

草地整備事業における UAV 活用事例

益村測量設計株式会社

〃

〃

十勝総合振興局 産業振興部 南部耕地出張所

○ 森 隆幸

近藤 義和

市川 智啓

星野 英知

田邊 英樹

1. はじめに

近年需要が増えている UAV 測量は、トータルステーションや RTK-GNSS^{*1} 等による地上測量に比べ、実測点数が高密度かつ広範囲な地形情報を、短時間で取得する事が可能である。その特徴を活かすことで、現地作業の高精度化と省力化を両立し、更に生産性向上への展開が期待され、農業、建設業、報道関係、及びサービス業等、各分野で幅広く活用されている。

今回 **写真 1** に示す公共牧場施設の地形測量を行う事を目的に UAV（無人航空機）により撮影した写真から、SfM解析（Structure from Motion；多視点ステレオ写真測量）により作成した DEM データ（Digital Elevation Model；数値標高モデル）の位置情報をネットワーク RTK-GNSS による実測値及び UAV レーザ観測との比較により観測手法の違いによる位置誤差を検証した。更に、UAV 写真測量及び UAV レーザ測量の作業効率、作業の迅速性、牧草地に対する地形データ取得の有効性を含めメリット・デメリットを明らかにし、今後の活用方法を取りまとめている。

^{*1}RTK-GNSS …… 現場で取得した衛星データと、周辺基準点を基地局とした観測。

データから作成された補正情報を組み合わせ、リアルタイムで測量を効率的に行う方式。



写真 1 調査区域を上空から撮影

2. UAV 測量のこれまでの活用例

UAV 測量によるメリットは、第一に作業者の立ち入りが制限される地域への測量が可能となることである。特に災害による危険区域、農作物の病害虫対策が必要な区域等、地上における作業が制限される場合、対象区域の外から UAV を操縦して区域内の撮影やレーザ観測を行う

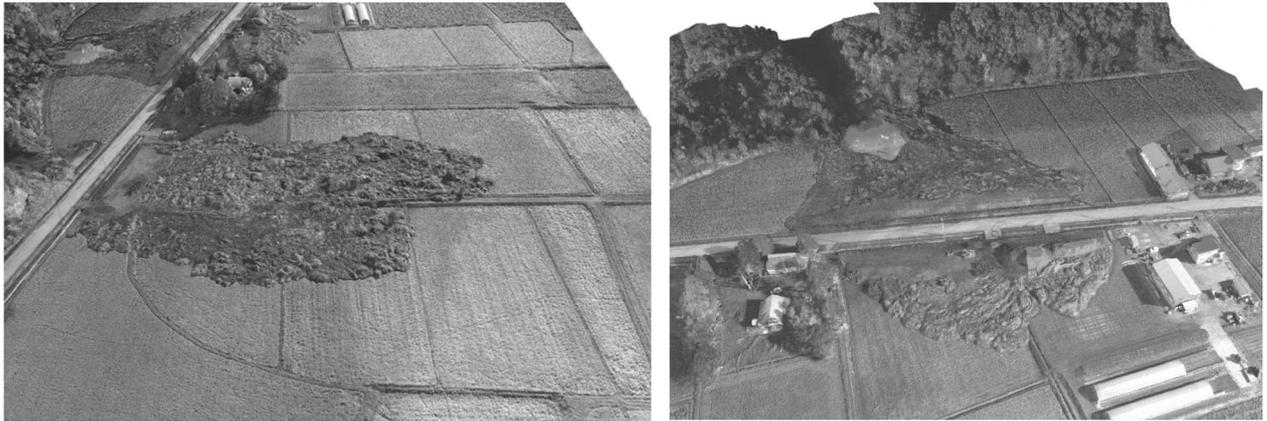


図1 平成30年胆振東部地震 三次元点群データによる被災状況図

ことで、被災状況の確認、調査区域の現況、地形を観測することができる。そして、第二のメリットは短時間で広範囲な現況・地形データの取得を可能とすることである。

弊社では平成30年胆振東部震災の被災状況調査において、UAV写真測量から作成した三次元点群データ（図1参照）を作成し、被災によって堆積した土砂量の算出、写真から作成したオルソ画像を平面図として使用し農業施設の被災延長や農地の被災面積を算出している。調査面積は48haと非常に広範囲であったが、UAV写真測量により、写真撮影に約2週間、解析に1週間、平面図及び土量の算出に1週間とわずか1ヶ月程度でその作業を完了している。仮にこの面積を地上測量（トータルステーション・RTK-GNSS）により実施した場合、おおよそ3ヶ月を要すると予想される。

