

治山事業における UAV、地上レーザ計測から取得した 3 次元データの活用

日高南部森林管理署 小川 洋平
国土防災技術北海道 株式会社 平元 万晶

1. はじめに

現在の国有林野治山事業の測量は主にトータルステーションを用いた平面・中心線・縦断・横断測量で実施しています。この手法は高い精度を得られる反面、現地での測量に時間を要するという課題があります。

このような課題に対応するため、近年様々な場面で活用されている UAV や地上レーザスキャナーを使用して測量を実施し、機器の活用方法や特徴を把握しました。また、測量で得られたデータを元に構築された地形の 3 次元データを活用し、治山事業への有効性を考察していきます。

2. 測量手順と成果

2-(1). 今回使用した測量機器の紹介

今回の測量で使用した機器とおおまかな導入価格を紹介します。従来測量はトータルステーションを使用しました。導入価格は約 100 万円です。UAV は DJI 社の PHANTOM4 PRO を使用しソフトはメタシェイププロフェッショナルを使用しました。導入価格は機器が約 30 万円、ソフトは約 50 万円です。地上レーザはトプコン社の GLS2000 を使用しました。導入価格は機器とソフトを合わせて約 1,300 万円です。地上レーザについては購入する場合は高額となりますが、1 週間約 50 万円レンタルも行っていますので、こちらを利用することで費用を抑えることも可能です。



従来測量機器
(トータルステーション)



UAV(ドローン)
PHANTOM4 PRO



地上レーザ
3DLaser Scanner GLS-2000

図-1 今回使用した測量機器

2-(2). UAV の測量手順と成果

UAV 測量の手順は、現地作業（外業）として①フライトプラン作成、②評定点の設置、観測、③フライト（自動航行）を行い、得られたデータを元に室内作業（内業）として④ SfM 処理（点群作成）、⑤座標付加、⑥メッシュ構築・オルソ作成を行います。

はじめに iPad 上で「DJI GS PRO」というソフトを使用し、フライトプランを作成しました（図-2）。今回はオーバーラップを 90%、サイドラップを 60%で設定しています。

次に調査地に標定点を 5 箇所設置し、フライトを実施します。フライトは図-3 のとおり UAV が自動航行し調査地の真下の写真を撮影します。今回の自動航行では 26 枚の写真を取得することが

出来ました。

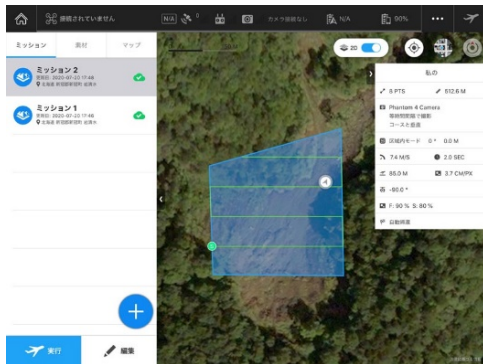


図-2 フライトプランの作成

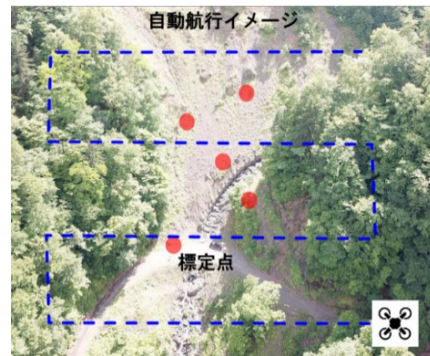


図-3 標定点と自動航行イメージ

得られた写真に処理ソフト（メタシェイププロフェッショナル）を使用し、カメラで撮影した複数の画像から対象物全体の3次元モデルを生成するSfM処理を行います。その後、設置した標定点の中心に座標を付加し、地理空間座標を定義し3次元データの完成となります（図-4）。3次元データである高密度クラウドはパソコン上のマウス動作で地形を回転、拡大などが可能となり現地の状況をモニター上で確認することができます（図-5,6）。

また、メッシュ構築を行い図-7のようなオルソ画像を作成することもできます。オルソ画像とは、空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさで位置に表示される画像に変換したものです。座標付加を行うことで、GISなど地図データに重ね合わせて利用することが可能となります。

