

自律型 UAV Skydio2+を用いた法枠工の3次元計測

日特建設株式会社 ○藤田哲、蔵谷樹
株式会社大林組 小俣光弘、大竹敏浩

1. はじめに

近年、建設工事に従事する作業者の減少や高齢化が社会問題となっている。国土交通省では、これらの社会問題解決に加え、安全性や生産性の向上を図る目的で、インフラ分野のDXが推進されている。i-Constructionにより始まったICT活用工事は、工種の拡大や基準類が整備され、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た。

筆者らは、UAVを用いて法枠の撮影を行い、SfM技術により得られた3次元点群データに関して、出来形計測値の精度についての検証を進めてきた¹⁾²⁾³⁾。これまで検証にあたっては、主に手動でのUAV写真測量を行っているが、多少のノウハウとスキルを要するため、現場への普及には人材育成や支援を必要とする課題がある。

本稿では、法枠工の出来形管理において、従来のマニュアル操作でのUAV写真測量に加え、自律型UAVを用いた測量を行い、3次元点群データを作成し、それぞれの出来形計測手法の違いによる枠中心間隔の出来形計測精度、模擬ひび割れの検出結果及び従来の現場計測との歩掛りの比較について報告する。

2. 現場概要および3次元計測実施方法

国土交通省中部地方整備局新丸山ダム工事事務所発注の令和2年度 新丸山ダム本体建設第1期工事にて実証実験を行った。計測対象の法枠の全景を写真-1に示す。当現場は新丸山ダム左岸上部に位置し、設計高さ40m、斜面長63m、勾配1:1.2の4段の切土斜面の法面対策工である。主な工種は上部より、A法面の鉄筋挿入工併用のり枠工（枠断面300mm×300mm、枠間隔2000mm）及びB～D法面のグラウンドアンカー併用法枠工（枠断面500mm×500mm、枠間隔3000mm）で合計面積は約3800m²である。

撮影に使用したUAVは、写真-2に示す自律型UAVのSkydio2+（Skydio社製）、搭載カメラ（横×縦：4056×3040画素）及びMavic 3T（DJI社製）、搭載カメラ（横×縦：4000×3000画素）である。撮影時の画像ラップ率はオーバーラップ（横方向）80%、サイドラップ（上下方向）60%を確保した。UAV写真測量の標定点は、従来の対空標識の測量手間を軽減することを目的として、GNSSロガー内蔵対空標識を写真-3に示すように法枠小段に設置した。

撮影は、下記のCASE1及びCASE2の条件で行い、撮影した画像から点群作成ソフト「Pix 4Dmapper」により3次元点群データを作成した。

- ・CASE 1 Skydio2+使用 離隔距離：約7m、撮影手法：自動、使用アプリ「Skydio 3D Scan」、撮影方向：多方向、撮影枚数：1712枚
- ・CASE 2 Mavic 3T使用 離隔距離：約20m、撮影手法：手動、撮影方向：法枠に正対、撮影枚数：273枚

「Skydio 3D Scan」は図-1に示すように、撮影範囲を指定すれば構造物を認識し、自動的に、自律的に撮影しながら飛行することが可能なアプリである。得られた3次元点群データの計測値の読み取りには点群処理ソフト「TREND-POINT」を使用した。

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は法長、延長、枠中心間隔及び枠の幅・高さの管理項目がある。本現場では枠中心間隔について、A～Dの法枠において各段2箇所、計8箇所の縦方向間隔a及び横方向間隔bの現場計測値と3次元計測値の比較を行った。法枠の3次元データを点群処理ソフトで拡大しながら、法枠にあらかじめ設置した幅25mmの黒色の矢印の2点間距離を計測した。



写真-1 計測対象法枠全景



写真-2 Skydio2+



写真-3 GNSS ロガー内蔵対空標識



図-1 Skydio 3D Scan での範囲指定

2.2 模擬ひび割れの確認

あらかじめ対象法枠表面に、写真－4に示す模擬ひび割れシート（太さ：0.25～10Pt、約0.1～3.5mm相当の黒色の線を紙に印刷したもの）を設置し、UAVの画像データ及び3次元点群データを拡大し、それらが目視で確認可能かを検証した。