このように広大な土地の測量及び迅速性が求められる測量には、UAV測量の効果は大きい。

3. 調査概要

調査対象の清水町営牧場は、図2に示す十勝管内清水町市街より北西5kmに位置する北清水団地である。業務目的は、草地整備事業により北清水円山地区内の家畜保護施設、家畜ふん尿処理施設及び飼料貯蔵施設の増設に伴い、その建設用地の基盤造成工事に先立ち、施工に資する測量調査と実施設計を行い、その成果の取りまとめであった。

公共牧場施設用地の調査対象となる区域は全体的な急勾配に合わせて尾根状の起伏もあり、施設用地の造成設計に対し的確な地形データが必要である。また盛土部に対する表面水による土砂流出ならびに浸透水による盛土崩壊が危惧されるため、地上測量では確認できない



図2 調査箇所図

造成区域に流入すると考えられる造成区域外を含めた広範囲な流域についてUAVを活用した調査が必要であり、そのため牧草が生育する前にUAV写真測量を行う必要があった。なお、UAV写真測量は起伏確認を容易とするため牧草が生い茂る6月以前に実施した。

4. UAV 写真測量

4-1 作業計画

UAV 写真測量は UAV を用いた公共測量マニュアル (案) 第 3 編 「UAV 測量による空中写真を用いた三次元点群作成¹⁾」に基づき作業を行った。作業の流れを図 3 に示す。

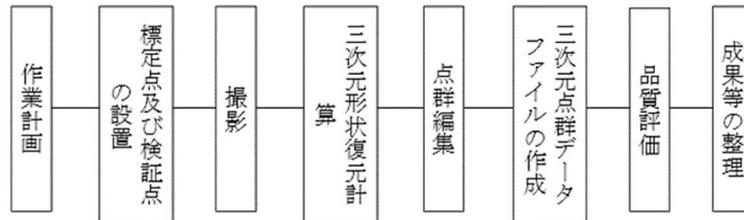


図 3 作業の流れ

4-2 標定点の設置

標定点については、図 4 に示すようにほ場全体が囲まれるよう、全 7 点を設置した。また、ネットワーク型 RTK(VRS)観測により位置を確定し、公共座標の位置付けを行っている。

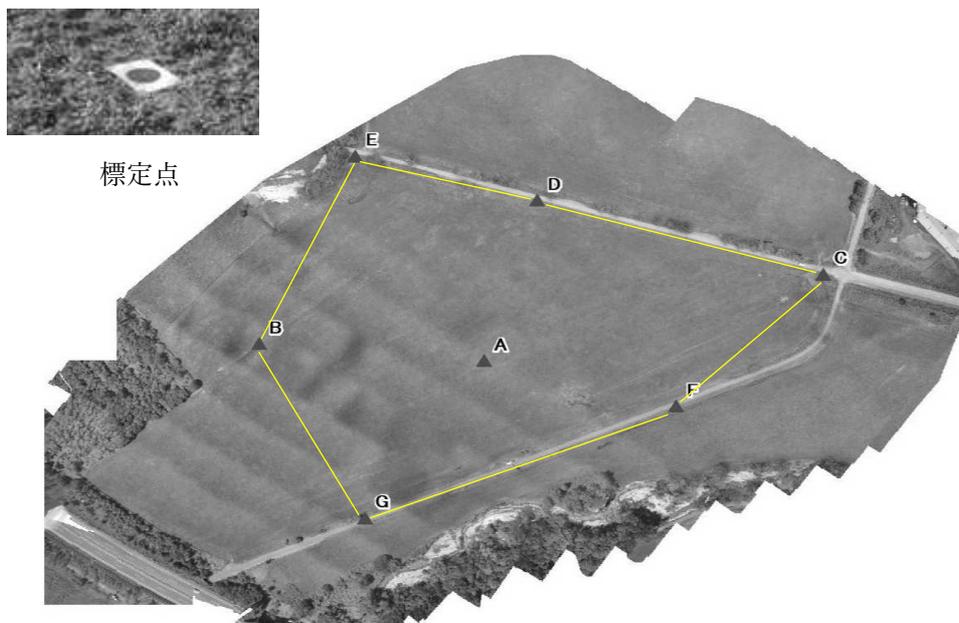


図 4 標定点配点図

4-3 撮影

UAV は自立飛行機能、自動帰還機能を装備した Phantom4 (DJI 社) を使用した。撮影カメラは機体一体型で有効画素数 12.4M、レンズ FOV94° 焦点距離は 20mm(35mm 換算)である。

