地すべり変状箇所における UAV レーザ計測と細部測量結果の検証

西日本高速道路エンジニアリング中国（株）正会員　○金子　雅博
ルーチェサーチ（株）　二谷　卓

１．はじめに

近年，UAV（Unmanned Aerial Vehicle）の利用やレーザスキャナを利用した測量が一般的になりつつあり，国土交通省でも生産性向上を目的とした取り組みが進められている．維持管理においては，従来の新規路線計画のような大規模調査・計画は少なく，部分的な補修・補強対策や災害箇所などの比較的狭小区間など限られた範囲を対象とするケースが多くなっている．このような状況から今回，供用中の切土のり面に地すべりが発生したため，地表踏査の一環として実測による細部測量と「UAV によるレーザ計測」を実施し，従来測量の成果と相違を検証した．本報告は，地すべり調査の一環として従来の路線測量結果と UAV によるレーザ計測結果から作成した横断図を重ね合せ，変状斜面地形の相違を検証した事例紹介である．

２．UAV によるレーザ計測への期待

UAV によるレーザ測量は近年増えつつあるが，まだ実績は少ないため，本業務では，以下の項目を期待し実施した．

a）狭小区間での効率的な現地作業内容及び作業時間の把握
b）UAV の低高度・低速度（レーザの点群密度増加）による精度向上
c）樹木が繁茂する箇所における精度のよい地盤データの取得

図 1 使用した GNSS+IMU+レーザスキャナ搭載型 UAV 機（SPIDER-eX）

表 1　使用した UAV の仕様

項　目	仕様
機体総重量	24.5kg
機体寸法	1.1m(L・B)×0.7m(H)
搭載重量	59.0kg（最大）
動力	8 個のモータ
飛行時間	15 分/1フライト（最大）

表 2　使用したレーザスキャナーの仕様

項　目	仕様
照射数	50 万 shot /sec 注 1）
視野角（FOV）	330°
最大／最短測定距離	920m／3m
精度	10mm

注 1：照射数は最大 50 万 shot/sec であるが，今回は 30 万 shot/sec で実施した．また、点群密度は平地で 100 点/m2 程度

３．使用した機器の仕様及び従来の測量作業内容

(1) UAV の機種：図 1 及び表 1 に示すとおり，UAV は上下反転型の 8 枚羽で構成され，GNSS 及び IMU（慣性計測装置）を搭載した機種を使用した．また，作業規定の準則[1)]による航空レーザ測量の性能を持つ機器を搭載している．

(2) レーザスキャナの仕様：レーザスキャナの仕様は表 2 のとおりであり，UAV が低空・低速度で計測することにより，点群密度が従来の航空レーザ測量より増加している．

(3) 従来の細部測量作業：現地の既知点（3 級基準点）を使用し，トータルステーションにより測量作業規定に従い，4 級基準点測量と細部測量を実施した．

４．計測作業状況

(1) UAV によるレーザ計測：現地では，調整用基準点として反射率の高いターゲットを 3 点設置した後，飛行に関する準備作業後に UAV を飛行させた．現地作業時間は UAV の飛行が 15 分弱（1 フライト）であり，全体の作業時間は 1 時間程度であった．

(2) 従来の細部測量：現地細部測量は 4 級基準点 17 点，地形測量面積は 2．2 万 m2，横断測量延長 320m（測線 17 本）を実施した．この測量では現地作業日数は 6 日間程度であった．

５．検証方法について

変状斜面地形の踏査結果及び細部平面測量結果による変状平面図と UAV によるレーザ計測で取得した 3D 点群データから TIN（Triangulated Irregular Network；不規則三角形網）を発生させて作成した平面図の整合性を CAD 上の重ね合せで確認することに加え，測量結果の精度検証として細部測量で作成した横断図を基本として，代表測点ごとに横断図を作成し CAD 上での重ね合せでその相違を検証した．

キーワード　地すべり調査　UAV　レーザ計測　3D 点群データ　維持管理　作業効率化
連絡先　〒733-0037　広島市西区西観音町 2-1　西日本高速道路エンジニアリング中国㈱　ＴＥＬ082-532-1411

横断図の検証として，主測線(A 測線;崩落懸念箇所)，副測線(B 測線;最大切土高箇所)，副測線(C 測線;潜在すべりブロック)の 3 測線とした．また，検証の着目箇所は，伐採後の切土のり面 ，樹木が繁茂した自然斜面 ，小段水路箇所やフェンスなど支障物がある箇所の 3 箇所とした．