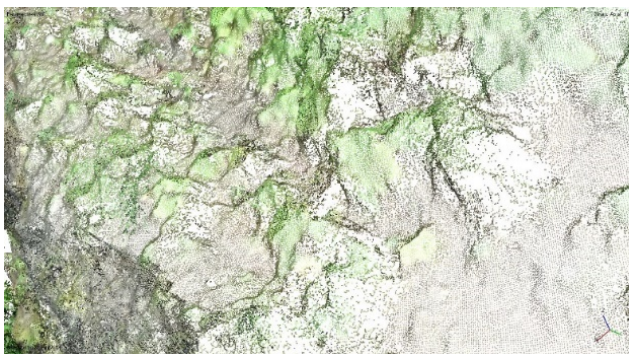


図-4 SfM処理により点群を作成

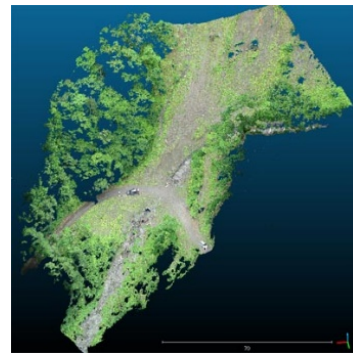


図-5 3次元点群データ（全景）



図-6 3次元点群データ（拡大）

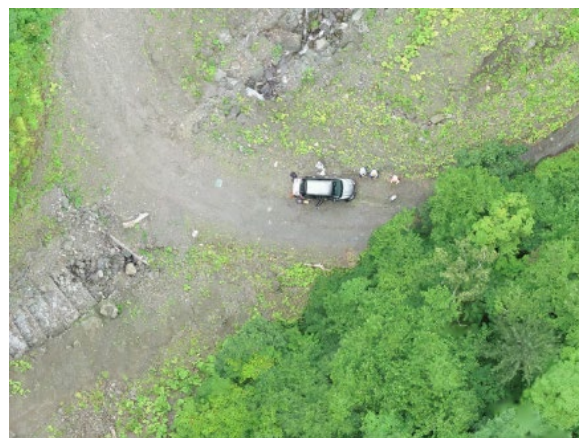


図-7 作成したオルソ画像

非常に便利な3次元データですが、少し問題点があることもわかりました。図-8は高密度クラウドで調査地の横断面を表示していません。木の無いところは地表面を確認することができますが、木が生えているところについては、登頂部の樹冠のみが表示されてしまい、地表面は想定せざるを得ません。このことから、UAVによる3次元データでは、樹冠下の情報取得が難しいということがわかりました。

これにより、このままの状態では構造物設計を行った場合、横断面の一部を想定で設計することとなるため、治山ダムの延長等に影響が出るのではないかと考えられます。

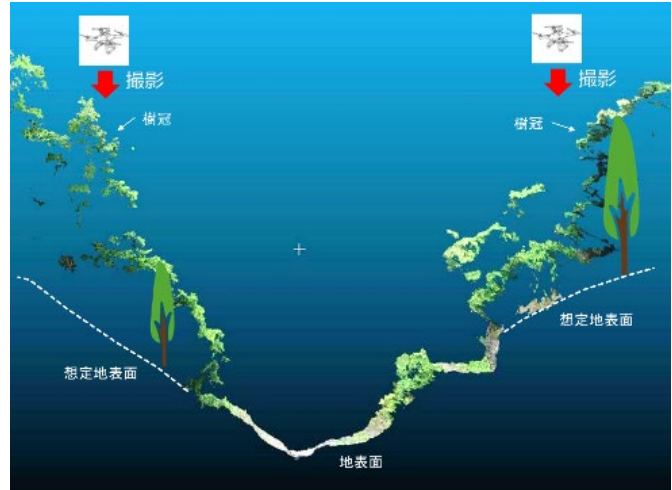


図-8 3次元点群データから抽出した横断面図

2-(3). 地上レーザの測量手順と成果

地上レーザ測量はまず、現地作業（外業）として①計測位置に杭設置・座標付け、②スキヤニングを実施し、その後、室内作業（内業）で①点群のカラー化・フォーマット変換、②合成処理・座標付加を行います。機器を設置し計測する箇所は3箇所とし、特徴点も3箇所設置しました（図-9）。次に、3箇所の機器設置箇所座標指定、求心など実施後、地上レーザによるスキヤニングを行いました。

地上レーザによるスキヤニングは、図-10のように、縦円周状にレーザ光を射出しながら、同時に、機器本体が横円周状に回転することで実施され、ドーム状に情報を取得していきます。

点群のカラー化、フォーマット変換は、最初に得られた白黒の点群情報に現地写真から判読した色をつけることによりカラー点群化する作業となります。また、機器に保存されているデータのフォーマットを、一般的な3次元の点群データフォーマット（las形式）に変換します。

最後に、特徴点に座標を付加し、合成処理を行います。本調査では、3箇所のデータがありますので、これらに共通の特徴点を指定することで、1枚のデータに合成します。これにより、地上レーザ測量での3次元データが完成となります（図-11, 12）。UAVの3次元データと同様に地形の回転、拡大が可能です。UAVと比較した場合、地上レーザの3次元データの方がより鮮明なデータであるように感じられます。

