

ドローンポートを用いた法枠工の遠隔3次元計測

日特建設株式会社 ○藤田哲、山梨太郎、蔵谷樹、伊藤奈津記

1. はじめに

近年、国土交通省は生産性向上を目指し「i-Construction」や建設現場のオートメーション化を推進しており、インフラ分野のDXが加速している。ICT法面工においては、令和元年度に吹付工、令和2年度に吹付法枠工が適用され、筆者らもこれまでドローンを用いた法枠工の3次元点群データ作成や出来形計測精度の検証を進めてきた^{1,2)}。

しかし、従来のドローン測量では専門的なスキルを有する操縦者が現場へ赴く必要があり、移動に伴う時間とコスト、人材育成が課題となっていた。これらの課題を解決するため、自動的にドローンを展開し、自己完結型の着陸ボックスに戻すシステムを備えたドローンポートの有効性を検証することとした。ドローンポートは、大規模土工事やインフラ点検等での事例に比べ、法枠工の出来形計測への適用事例はまだ少ない現状がある。

本稿では、遠隔操作技術の内製化を目指して実施した、自動充電ポート付きドローンによる実証実験の結果に基づき、遠隔操縦による出来形計測の精度や点検への適用性について報告する。

2. 現場概要および3次元計測実施方法

(1) 現場概要

本研究における実証実験は、群馬県藤岡森林事務所発注の「令和7年度 県単治山事業（上三沢）」にて実施した。計測対象は写真-1の赤枠に示す林道下方に位置する法枠工であり、諸元は高さ約20m、斜面長36m、勾配1:1.2程度、面積513.5m²である。法枠は枠断面300mm×300mm、枠間隔2000mmで施工されている。



写真-1 現場全景

(2) 3次元計測実施方法

日特建設蓮田総合センターから約65km離れた本現場に対し、ドローンの遠隔操作による写真測量を実施した。空撮には、写真-2に示すドローンポート「DJI Dock 3」および格納型ドローン「Matrice 4TD」を使用し、比較検証用として「Mavic 3T」（いずれもDJI社製、有効画素数4800万画素）による手動飛行を実施した。画像ラップ率は、ドローン管理プラットフォーム「DJI FlightHub 2」を用いてオーバーラップ（横方向）80%、サイドラップ（上下方向）60%に設定し、撮影データはStarlink経由でクラウドに転送した。



写真-2 ドローンポート

撮影は表-1に示す4つの条件（CASE 1~4）で実施した。取得した画像から点群作成ソフト「Pix4Dmapper」を用いて3次元点群データを作成し、点群処理ソフト「TREND-POINT」にて計測値の読み取りを行った。

2.1 枠中心間隔の計測

国土交通省の法枠工出来形管理基準に定められる管理項目のうち、本報告では「枠中心間隔」を対象とし、従来手法（ロープワーク）による現場計測値と3次元計測値の比較検証を行った。

計測箇所は、吹付法枠工出来形管理図表に基づく3箇所（No.1~No.3）に加え、新たに計測値検証用の矢印シールを設置した1箇所（No.4）の計4箇所とし、それぞれ縦方向間隔および横方向間隔を対象とした。3次元計測においては、取得した法枠の3次元データを点群処理ソフト上で拡大し、現場写真に基づき実際の出来形計測位置を特定したうえで、該当する2点間距離を算出した。

2.2 安全設備（親綱）の点検

法面工事では、作業員の墜落防止設備として親綱（ロープ）の設置と定期的な保守点検が不可欠である。しかし、従来の目視点検は、ロープを巻き上げる作業を伴うため負担となっていた。そこで、ドローンを用いた遠隔操作による親綱点検手法に着目し、現場への適用性、および技術的・運用上の課題について考察した。具体的には、ドローン

表-1 撮影条件一覧

CASE	使用機種	航行方法	離隔距離
CASE 1	Matrice 4TD	遠隔自動	約20m
CASE 2	Matrice 4TD	遠隔手動	約20m
CASE 3	Mavic 3T	現場手動	約20m
CASE 4	Mavic 3T	現場手動	約40m

からの画像データ転送により、PC画面上で点検が可能かを検証した。

3. 結果及び考察

3.1 法枠中心間隔の計測

ドローンを用いた法枠中心間隔（縦方向間隔a、横方向間隔b）の3次元計測の精度を検証するため、遠隔自動（CASE1）、遠隔手動（CASE2）、現場手動（CASE3）、現場手動（CASE4）の4条件で得られた計測値と現場実測値との比較を行った。No. 4の計測状況の画面を図-1に示し、枠中心間隔の現場計測値との差を図-2のグラフに示す。

