

災害復旧法面工事における3次元モデルの活用

日特建設株式会社 ○藤田哲、蔵谷樹、山梨太郎

1. はじめに

近年、施工の効率化や安全性の向上を目的として、国土交通省ではICTの活用が推進されている。ICT法面工に関しては、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、小型無人航空機（以下、UAV）、レーザースキャナ等の3次元計測技術の活用検討が進められている。

筆者らは、UAVを用いて吹付法枠工の撮影を行い、SfM技術により得られた3次元モデルに関して、UAVの撮影条件の違いによる3次元モデル上での寸法精度の検討を進めてきた。UAVによる写真測量では、法枠の中心間隔の計測は、撮影距離が近いほど、またカメラの向きは法面に正対方向のほうが点群データの出来ばえが良好で、点群計測時の精度が向上することを確認した¹⁾²⁾。本研究では、吹付法枠工を対象としたICT活用工事現場において、UAVによる測量を行い、3次元モデルを用いて崩壊土砂及び切土の土量計算、法枠中心間隔、法枠工の面積の計測を行った。また、従来から行われている巻尺による現場計測と、3次元モデルを用いた計測手法の歩掛りの比較について報告する。

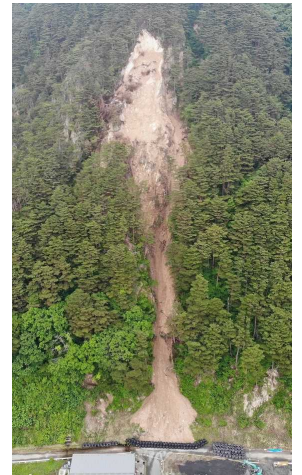


写真-1 着工前全景

2. 現場概要及び3次元計測手法

対象法面は、林野庁東北森林管理局三陸北部森林管理署久慈支署発注の久喜地区災害関連緊急治山工事（岩手県久慈市）である。着工前の全景を写真-1に示す。法面の傾斜は約45°、地上からの高さは約140m、面積約2100m²、主要工種は法切工、土砂撤去工及び吹付法枠工である。法面上部の仕様は法枠工枠断面300mm×300mm、枠間隔2000mmで、枠交点に鉄筋挿入工を併用し、その下部に枠断面200mm×200mm、枠間隔1500mmの法枠を施工している。UAV写真測量には、Mavic2 Pro（DJI社製）を使用した。搭載カメラは横×縦：5472×3648画素である。連続写真撮影時の画像ラップ率は、オーバーラップ（横方向）80%以上、サイドラップ（上下方向）60%以上を確保した。UAVによる写真測量は法切と土砂撤去の前後、及び法枠施工完了出来形計測の計3回実施した。撮影は、法面との離隔距離を約20～30m、撮影方向を法面に正対して行い、撮影した計270～290枚の画像から写真測量ソフトウェア（Pix4Dmapper）で3次元モデルを作成した。

以下の項目について3次元出来形寸法を測定し、出来形管理の歩掛りについても現場計測結果と比較検討した。3次元モデル上での土量計算及び寸法値の読み取りには、3次元点群処理ソフト（TREND-POINT）を使用した。

3. 3次元モデルを用いた出来形計測

3.1 法切及び土砂撤去量の算出

法切及び土砂撤去量の算出には以下の2通りの方法を用いた。

① 法切及び土砂撤去の前後にUAV写真測量を行い、3次元モデルを作成した。それら2つの3次元モデルの同じ位置に断面線を引きCADに出力した。2本の断面線で囲まれた断面積に延長を掛けて土量を求めた。

② 法切及び土砂撤去の前後の3次元モデルの差から切土量を求めた。図-1にメッシュ法による土量計算結果のモデル図を示す。土量計算には、点群の4つの格子点（0.5m間隔）で囲まれた部分にメッシュを生成し、各格子点を平均した標高をメッシュ自体の標高とみなし、柱状モデル体積の合計により土量を計算する4点平均標高法を用いた。また、点群データは倒木等も拾うことがあるので、3次元データに不自然な箇所がある場合は不要な点群の除去を行った。

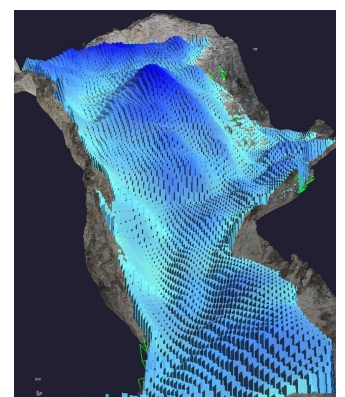


図-1 メッシュ法による土量計算結果

3.2 法枠中心間隔の計測

法枠工の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、枠間隔1500mmの施工範囲における縦枠間隔a1及び横枠間隔a2の各28箇所の現場計測値と3次元計測値の比較を行った。法枠の3次元モデルを拡大しながら、現場計測時に予めマーキングした計測点に相当する点群の2点間距離を計測した

