

ドローン写真測量等を活用した治山工事における出来形計測について

関東森林管理局 大井川治山センター 武田 悠作
平田 和嗣

1 課題を取り上げた背景

治山工事とは山や沢の崩壊地を森林に復旧する工事のことです。写真は治山工事の現場です（写真—1）。かなりの急傾斜地であることが分かるかと思えます。治山工事の課題としてはまず、工事現場は急傾斜地が多く危険であり、安全性の確保が必要になることがあげられます。また、工事の仕上がりを見る出来形計測などは現在、人力によるテープ測量を行っています。多くの人員と時間が必要になってきます。さらに、今後の人口減少により人員の確保も困難になってくることが予想されます。

これらの課題を踏まえ、主に安全面、省力化の観点からドローン等を活用した出来形計測を実施しました。具体的には、法面工における面積計測を実施し、従来の方法であるテープ実測と結果の比較をしました。



（写真—1）治山工事現場

2 3次元測量の種類

今回用いた測量の種類は、地上レーザースキャナ測量（以降「TLS 測量」として）とドローン写真測量（以降「UAV 写真測量」として）になります。これらを以降「3次元測量」とします。

TLS 測量とは、スキャナから無数のレーザーを照射し、その反射強度によって地形の点群データを取得する測量方法です。器械を移動させながら観測する必要があるため、大規模な測量には向きませんが、精度が高く補正が必要ないことが特徴です。

対して、UAV 写真測量とは、UAV の自動操縦により連続撮影した写真を3次元形状復元して地形の点群データを取得する測量方法です。一度に広範囲を撮影できるため、大規模な測量に向いていますが、精度が低く補正が必要になります。また、導入費用は TLS 測量に比べ安価になります。

3 使用機材

- (1) 地上レーザースキャナ
トプコン社製 GLS-2000（ミドル）
- (2) ドローン
DJI 社製 MAVIC2 PRO

4 使用ソフトウェア

- (1) TLS 測量
 - ・点群合成ソフト
- (2) UAV 写真測量
 - ・自動操縦アプリ（DJI 社製 DJI GSPro）
 - ・SfM ソフト（Pix4D 社製 Pix4Dmapper）
- (3) 共通
 - ・点群処理ソフト（福井コンピュータ社製 TREND-POINT）
 - ・測量 CAD（福井コンピュータ社製 TREND-ONE）

5 調査地概要

今回の調査地は静岡県の川根本町にある100崩という崩壊地です（写真—2、3）。高低差は約130m、面積は約6,200m²、平均勾配は約45度、主な工種は簡易法枠工です。写真—3における格子状の構造物が簡易法枠工です。



(写真—2) 調査地遠景



(写真—3) 調査地近景

6 具体的な作業

(1) TLS 測量

TLS 測量ではまず標定点を設置します。標定点とは、TLS 測量では器械点と後視点のことであり、複数のスキャンデータを統合し座標を付与するための既知点になります。

現地調査の結果、法面上部及び法面中腹部への標定点の設置は困難であることが分かりました。そのため、法面下部の林道上に標定点を4箇所設置しました（写真—4）。標定点座標はTS 測量で計測しました（任意座標系）。そして4箇所の標定点にスキャナ及び後視点ターゲットを設置し、地上レーザースキャンを行いました（写真—5）。

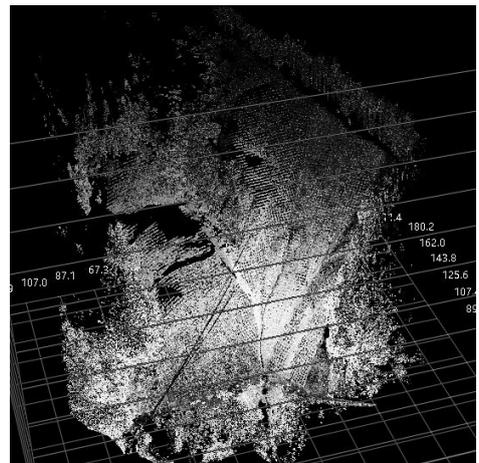
点群合成ソフトにより4箇所のスキャンから得られた各点群データを1つのデータに統合しました（写真—6）。また、統合したデータを見やすくするために、スキャナ本体のカメラで撮影した写真を元に、点群データに色を付けていく作業を行いました。