調査区域は航空法による飛行禁止地区外であるため、航空法による事前申請手続きは必要とらなかった。UAV による撮影は、公共測量マニュアル案ではオーバーラップ 80%サイドラップ 60%であるが、今回は調査区域全体が急勾配であるためオーバーラップ 80%、サイドラップ 70%、撮影対地高度を 70m と設定した。(図 5 参照)

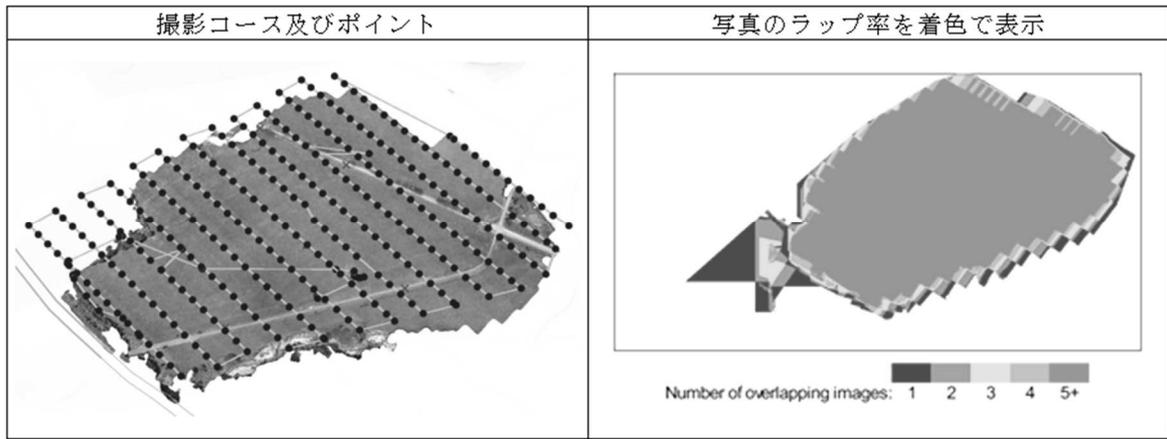


図5 フライト計画による軌跡及びラップ率の確認

4-4 三次元復元計算及び点群編集

撮影した空中写真の解析は SfM により行い、空中写真に撮像された地点の位置座標を求め、地形地物の三次元形状を復元し、図6に示すDEMデータ陰影図等のオリジナルデータを作成した。三次元形状復元計算から出力したオリジナルデータから、図7(a)(b)に示すように地盤データ以外の牧草、樹木、電柱、家畜水飲み場などの不要点の消去（フィルタリング処理）、更に不要点消去後の空白に補完計算を実施しグランドデータを作成している。