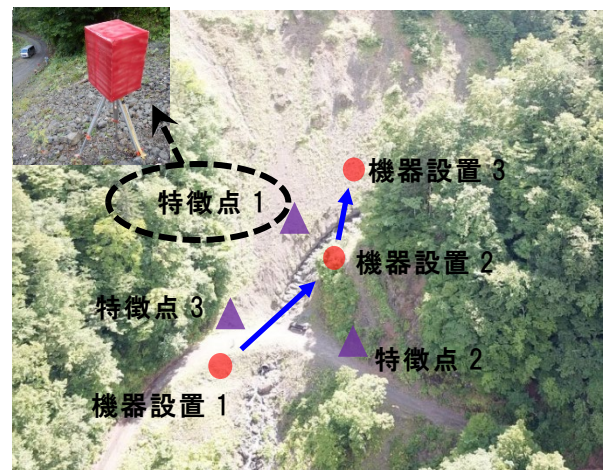


図-9 特徴点の位置と機器の設置箇所

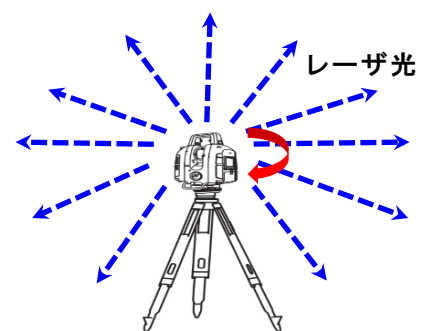


図-10 レーザ測量器計測方法

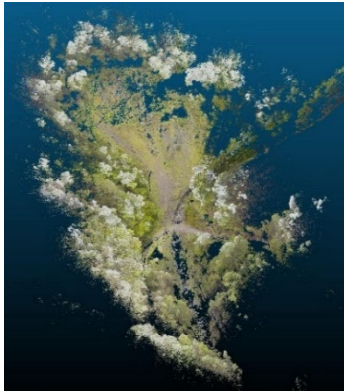


図-11 合成後の3次元点群データ（全景）



図-12 合成後の3次元点群データ（拡大）

また、地上レーザの3次元データでは、図-13のとおり樹冠下の地表面をしっかりと計測することが可能であることがわかりました。

また、図-14のとおり、物体や植物等も高精度に計測できることもわかりました。反面、レーザ本体から離れた場所については、点群が粗くなる傾向や計測地点の移動に時間を要すること、レーザ照射方向に凹みや障害物がある場合は、その後方にレーザ光が届かないため欠測が発生してしまうなどの短所もあることがわかりました（図-15）。

地上レーザでは、図-13のように UAV で計測できなかった樹冠下地表面の情報を取得することができましたので、この情報を利用して UAV での3次元データと合成することで樹冠下情報の取得ができなかった UAV による3次元データの補完ができます。

このことについては「5. 3次元データの活用」にて触れていきたいと思ひます。

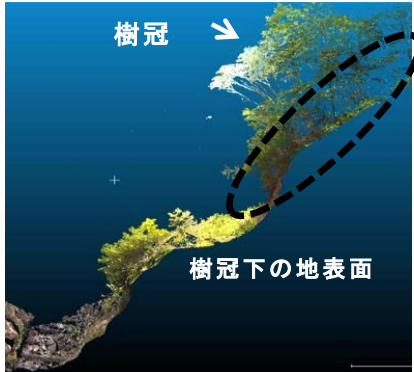


図-13 横断面



図-14 測量機器

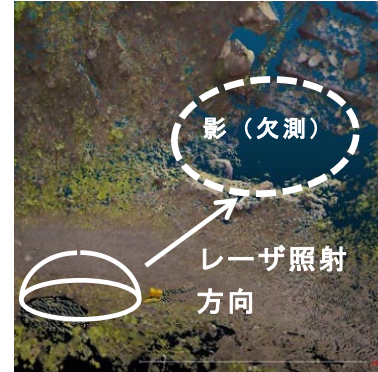


図-15 欠測の発生

3. 従来測量との精度の比較

UAV 標定点、地上レーザ特徴点を利用して、各点間の水平距離、垂直距離を3次元データ上で計測し、従来測量結果と比較して、精度の検証を行いました。

結果は UAV の場合、水平距離で平均 1.6 cm、垂直距離で平均 1.3 cm、地上レーザの場合、水平距離で平均 0.7 cm、垂直距離で平均 0.9 cm の誤差を確認しました。