なお，相違として CAD によるパソコン画面以外では地形ラインの相違は小さく判断し難いため，図 2 に示すように，実測測量との相違の検証は横断測量端点箇所の数値を用いて検証した．

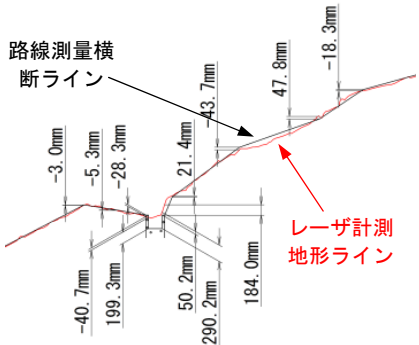

図 2　測線の第 2 小段付近の計画結果

6．検証結果

変状斜面の微地形データを図 3，図 4 に示す．踏査及び細部平面測量結果から作成した変状平面図の損傷部分は，UAV によるレーザ計測で取得した画像処理後の 3D 点群データで十分表現されており，踏査及び測量結果以上の微細な起伏とすべり範囲も捉えている．一方，横断図の実測測量データとの検証結果を表 3 に示す．A 測線と B 測線は伐採後の切土のり面においては 50mm 以下の相違が 90%程度であり，全体としてほぼ 100mm 未満の相違であった．また，樹木が繁茂した自然斜面は 50mm 以下の相違が 70%程度であり，全体として 100mm 未満の相違であった．ただし，水路箇所などは 100mm 未満の相違は 50%程度であり，100mm 以上となる相違もあった[注2]．

図 3 ノイズ処理後の 3D 点群データ

図 4 変状平面図(踏査及び測量結果)

表 3　A 測線と B 測線の相違結果表

	A 測線(崩落懸念箇所)			B 測線(最大切土高箇所)			C 測線(潜在すべりブロック)		
高低差	伐採後切土	樹木繁茂の自然斜面	水路箇所等	伐採後切土	樹木繁茂の自然斜面	水路箇所等	伐採後切土	樹木繁茂の自然斜面	水路箇所等
0～50 ㎜未満	47 点(92%)	5 点(71%)	4 点(44%)	47 点(87%)	4 点(67%)	3 点(20%)	34 点(72%)	6 点(67%)	1 点(11%)
50～100 ㎜未満	4 点(8%)	2 点(29%)	1 点(11%)	5 点(9%)	2 点(33%)	5 点(33%)	9 点(19%)	3 点(33%)	2 点(22%)
100 ㎜以上	0 点(0%)	0 点(0%)	4 点(44%)	2 点(4%)	0 点(0%)	7 点(47%)	4 点(9%)	0 点(0%)	6 点(67%)
最小値	0.7mm	3.5mm	4.6mm	0.1mm	3.2mm	8mm	1.5mm	2.9mm	16.2mm
最大値	83mm	83.1mm	290mm	489mm	57mm	224mm	198mm	92.9mm	449.8mm

注 2：既存水路は 240mm×240mm 形状であるので，この形状を控除すると相違は小さくなる。

7．考察

UAV によるレーザ計測と実測測量の相違を検証した結果を下記に述べる．

a) 伐採後では凹凸微地形や小規模地すべり範囲を十分に表現しており，実測値との大きな相違はない．

b) ある程度樹木が繁茂した斜面においても計測差は，調査･設計を行う上で大きな問題はない．

c) レーザ計測は，実測測量と比較すると大幅に現地作業効率が向上する．

d) 水路やマス等の小構造物がある箇所は，照射数の変更等で対応することが可能であると考えられる．

e) 落石調査･渓流調査等の 1 次抽出や詳細な地形判読には十分使用可能と考えられる．

8．おわりに

地すべり調査を実施する際，精度の高い地形図を入手することは重要であり，今回実施した UAV によるレーザ計測は作業前に期待していた精度や作業効率などを含め，良い結果が得られた．現状において従来の測量作業に比べて利点が多いと考えられるが，飛行ルールの遵守や非常に高価な機材に加えて点群データ処理ソフト及び高性能なパソコンによる画像編集作業を必要としている．UAV によるレーザ計測の普及とともにこれらのコストダウンが図られていくと推察されるため，利活用での検証を今後も進めていくことが課題解消に繋がると考えられる．

参考文献

1) 公益社団法人 日本測量協会：公共測量 作業規定の準則,pp.88-89,2016.