の比較を行った。

3. 結果及び考察

3.1 法枠中心間隔の計測結果

法枠中心間隔を対象としたUAV写真測量による計測結果を図-1に示す。写真測量での計測誤差は、法面に正対方向の撮影条件では撮影距離10mのCASE1で現場実測値との差分の絶対値平均が7.3mm (0.49%)、撮影距離20mのCASE2では17.4mm (1.16%)であった。また、上面から下向きに20m離れて撮影したCASE3は31.8mm (2.12%)であった。横梁下端の点群が不明瞭となり任意の点を選択しにくいのがCASE1、CASE2に比べ誤差の大きい要因の一つであると考えられる。また、CASE4の地上型レーザースキャナ計測（写真-1）では現場実測値との差分の絶対値平均が5.9mm (0.40%)とUAV写真測量に比べ高精度となった。一方、CASE5のハンディスキャナ計測（写真-2）では絶対値平均が14.2mm (0.95%)と写真測量と比べて精度が落ちる結果となった。ハンディスキャナ計測画面を図-2に、CASE1、CASE4、CASE5の枠中心間隔の現場実測値との差を表したグラフを図-3に示す。

3.2 計測者の違いによる測定誤差

CASE1～CASE3において3人がそれぞれ Cloud Compare 上の画面を拡大し、巻尺の計測位置に近い任意の点群を選択し、各38データの現場実測値との比較を行った。現場実測値と各モデル間での三者の各測定値の最大差の絶対値平均はCASE1で14.9mm (1.00%)、CASE2で23.6mm (1.58%)、CASE3で40.1mm (2.68%)となり、3次元モデルの精度や出来ばえが低いほど計測誤差は増す傾向が認められた。

3.3 各種計測手法による歩掛りの比較

従来のロープワークによるテープ測量と UAV 写真測量やレーザースキャナ計測に代表される多点計測技術との所要人数の比較を表-1に示す。施工面積などの現場条件の違いに左右されるが、従来測量に比べ4～5割の省力化となると考えられる。

4. まとめ

UAVによる写真測量では、法枠の中心間隔の計測は、撮影距離が近いほど、そして撮影方向が正面からのほうが上面から下方に比べて精度が良くなることを確認した。地上型レーザースキャナは今回のような法面に小段やステージがある条件では精度も高く有効である。ハンディスキャナ計測は手軽に行なうことが出来るが、点群データの出来ばえにおいて点群に実色が無く任意の点を選択しにくい。また、点群総数も少なく精度が落ちるので出来形計測よりはUAVの飛行が難しい現場での概略数量の把握に適していると言える。

工事完成時に要求精度を満たした3次元モデルを作成することは、計測誤差を少なくした出来形確認、完成検査への対応が現場で実測することなく安全に行うことができ、省力化にもつながると考えられる。今後も多様な条件の法面工事における出来形管理への3次元モデルの活用を進めたい。本研究にあたり、国土交通省関東地方整備局相武国道事務所、株式会社ヤマイチテクノの皆様には多大なるご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献：1) 藤田・宇次原, のり面工事における施工管理への3次元モデルの活用, 平成31年度砂防学会研究発表会, 2019.

2) 藤田・宇次原ほか, 法面における3次元モデルの施工管理及び維持管理への活用, 土木学会全国大会講演集 (DVD), 2019

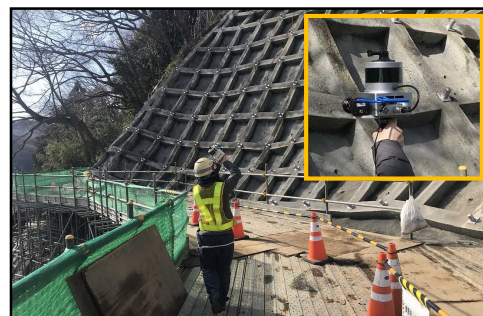


写真-2 ハンディスキャナ計測状況

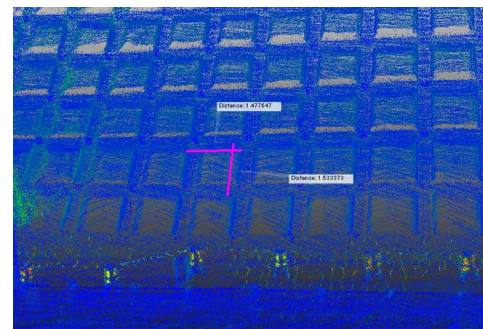


図-2 ハンディスキャナ計測結果

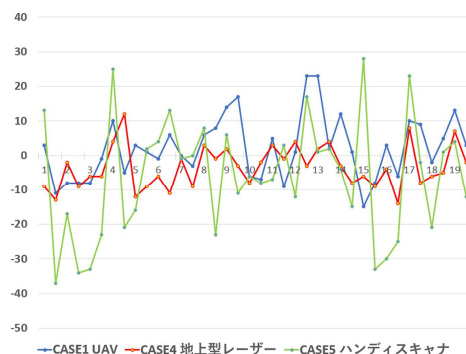


図-3 枠中心間隔の現場実測値との差

表-1 計測方法による所要人数比較(人)

項目	従来測量	写真測量	レーザー	ハンディ
準備工	2	1.5	1	1
測量	4	1	1	0.5
データ作成		0.5	0.5	0
出来形資料作成	1	1	1	1
精度	-	○	◎	△
計	7	4	3.5	2.5