

治山工事における無人航空機（UAV）を活用した三次元測量の取組

木曾森林管理署 治山技術官
株式会社吉澤組

○ 帆足 郁
○ 吉澤 純

要旨

治山工事請負契約締結後に新たに発生した山腹崩壊地において、無人航空機搭載型レーザースキャナーを活用した測量を行い、三次元モデル化して図面を作成することで「機械のり切工」の土量を算出しました。この方法は、急峻で危険な場所でも安全な測量が可能であり、また、測量に要する人員の削減や作業の省力化、出来形数量の算出が容易であるため、工期の短縮にもつながりました。

はじめに

長野県西部に位置する王滝村の樽沢^{たるさわ}国有林内には、地域の緊急時の避難迂回路でもある林道が通っています。この林道は、過去に発生した山腹崩壊地からの土砂崩落の危険があるため長期間通行止めとなっており、地元からも崩壊地の早期復旧の要望があがっていました。このため、木曾森林管理署が山腹工 0.48ha と溪間工 2 基を行う治山工事を発注し、株式会社吉澤組が受注しました。

工事実施に先立ち現地を確認したところ、春先の雪解けの影響により工事箇所手前の林道上部で山腹斜面が新たに崩れており、通行できないことが確認されました（写真－1）。

新生崩壊地は法長 48m、幅 32m、傾斜は約 50 度と急で、岩塊を含んだ不安定な地形・地質のため、落石やさらなる拡大崩壊の危険性がありました。契約工事を実施するためには、工事車両等の安全な通行確保のためにこの新生崩壊地を復旧する必要があったため、崩壊地内の不安定な土砂を無人の機械で除去する「機械のり切工」と斜面の侵食および風化を防止するための「モルタル吹付工」を実施することにしました。



写真－1 崩壊箇所の様子

1 測量方法の検討

「機械のり切工」における土砂量を算出するために、崩壊地の地形を把握する測量作業が必要であったため、その方法を検討しました。測量方法は、従来から一般的に行われている、①ポールによる測量、②トータルステーションによる測量、に加えて、③無人航空機（UAV）に搭載されたレーザースキャナーによる方法が考えられました。なお、トータルステーションによる測量は、レーザースキャナーを用いて角度と距離を測るもので、測定対象物にプリズムを設置して測定する方法と、プリズムを設置しないで直接測定するノンプリズムの方法の2種類があります。

現地の状況から作業者の安全性に重点を置き比較し、崩壊地に立ち入る必要が無く安全上のリスクが最も小さいUAV測量を採用しました（表-1）。

表-1 測量方法の検討

測量方法	安全性	
① ポール	×	墜落・滑落・落石のリスク「大」
② トータルステーション	×	墜落・滑落・落石のリスク「大」
② トータルステーション (ノンプリズム)	△	墜落・滑落・落石のリスク「中」
③ 無人航空機 (UAV)	○	崩壊地に立ち入る必要がない 墜落・滑落・落石のリスク「小」

2 UAVによる三次元測量

計測機材はUAVにレーザースキャナーを搭載したもので、上空から対象物にレーザースキャナーを照らし、レーザーが返ってくるまでの時間を測定し、距離に換算します。トータルステーションは単一点での計測しかできませんが、レーザースキャナーは大量のレーザースキャナーを同時に照射するため、短い時間で広範囲の地表面の座標データを得ることができます。取得した座標データの集合体である点群座標から崩壊地の地形起伏を三次元で再現する三次元点群モデルの作成や、同時に撮影した写真から傾きや歪みを補正し位置や大きさを正確に表示したオルソ画像の作成が可能です。

また、今回使用したUAVはプロペラアームを広げた状態で幅約1.7m、重量約16kgです。搭載したレーザースキャナーは、重量約1.6kgと軽量であり、360度の範囲で1秒間に30万点のレーザースキャナーを照射でき、標準精度は3cmと高く、様々な分野で多目的に使用されています（写真-2、3）。

(1) 飛行計画書の作成



写真-2 無人航空機 (UAV)
(DJI 社製)



