

# 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

大井川治山センター 武田 悠作  
平田 和嗣  
株式会社 梶山組 小左 和之  
株式会社 飛鳥 増田 大斗

## 1 課題を取り上げた背景

治山工事とは、山の崩壊地や荒廃している溪流を森林に復旧する工事のことで、その工事現場は、急傾斜地等危険な場所が多くあり、作業員等の安全確保が重要となっています。また、治山工事のうち山腹工は人力による作業が多く、出来形計測も従来からテープ測量を実施しており、安全面や労働力確保の観点からも課題になっています。

そこで今回は、出来形計測時の面積の計測について、従来のテープ測量と最新技術であるドローン等を活用した測量を比較し、その精度と省力化について検討を行いました。

## 2 具体的な取組

### (1) 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」）とドローン写真測量（以降「UAV 写真測量」）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。

### (2) 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—1、2）。概要は以下のとおりです。

〈高低差：約 130m、面積：約 6,200m<sup>2</sup>、平均勾配：約 45 度、主な工種：簡易法枠工〉



（写真—1）調査地遠景



（写真—2）調査地近景

### (3) TLS 測量の具体的な作業

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（写真の赤丸の位置）。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—3、4）。

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。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（カラーマッチング）。

以上が TLS 測量の具体的な作業です。



(写真—3)

地上レーザースキャナ  
(トプコン社製 GLS-2000)



(写真—4) 標定点の設置位置

### (4) UAV 写真測量の具体的な作業

現地調査の結果を基に UAV（写真—5）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りますが、現地調査の結果、起伏の大きい斜面



(写真—5)

- ・ドローン→DJI 製品の空撮用小型機種：MAVIC2 PRO 使用
- ・自動操縦→DJI GSPro 使用

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分かりました。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の撮影することとし、各撮影パターンを統合する方法にしました。



(写真—6)

標定点、検証点の設置箇所



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－6）。

（表－1）自動操縦による撮影条件

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

今回は上の表の5パターンの自動飛行を実施しました（表－1）。

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。

以上が UAV 写真測量の具体的な作業です。

### （5）面積の計算方法

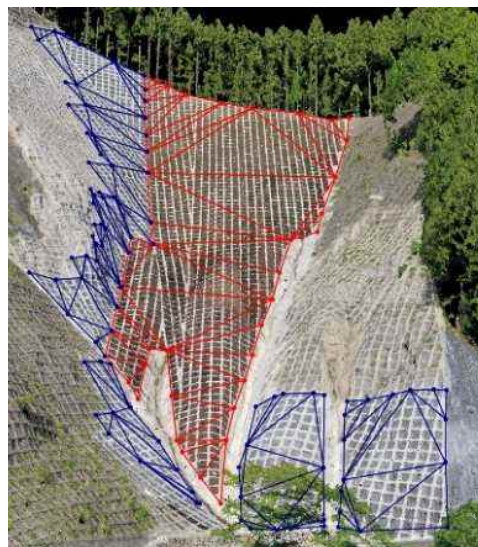
3次元測量が終わりましたので、次に面積計測作業を行います。赤と青の外周線で囲んだ区域が今回の計測範囲です。内側に画像のような TIN という不整三角形を作成し、それぞれの三角形の面積を合計することにより面積計測しました（図－1）。

今回は TIN を構成する辺長の最小寸法をテープ測量に合わせた 20m と、より緻密な 1m の 2パターンとしました。こ

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。

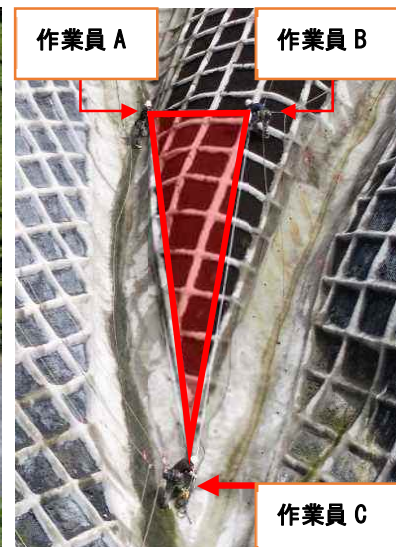
次に、テープ実測による面積計測を行いました。テープ実測においても計測範囲の内側に三角形を作成し、それぞれの面積を合計することにより計測しました。三角形の辺の長さは人手により計測しました（写真－7）。

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。



（図－1）

TIN の辺長が 20m の場合の面積計測



（写真－7）

テープ実測による面積計測の様子

### 3 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—2)。

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。

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—3)、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。

### 4 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。なお、データの処理には高性能パソコンが必要になります。

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。

(表—2)

3次元測量とテープ実測による面積計測の結果(単位:㎡)

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%)

(表—3)

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)