今回の調査では精度の比較をすると地上レーザ測量が UAV を上回っていることがわかりました。

4. 特徴把握

これまでの結果により各測量の特徴は表-1, 2 のとおりとなりました。

UAV は計測範囲、計測時間、導入価格、労力が従来測量に比べ優れている反面、精度が地上レーザより若干低いことと、樹冠下情報の取得が難しいことがわかりました。

地上レーザは、UAVに劣りますが広範囲の計測を従来測量より短時間で行え、UAVより高い精度と、樹冠下の情報取得が可能な点が長所であり、導入価格が高価なことや、欠測が発生する場合がありますという点が短所となります。

表-1 各測量機器の特徴

測量機器	計測時間	計測範囲	精度	価格	労力(外業)	労力(内業)	樹冠下情報
UAV	◎ (90分)	◎	○ (1.5cm)	◎ (80万)	◎ (210分)	◎ (80分)	×
地上レーザ	○ (60分)	○	◎ (0.8cm)	△ (1,300万)	◎ (210分)	○ (120分)	◎
従来測量	△ (約5時間)	—	—	○ (100万)	△ (約2日)	△ (約2.5日)	—

表-2 UAVと地上レーザの特徴

	UAV	地上レーザ
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・1フライトで広範囲を短時間に調査可能 ・導入価格が比較的安価 ・労力(外業・内業)が少なく調査可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・UAVには劣るが1計測で広範囲の調査が可能 ・UAVより高い精度で計測可能 ・労力(外業・内業)が少なく調査可能 ・樹冠下の地形情報の取得が可能
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・樹冠下の地形情報取得が困難 ・精度が地上レーザより低い 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入価格が比較的高価 ・凹みや転石など障害物がある場合は後方に欠測が発生する ・離れた場所は点群が粗くなる ・計測地点の移動に時間を要する

5.3 3次元データの活用

3次元データの活用として、UAV測量と地上レーザ測量で得られた3次元データを合成しました。データを合成することにより、お互いのデータで欠測となっている部分を補完することが可能になります(図-16)。



図-16 UAVと地上レーザの3次元点群データの合成

さらに横断面を合成することで UAV では計測できなかった樹冠下の地形情報を、地上レーザの計測結果で補完することが可能になります(図-17)。

また、設計した構造物を 3 次元データ上に配置することが可能となり、様々な角度で構造物の配置検討や、構造物の現地でのおさまりの確認することができます(図-18)。

配置がおおよそ決まれば 3 次元データから地形モデルを作成し、流体シミュレーションを行うことが可能になります。これにより、構造物配置後の流水の挙動確認を行うことが出来ます(図-19)。

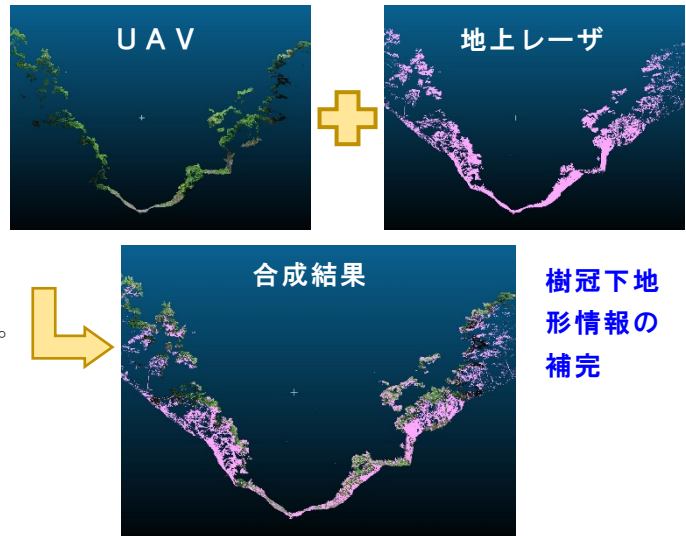


図-17 UAV と地上レーザ点群データの横断面合成結果



図-18 3次元点群データ上での構造物配



図-19 流体シミュレーション検討例

6. まとめ

最後に、特徴把握・3次元データ活用から見えたことは、

- ①両機器とも従来よりも外業作業時間を大幅に短縮しつつ広範囲を安全に計測できる。
- ②UAV と地上レーザを組み合わせることで、お互いの不得手な情報取得部分の補完が可能となる。
- ③2次元では表せない地形の特徴把握が可能となる。
- ④3次元での設計検討が可能となる。
- ⑤3次元流体シミュレーションを行うことで計画構造物配置後の状況確認が可能となる。

これらのことは、迅速な調査・対応が求められる災害発生時調査の効率向上や、治山事業の設計品質向上に非常に有効な手段であると考えます。

本発表では、測量から設計までを実施しましたが、将来的には3次元データの活用により、例えば土工管理といった施工、完成した構造物を3次元化することでの出来形管理等に活用されていくことが期待されます。