写真-3 レーザースキャナー
(YellowScan 社製)

計測する対象工種や計測範囲、施工や出来形の管理基準、使用する機器や解析ソフト、飛行するコース・高度・速度、データ作成の方法などを明記しました。現在、林野庁の建設工事では、UAVに関する管理基準など具体的に示したものが無いので、今回は国土交通省の管理基準等を適用しました。飛行については、管理基準と現地状況を踏まえて飛行高度 30m、速度 5 km に設定しました。なお、実際の測量作業から図面作成までは専門の測量会社に委託しました。

(2) 調整用基準点の設置

レーザーで計測したデータを三次元座標に変換する際に、調整用基準点が必要となります。標高調整用と水平調整用の 2 種類があり、今回は標高調整用を 1 点、水平調整用を 2 点、林道上に設置しました (写真-4)。



写真-4 水平調整用基準点

(3) 飛行計測

テスト飛行によって計画したコースを確認したうえで、対象区域の飛行計測を行いました。飛行計測にかかった時間はおよそ 20 分でした。

(4) データの確認

計測終了後、取得したデータの確認作業を行います。現地に設置した測量補助車両にて、点群座標データ、撮影画像を確認し、異常がなければ現地での作業は終了です。現地での作業は、基準点の設置等含めて 3 時間程度で完了しました (写真-5)。



写真-5 データ確認

3 土量の算出

「機械のり切工」の施工前後にそれぞれ UAV 測量を行い、この 2 回の計測データを専用のソフトを用いて三次元モデル化し、図面を作成して土量を算出しました。また、オルソ画像も作成しました。三次元モデルから直接土量を算出することもできますが、出来高・出来形の根拠となる成果品が必要であるため、今回は土量算出に必要な横断図面を作成してから、土量を算出しました。この結果、切り取り土量は 915 m³と算出されました

(写真-6、7、8)。

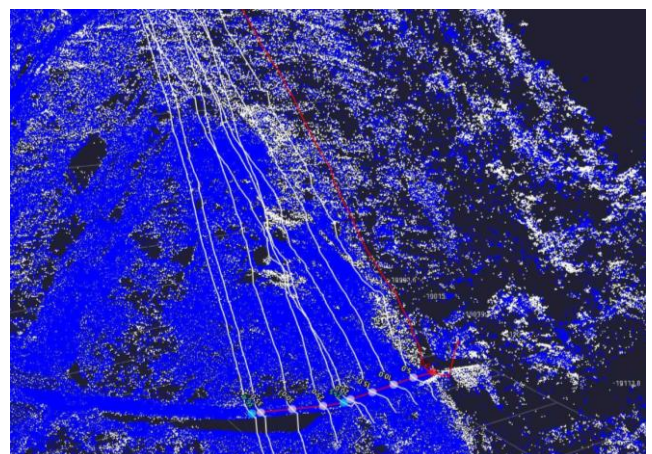
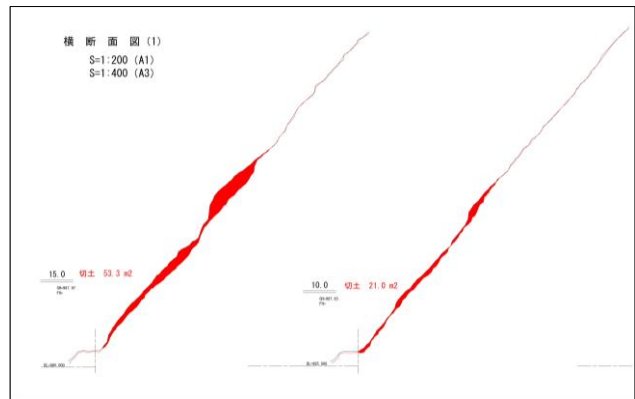


写真-6 三次元点群モデル



写真－7 オルソ画像



写真－8 図面（横断面図）

4 実行結果

今回実施した UAV 測量と従来の測量方法について、安全、精度、作業日数、延べ人員、費用の面から比較しました（表－2）。なお、ポール及びトータルステーションによる測量については、実際には実施していないため、これまでの経験をもとに推定したデータです。