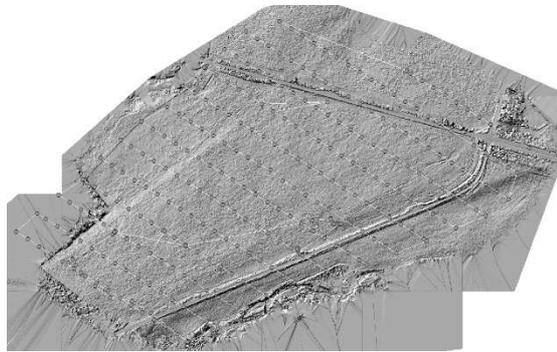


図6 DEMデータ陰影図

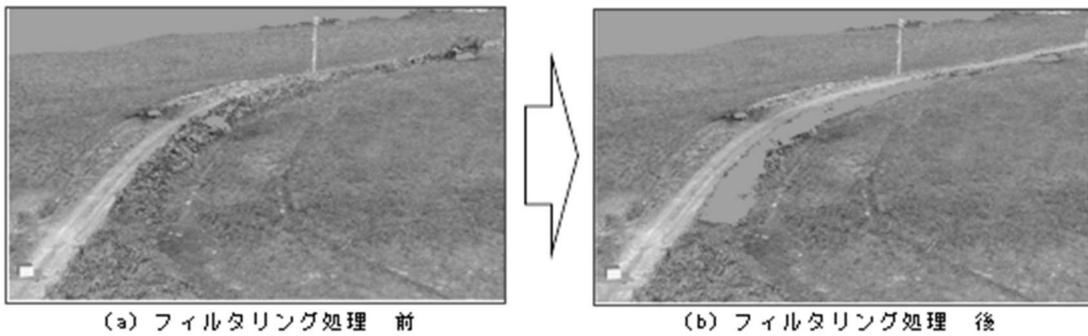


図7 (a) (b) フィルタリング処理

4-5 トータルステーション実測値との比較

ネットワーク型 RTK-GNSS 観測により 4 級相当の基準点を設置し、設置した基準点からトータルステーションにより地形の起伏を対象に全 368 点を実測した。(図 8 参照)

UAV 写真測量では、観測困難な箇所(例えば横断管等)は詳細な現況測量及び点検測量を兼ねた地形測量(20mメッシュ)をトータルステーションにより実測した。

トータルステーションによる実測点の標高値と UAV 写真測量から作成した DEM データによる標高値の比較を表 1 に示す。

表 1 UAV 写真測量とトータルステーション実測による標高比較表

標高差 (m)	点数 (点)	割合 (%)
0.00~0.10m以内	97点	26%
0.10~0.15m以内	136点	37%
0.15~0.20m以内	35点	10%
0.20m以上	100点	27%

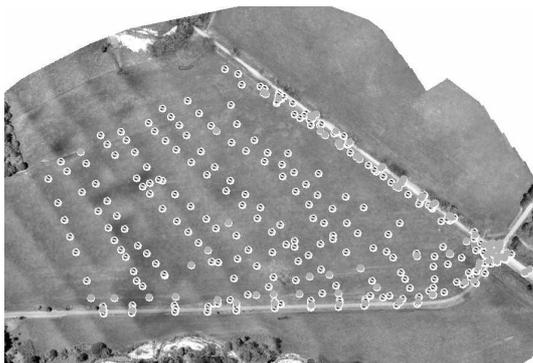


図 8 実測位置図

測量を実施した 6 月上旬の現地状況は牧草が高い箇所では約 0.40m、部分的に生育前の短い部分や、家畜に踏まれて牧草が倒れた部分、また、表土が露出しているなど状況が混在していた。

表 1 から確認できるように標高差が 0.10m 以内の箇所は、道路や雑草や牧草が生育していない箇所に集中しており、ほ場内での差分は 0.10~0.20m が多く、0.20m 以上は笹が覆う排水路内及び牧草の丈が 0.40m 以上の区域に集中していた。

つまり、UAV 写真測量による三次元点群データの利用は、今回のような密集した牧草に覆われた地表面より植生に覆われていない道路面等には効果がある。また、水田の様な人工的に地盤高が定まった地形であれば植生が覆っても草丈を計測し補正計算を行う事で地盤高の決定が可能であることがわかった。更に作業に要した時間は標定点設置から撮影まで約 1 日で完了する事が出来、外業作業時間の短縮が確認された。

5. UAV レーザ測量

UAV レーザ測量では UAV 写真測量の様な標定点は必要ないため、対空標の設置、観測に要す時間を短縮することができ、UAV 写真測量と比べ植物の下の地盤データを観測できる事が最大の利点である。レーザの機種にもよるが、レーザの ECHO^{※2}数によって地表面を捉える確立も高くなる。

※2ECHO 数 …… 投光したレーザ照射方向にある複数の障害物から距離値を測定した数。

5-1 作業計画

UAV レーザ測量に使用した機器は、UAV に Matrice600 Pro (DJI 社)、レーザは T-DOT PLUS (アマミューズワンセルフ社) である。

Matrice600 Pro は無積載時の飛行時間は約 30 分でペイロード^{※3}6Kg である。1.8Kg の TDOT を搭載した場合の飛行可能時間は約 20 分であり一度のフライト時間は離着陸時の安全を考慮し約 17 分程度に抑える必要がある。