3.3 法枠面積の計測

得られた3次元モデルから、法枠の外周の折れ点をプロットした任意の面を選択し、求積展開図の作成を行った。法枠の規格毎の施工面積についてTREND-POINT上の画面を拡大し、巻尺で実測した計測位置に近い点群を選択し、3次元モデルの三斜を切ったヘロン図の面積と現場実測値によるヘロン図の面積の比較を行った。

4. 現場計測と3次元モデルを用いた計測値の比較結果

4.1 法切・土砂撤去量算出の結果

CAD上の断面積に延長を掛けた土量算出結果7559m³に対し、図-1に示すTREND-POINTを用いた4点平均標高法によるメッシュ土量計算結果は7437m³ (-1.6%)であった。

4.2 法枠中心間隔の計測比較結果

法枠中心間隔(縦枠間隔a1, 横枠間隔a2)を対象としたUAV写真測量による3次元計測の作業画面を図-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、a1は3.9mm、a2は4.6mm、a1とa2を合わせた差分の平均は4.4mm(0.29%)であった。また、出来形計測時のUAVの飛行には、法面との一定の離隔を確保するため、索道のワイヤーと立木に接触しない様注意が必要であった。

4.3 法枠面積の計測比較結果

法枠面積の現場及び3次元計測の計測値の比較を表-1に示す。最小差はF300の-0.974m²(0.3%)で、最大差はF200下部の24.448m²(3.4%)であった。また各仕様の面積の合計値は26.72m²(1.3%)の差となった。

5. 現場計測と3次元モデルを用いた計測の出来形管理の歩掛り比較

法切・土砂撤去量の算出及び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。

各管理項目の所要人数の比較を表-2に示す。現場計測は63人・日に対し3次元計測は30.5人・日で約5割の省力化となった。施工面積が大きい長大法面は、UAV写真測量を用いた3次元モデルによる計測は効率的であると考えられる。

6. 今後の取り組み

法長100mを超える災害復旧法面工事において、UAVによる写真測量の精度や作業効率の面で有効性を報告した。一方、3次元モデルの精度の確保に必要な現場での標定点(対空標識)の設置及び測量作業には、法面上での作業効率の悪い環境もあり、手間がかかるという課題もある。解決策として、GNSSロガー内蔵対空標識、RTK搭載UAV等を使用してさらなる省力化を試みたい。

本現場のような山腹崩壊の対策工事(長大法面)では、従来の巻尺を使用した測量に比べ約5割の省力化となり、ICT活用による起工測量及び出来形管理の活用が有効である。今後も現場での安全性の確保、施工管理に加えて完成検査の省力化にもつなげるよう法面工事における出来形管理への3次元モデルの活用を進めたい。

現場での3次元計測用画像データ取得にあたり、林野庁東北森林管理局三陸北部森林管理署久慈支署、山口建設株式会社の皆様には多大なるご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献：1) 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

2) 藤田・宇次原, のり面工事における施工管理への3次元モデルの活用, 平成31年度砂防学会研究発表会, 2019

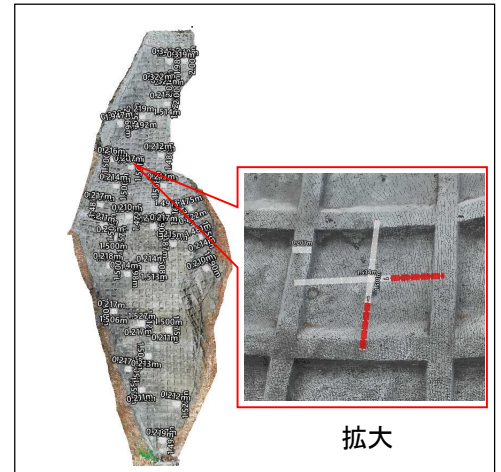


図-2 法枠中心間隔の3次元計測

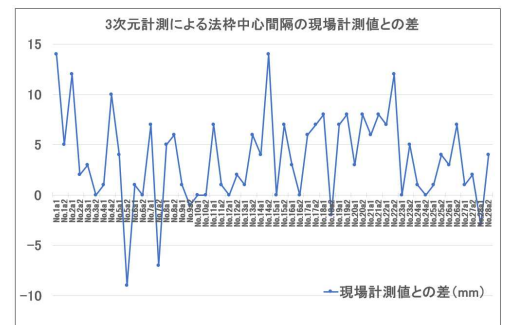


図-3 法枠中心間隔の現場計測値との差

表-1 法枠面積計測結果

仕様	現場計測値	3次元計測値	差
F300	319.282	320.256	-0.974
F200_上部	762.523	756.163	6.36
F200_下部	724.676	749.124	-24.448
F200_右側	285.604	293.262	-7.658
総計	2092.085	2118.805	-26.72

表-2 現場計測と3次元計測の歩掛り比較
延日人数(人・日)

項目	現場計測	3次元計測
・基準点・標定点測量	4.5	13.5
・起工測量(面積計測)	16	1.25
・掘削土量算出	4.5	2
・出来形計測(面積)	18	1.5
・出来形計測(枠中心間隔)	9	3
・梁長計測	6	3.75
・内業(図面・管理資料作成)	5	5.5
合計	63	30.5