(写真—4) 標定点の設置位置



(写真—5) TLS 観測の様子



(写真—6) 統合後のデータ

なお、器械点から法面上部までの最長距離は約 180m と遠いことから、法面上部の点群は低密度となりました。各箇所点群密度は表のとおりです。

(表-1) TLS 測量による点群密度

場所	点群密度
法面下部	1,400 点/m ²
法面中腹部	350 点/m ²
法面上部	150 点/m ²
対象物全体	1,000 点/m ²

(2) UAV 写真測量

現地調査の結果を基に UAV (写真-7) の自動飛行ルートを作成します。UAV 写真測量では、対地高度を常に一定にして飛行させる必要があるのですが、現地調査の結果、起伏の大きい斜面では、対地高度を一定に保ちながらの飛行は困難であることがわかりました。また、現地は高低差が大きく、対地高度一定に保ちつつ崩壊地全体を真上から撮影するには、法律で規制されている高度 150m 以上飛行させる必要があることもわかりました。これらのことから、飛行ルートは平面飛行で飛行高度を変えながら、鉛直方向と斜め方向から撮影することとし、各撮影パターンを統合する方法にしました。なお、十分な写真枚数と標定点数によって精度を確保することとしました。

次に、標定点、検証点を設置し、自動飛行による写真撮影を行います。ここでの標定点とは、3次元点群データを補正し座標を付与するための既知点になります。併せて位置精度を確認するための検証点も必要になります。標定点、検証点は対空標識を使用し、標定点 12 箇所、検証点 6 箇所設置しました (写真-8)。

今回は 5 パターンの自動飛行を実施しました (表-2)。SfM ソフトという写真解析ソフトで写真を点群データ化し、5 パターンの各点群データを統合して、標定点による位置補正を行いました。各パターンの解析時間は約 2 時間、全パターンの統合では約 20 時間を要しました。点群密度は全体に一樣でした (約 1,000 点/m²)。



(写真-7) 使用したドローン

(表-2) 自動飛行による撮影パターン

飛行計画	撮影エリア	カメラ角度	飛行角度	撮影枚数
パターン1	法面上方	鉛直	150m	90枚
パターン2	法面上方	斜め30度	120m	98枚
パターン3	法面下方	鉛直	100m	78枚
パターン4	法面下方	斜め30度	70m	83枚
パターン5	法面上方	斜め30度	150m	98枚
			合計枚数	447枚



(写真-8) 標定点、検証点の設置位置

■ 検証点 ● 標定点

7 面積の計算方法

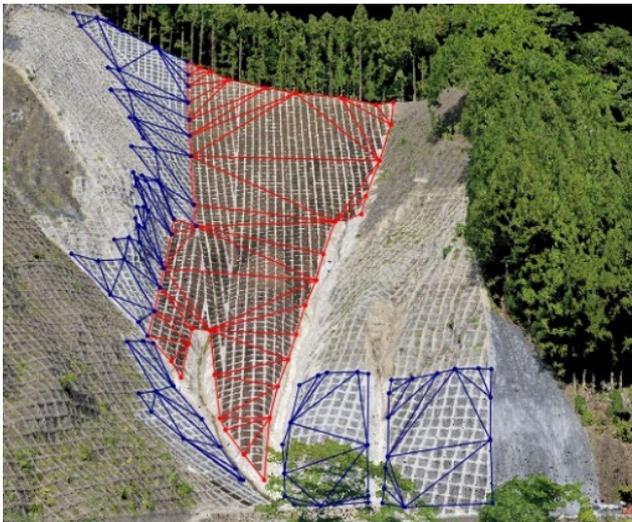
3次元測量が終わりましたので、次に面積計測作業を行います。赤と青の外周線で囲んだ区域が今回の計測範囲です。計測には専用の点群処理ソフト（福井コンピュータ社製 TREND-POINT）を使用しました。内側に画像のような TIN という不整三角形を作成し、それぞれの三角形の面積を合計することにより面積計測しました（写真—9、10）。