飛行前に必ず UAV の IMU^{※4} とコンパスの精度を高めるキャリブレーションを行う。これは機体に組み込まれている IMU が搬送などでズレが生じる場合の補正であり、コンパスキャリブレーションは UAV が正確な磁場を感知し正しい方位を取得するためである。

調査面積約 10ha である調査区域の飛行高度は約 70m、飛行速度は 3m/秒、ほ場の縦観測を 12 分 (図 10(a)) に示す、また横観測を 15 分 (図 10(b)) に示す、観測開始時と終了時に (図 10(c)) に示すアライメント飛行 2 分観測を実施し、途中一度バッテリー交換を行い全観測終了している。

※3ペイロード …… UAV の最大積載量。 ※4IMU …… 慣性計測装置。



図 9 Mtrice600Pro TDOT 搭載



(a) 縦方向 観測計画



(b) 横方向 観測計画



(c) 観測前 アライメント飛行 観測計画

図 10 (a)(b)(c)フライト計画図

5-2 UAV レーザ測量の精度実証結果

UAV 搭載レーザに備え付けている GNSS による、人工衛星の配置状況を示す DOP 値は平均 1.29 であり、メーカー推奨の 3.0 以下であった。そのため観測終了後直ちにプレ解析を行い、① UAV レーザ機材及び固定局における GNSS 測量機の作動及びデータ収録状況、②レーザ測距装置の作動及びデータ収録状況、③飛行計画に対する飛行高度及び飛行コース、④観測範囲内におけるコース間重複状況⑤観測の連続性の①～⑤全てについて確認を行った。

その結果レーザ観測の空白部も無く GNSS にも異常が無いことが確認できた。解析情報は表 2 に示す通りである。

このほかに UAV レーザ測量の精度管理として地上測量による道路排水施設の実測値と比較し水平位置及び標高の確認を行っている（図 11 参照）。

以上により UAV レーザ測量の精度良否を確認した上で、地上測量と UAV レーザ測量の比較した結果を表 3 に示す。標高差 0.15m 以上が集中している箇所は、ほ場周囲の道路側溝である。道路法下は明確な側溝は確認出来ないが、窪みがあり笹地が多いためレーザ光が地盤まで到達できなかったと考えられる。しかし、図 12 に示すようにその他の牧草が生い茂る放牧地内はほとんどが 0.10m 以内である。また写真 2 からわかるように観測が 7 月であり放牧地内は約 0.60m の牧草が生えている箇所もあった事を勘案すると、この程度の植生であれば十分に草地面の標高を観測することが可能であると考えられる。

表 2 UAV レーザ解析情報

	最小値	平均値	最大値
衛星数 (個)	9	11	13
PDOP	0.97	1.29	2.05
標準偏差 (X) (m)	-0.06	-0.009	0.026
標準偏差 (Y) (m)	-0.024	0.001	0.019
標準偏差 (Z) (m)	-0.121	-0.047	0.014

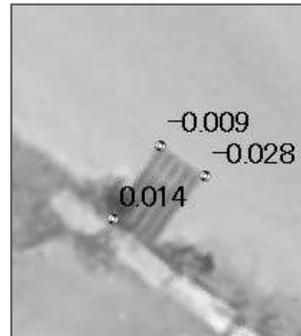


図 11 道路排水施設実測

表 3 UAV レーザ測量とトータルステーション実測による標高比較表

標高差 (m)	点数 (点)	割合 (%)
0.00～0.10m以内	236点	49%
0.10～0.15m以内	44点	9%
0.15～0.20m以上	200点	42%