安全面では、危険な崩壊地内に立ち入ることが無いため UAV 測量が優位となり、精度面では、プリズムを使用したトータルステーションと UAV 測量は、治山工事で一般的に示されている土工の出来形数値、許容誤差からみても高い精度であることが分かりました。また、現地作業及び図面化に要した日数、延べ人員については、UAV 測量が優位となりました。特に現地測量に要する日数が少ないことは、安全面のリスク低減にもつながります。費用面では、トータルステーションが優位となりました。UAV 測量の費用が最も高くなったのは、UAV 測量ができる測量会社への依頼が必要であり、測量機材や専用ソフトなどの初期投資費用がかかるためです。今後、使用頻度が高くなるにつれて費用も下がっていくことが想定されます。また、UAV 測量の費用は、測量規模ではなく測量回数によって変わることから、今回は面積 0.06ha での比較となりましたが、測量規模が大きくなるにつれて従来の方法での測量費用が高くなり、相対的に費用面でも UAV 測量が優位になる可能性があると考えられます。

今回の現場では、安全面から UAV 測量を採用しましたが、結果として延べ人員と作業の省力化が図られ、工期の短縮にもつながりました

表－2 測量方法の比較（今回の崩壊地（0.06ha）の場合）

比較項目 測量方法	安全面	精度 (最小読定地)	日数 (現地測量)	日数 (図面作成)	延べ人員	費用
	ポール横断測量	×	△ 20cm	△ 6日	○ 4日	△ 28人
トータルステーション	△	○ 1mm	○ 4日	○ 4日	△ 20人	◎ 約50万円
UAV 測量 (レーザースキャナー)	◎	○ 1mm	◎ 1日	○ 5日	◎ 8人	△ 約100万円

5 他の組織における取組

国土交通省が、平成 28 年から” i-Construction”（アイ・コンストラクション）という生産性改革プロジェクトの中で、建設工事における UAV 測定の導入を進めています。これは、ICT（情報通信技術）を導入し建設業界の生産性向上を目指すというもので、その中に「ICT の全面的な活用（ICT 土工）」があり、測定から設計・施工・検査・維持管理に至るまで、ICT の導入を促進するとしています。この導入の背景には、現場で作業をする技能者の高齢化や、3K 職場「きつい、汚い、危険」とも言われる労働環境から若年者の入職が少ないという、深刻な人手不足があります。ICT の全面的な活用により、従来の 3K 職場のイメージを払拭して「給与が高い、休暇が取れる、希望が持てる」の新 3K 職場を目指すとしています。

このようなことから、近年、国土交通省をはじめ長野県発注の建設工事においても、積極的に ICT が導入されています。

6 考察

UAV 測定は、今回の現場のような危険な場所でも安全な測定が可能です。また、短時間の作業で得られるデータが多く、地形の起伏を三次元で表すことが出来るため、崩壊地の全体像を一目瞭然に確認することができます。加えて、点群の座標データが残っているため、任意の距離や面積の算出などが容易に行えるうえ、測定のやり直しといった作業が無くなることで工程全体での省力化が図られ、工期の短縮につながりました。

このように安全に測定作業が出来ること、建設業界の労働者不足への対策や生産性の向上にもつながることから、今後治山工事においても、UAV 活用を積極的に進めていく必要があると考えています。

おわりに

今回の UAV 測定は、土量の算出のみでしたが、山腹工における面積の数量算出や、人が入れない山間奥地での導入など、活用範囲が広がる可能性を感じました。

UAV 測定などの ICT は林野庁においても各分野での活用を進めており、ICT の導入は今後ますます加速すると思われます。しかし、治山事業においてはまだ発展途上であり、現在のところ林野庁における運用基準・管理基準が示されていません。まずは各基準を明確化し、活用できる環境を整えることが急務であると考えます。

【測定作業、資料作成協力】株式会社 ゼンシン