今回は TIN を構成する辺長の最小寸法をテープ実測に合わせた 20m と、より緻密な 1m の 2パターンとしました。この 20m と 1m とは、三角形を大きくとるか、小さくとるかの違いです。数字が大きいほど三角形も大きくなります。

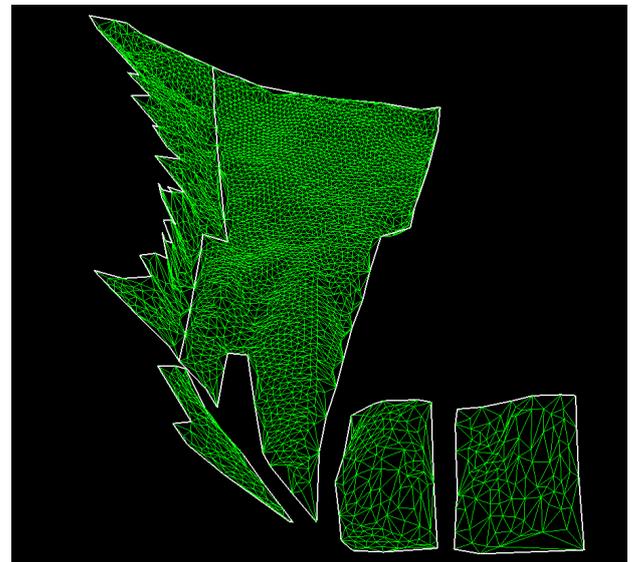
次に、テープ実測による面積計測を行いました。テープ実測においても計測範囲の内側に三角形を作成し、それぞれの面積を合計することにより計測しました。こちらの方法が従来の方法になります。三角形の辺の長さは人手により計測しました（写真—11）。

なお、外周線の各変化点は三次元点群データのおおよその位置を選択しており、TIN も自動で作成されるため、テープ測量の測点及び三角形の割り付けとは一致していません。

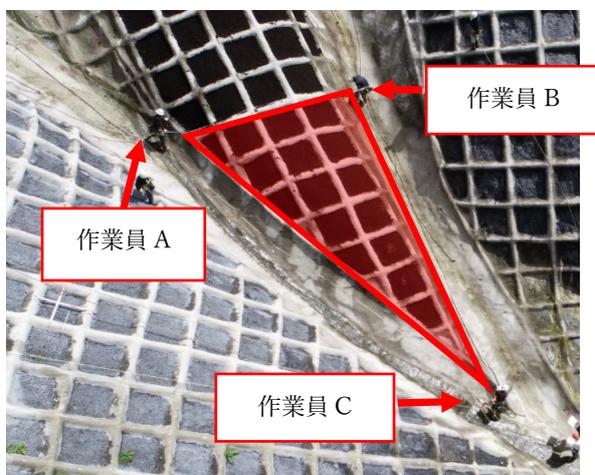
このようにして求めた、テープ実測による面積と 3次元測量による面積を比較しました。



(写真—9) 3次元測量における面積計測の様子 (TIN20m)



(写真—10) 3次元測量における面積計測の様子 (TIN1m)



(写真—11) テープ実測における面積計測の様子

8 取組の結果

3次元測量とテープ実測による面積計測の結果をまとめました。簡易法枠工を施工した範囲を区画分けして、測定しました。3次元測量のカッコ内の数字は、テープ実測の値に対する3次元測量の値の割合です(表—3)。