それぞれの条件における現場実測値と3次元計測値の差分の絶対値平均を算出した結果、CASE1（遠隔自動）では縦方向間隔aで14.0mm、横方向間隔bで12.5mmであった。一方、CASE2（遠隔手動）ではaが19.0mm、bが19.8mm、CASE3（現場手動離隔20m）ではaが16.8mm、bが19.5mm、CASE4（現場手動離隔40m）ではaが14.3mm、bが17.3mmとなった。

これらの結果から、自律飛行による遠隔自動計測（CASE1）が、縦横ともに最も実測値との誤差が小さく、高い精度を確保できていることが確認された。これは、CASE1が自動航行アプリによってラップ率を指定し、均一な撮影を行ったためと考えられる。

また、手動操作による計測（CASE2～4）においては、現場での撮影距離（20m、40m）や操作条件（遠隔、現場）によってわずかに誤差のばらつきが見られた。これらの結果より、遠隔操作であっても計測値の誤差は少なくすることは可能であり、法枠出来形計測における遠隔自動ドローン測量の有効性が示された。



図-1 枠中心間隔の3次元計測状況 (CASE1 No.4)

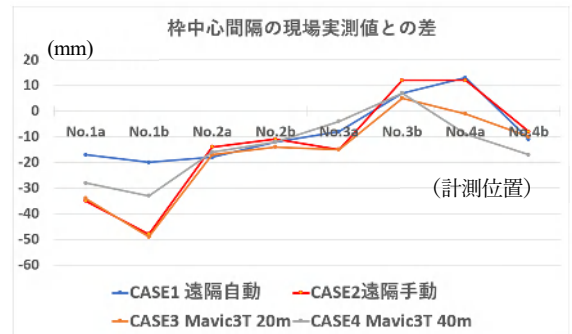


図-2 枠中心間隔の現場計測値との差

3.2 安全設備（親綱）の点検

ドローンを離隔距離 20m とし、デジタルズーム撮影を行った画像からは、概ね親綱の状態を確認できた。一方で、画像では判別しにくい微細な擦れ（毛羽立ち）の発見など、微細な損傷の検知精度に関してはカメラのみでは限界があることも分かった。したがって、日常の目視点検を主体としつつ、遠隔点検を併用して損傷度合いをモニタリングすることが、異常の早期発見および省力化に繋がると考えられる。

4. 熱赤外線カメラの適用性

本実験で使用したドローンには、可視カメラの他に熱赤外線カメラも備わっている。今回撮影した熱赤外線カメラの画像を写真-3に示す。画像からは、法面に向かって右側の既設法枠内の植生、本施工での枠内モルタル吹付及び枠内植生基材吹付の温度を捉えることができた。熱赤外線カメラを用いることで、表面温度の差を非接触で捉えることが可能となる。これにより、老朽化したモルタル吹付法面等の亀裂や空洞といった変状を調査する際の手がかりを、遠隔かつリアルタイムに取得する手法として適用できる。

5. まとめ

法枠工の3次元計測においてドローンポートを用いることで、操縦者の技量に依存せず、アプリで指定した計測範囲を遠隔操作で撮影することが可能となった。これにより、従来は現場へ赴く必要があった測量作業を、本店や支店から飛行ルートや撮影仕様を計画し、遠隔で実施できる見通しを得た。また、出来形計測の精度に関しても、現場での手動操作によるドローン写真測量と同等の結果が得られた。本実験では、法枠の出来形計測に加え、安全設備（親綱）の点検および熱赤外線カメラでの撮影も実施した。今後は、ドローンポートを現場の「省力化」を推進するツールとしてさらに活用していきたい。

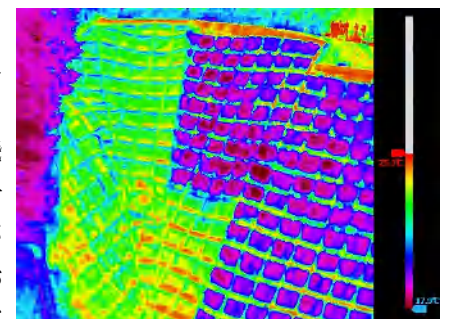


写真-3 熱赤外線カメラ画像

現場での実証実験にあたり、株式会社 KDDI 及び KDDI スマートドローン株式会社の皆様には多大なるご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献： 1) 藤田・蔵谷・山梨, 災害復旧法面工事における3次元モデルの活用, 令和4年度砂防学会研究発表会, 2022.
2) 藤田・蔵谷他, 自律型 UAV Skydio2+を用いた法枠工の3次元計測, 令和6年度砂防学会研究発表会, 2024.