3. 結果及び考察

3.1 法枠中心間隔の計測

枠中心間隔（縦方向間隔a, 横方向間隔b）を対象としたUAV写真測量による3次元計測状況の画面を図－2に示し、枠中心間隔の現場計測値との差を図－3のグラフに示す。現場実測値と3次元計測値の差分の絶対値平均は、CASE1ではaは9.8mm、bは3.6mmであった。また、CASE2ではaは8.9mm、bは7.0mmであった。CASE1はCASE2より撮影距離が近いたため、点群密度が大きく、ソフト上で点群を拡大した際に計測が容易である。CASE2では法枠に正対する方向のみの撮影を行ったが、CASE1は自律飛行アプリによる多方向からの撮影のため、法枠の側面の点群も生成され、写真－4に近い見栄えとなる。法枠表面の隣り合う点群同士の間隔は、CASE1は5～10mm程、CASE2で20mm前後であった。

3.2 模擬ひび割れの確認

CASE1の離隔距離7mからの撮影による画像データからは、紙に印刷した太さ約0.7mm以上の模擬ひび割れの線の確認ができた。また、点群データからは、不鮮明ではあるが1.5mm以上の線の確認ができた。一方、CASE2の離隔距離20mからの撮影による画像データからは、太さ2mm以上で確認ができたが、点群データからは、模擬ひび割れは拡大しても全く確認できなかった。

4. 従来の現場計測とUAVを用いた3次元計測の出来形管理の歩掛り比較

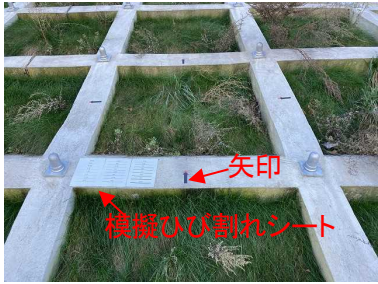
法枠工の出来形管理、資料作成について、従来のロープワークによる巻尺を使用した現場計測、及びUAV写真測量と3次元計測による各管理項目の所要人数の比較を行った。現場計測の歩掛りは、他現場の歩掛りより本現場の計測面積を考慮し、推定値を算出した。各管理項目の所要人数の比較を表－1に示す。現場計測の想定歩掛りは現場計測推定値120人・日に対し、CASE1は48人・日で6割、CASE2においても72人・日と4割の省力化となる可能性がある。

5. まとめ

法枠工の3次元計測では、自律型UAVを用いることにより、操縦者の技量に依存することなく、アプリ上での簡易な設定で指定した計測範囲を、法面上の立木等の障害物を回避しながら撮影することが可能である。これにより経験が浅い操縦者でも、障害物を回避しながら安全に飛行させることが可能となり、効率的な3次元点群データ活用に繋がると考える。また、出来形計測の精度においても、手動によるUAV写真測量による計測値と大きな差はない。今回は模擬ひび割れの確認を行ったが、実際のひび割れの点検についても、自律飛行の離隔距離を小さく設定することにより、検出レベルを上げることができると可能性がある。今後も自律型UAVの適用性の検証及び活用を継続していきたい。

現場での実証実験にあたり、株式会社大林組及び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。

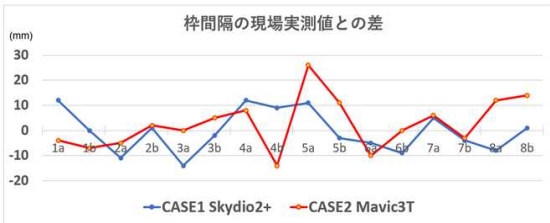
- 参考文献：1) 藤田・宇次原ほか, のり面構造物における3次元モデルの活用に関する研究, 平成30年度砂防学会研究発表会, 2018.
2) 藤田・蔵谷, 3次元モデルを活用した法枠工の出来形管理, 令和2年度砂防学会研究発表会, 2020.
3) 藤田・蔵谷, 災害復旧法面工事における3次元モデルの活用, 令和4年度砂防学会研究発表会, 2022.



写真－4 計測用矢印、模擬ひび割れシートの設置



図－2 枠中心間隔の3次元計測状況(CASE1)



図－3 枠中心間隔の現場計測値との差

表－1 現場計測と3次元計測の歩掛り比較

項目	現場計測	延人数(人・日)	
		CASE1	CASE2
・標定点測量	－	8	8
・UAV飛行計画、撮影	－	5	18
・出来形計測(面積)	50	4	6
・出来形計測(枠中心間隔)	30	7	11
・梁長計測	20	9	14
・内業(図面・管理資料作成)	20	15	15
合計	120	48	72
対現場計測比(%)		40.0	60.0