この表から、TLS測量、UAV写真測量ともに、TINの辺長が20mの場合、つまり三角形を大きくとった場合の合計面積はテープ実測の値よりも(1~2%)小さいことが分かりました。これの原因は、各三角形の辺長が法面の起伏を経由せずに直線距離で計測したことにより短くなったと考えられます。

逆にTINの辺長が1mの場合、つまり三角形を小さくとった場合はテープ実測の値よりも(2~3%)大きいことが分かりました。これの原因は、テープ実測では捉えられないような細かな起伏も経由したことにより、各三角形の辺長が伸びたと考えられます。

(表—3) 3次元測量とテープ実測による面積計測の結果(単位: m²)

区分	テープ実測	TLS測量		UAV写真測量	
		TIN・20m	TIN・1m	TIN・20m	TIN・1m
簡易法枠(中央部)	3473.20	3394.59 (97.7%)	3513.04 (101.1%)	3380.25 (97.3%)	3523.27 (101.4%)
簡易法枠(上左)	1432.80	1462.78 (102.1%)	1513.4 (105.6%)	1442.25 (100.7%)	1569.27 (109.5%)
簡易法枠(下左)	201.90	202.49 (100.3%)	205.08 (101.6%)	206.17 (102.1%)	208.10 (103.1%)
簡易法枠(右中)	261.30	248.08 (94.9%)	260.38 (99.6%)	252.16 (96.5%)	260.10 (99.5%)
簡易法枠(右右)	279.60	274.15 (98.8%)	278.44 (99.6%)	273.38 (97.8%)	276.09 (98.7%)
合計	5648.80	5582.09 (98.8%)	5770.34 (102.2%)	5554.21 (98.3%)	5836.83 (103.3%)

次に今回の3次元測量とテープ実測のそれぞれの歩掛をまとめると(表—4)、1日あたり、テープ実測では12人、TLS測量では8人、UAV写真測量では11.5人という結果でした。特に法面作業に関しては、3次元測量により省力化が図れていることが分かります。

またコスト面では、テープ実測は約30万円、TLS測量は機械費込みで約130万円、UAV写真測量は機械費込みで約110万円という結果でした。

(表—4) 3次元測量とテープ実測の歩掛とコスト比較(単位: 人・日)

作業工程	テープ実測	TLS測量	UAV写真測量
作業計画	-	2.0	2.0
法面作業	12.0	1.5	3.0
TLS観測または ドローン写真撮影	-	1.5	1.5
点群データ作成	-	1.0	3.0
点群編集	-	2.0	2.0
合計	12.0	8.0	11.5
合計金額(コスト)	約30万円	約130万円 (機械費含む)	約110万円 (機械費含む)

9 まとめ

今回の調査により、以下の3つのことが分かりました。

1つ目として、3次元測量とテープ実測の結果を比較すると、合計面積で約1～3%の差が見られることが分かりました。ただ、この結果は外周線の選択位置や三角形の割付の違いにより多少変わると考えられます。

2つ目として、TLS測量は作業延べ人数を2/3程度に削減でき、UAV写真測量はテープ測量とほぼ同等の結果となりました。しかし、3次元測量の法面での作業量はテープ測量に比べ、約1/4～1/8の省力化が図れています。危険な法面での作業が削減できることから安全面でのメリットがあると考えます。今後計測精度の向上による標定点の削減やデータ処理作業の改善等により省力化につながっていくと期待できます。

3つ目として、得られた3次元点群データは面積計測以外にも各種図面の作成や、現況をそのまま保存できることから継続工事の設計時などの有用なデータとして活用できる等のメリットがあります。

今後の技術発展等の省力化で、治山工事がより安全で効率的に行われるようになることを期待しています。

10 協力企業名

- ・株式会社 梶山組 様
- ・株式会社 飛鳥 様