写真 2 牧草の状況

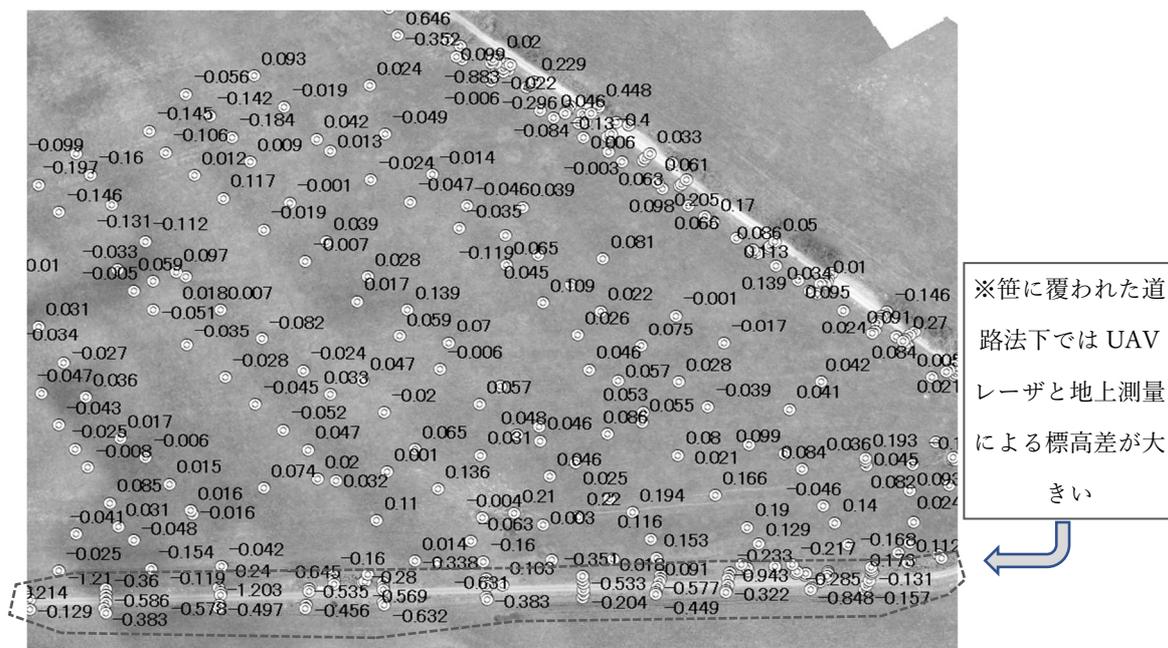


図 12 地上測量と UAV レーザ測量の標高差

6. 結論

今回、トータルステーションによる地上測量と、UAV 写真測量及び UAV レーザ測量を実際に同条件で観測し比較を行うことで、UAV 写真測量及び UAV レーザ測量の作業効率、作業の迅速性、牧草地に対する地形データ取得の有効性含めメリット・デメリットを確認した。

- ① UAV 写真測量による地形調査では、従来の T S による地上測量と比較しても作業効率が良いことは、これまでの調査において（平成 30 年胆振東部震による調査）確認出来ており、施工管理や土取り場の残土量等の調査のように植生に覆われていない裸地の測量では特に効果を発揮する事が期待できる。しかし今回のような牧草などの植生に覆われている地形を測量する場合は、植生の丈や植生に覆われている地形状況を事前の現地踏査で確認し、補足調査を十分行う必要がある。
- ② UAV レーザ測量は UAV 写真測量のように標定点の設置や観測の必要がないため作業時間の短縮が可能であった（※現在では UAV-RTK 写真測量のように機種によっては標定点設置が不要な機種もある）。さらに観測前は困難と考えられた牧草密度が濃い草地に対しても十分地形データの取得が可能であることが実証できた。

7. UAV 測量における課題

UAV 写真測量・UAV レーザ測量に共通して注意が必要な点として、対象区域外まで綿密に不要点の消去を行うことは多大な時間を要することになるため、調査対象となる位置、必要とされる測量の精度を理解し、フィルタリング処理を行う必要がある。また、UAV は降雨時に加えて風速が強いと飛行が不可能であるため、標高の高い山間部の吹き下ろし、海沿いの海陸風などの地理的状況も考慮し、行程に余裕を持って作業計画を立てる必要がある。

今後 UAV は、UAV 機体の性能向上、レーザ機器の低価格化によって身近な技術とし活用する機会が増大すると考えられる。これからも業務の中で UAV 測量を積極的に活用し、UAV 写

真測量、UAV レーザ測量を目的に合わせた使い分けを行い効率よく作業を行う事により、今後の農業の発展に貢献していきたいと考えている。

【引用・参考文献】

- 1) 国土交通省国土地理院；UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）平成30年3月
- 2) 国土交通省国土地理院；UAVを用いた公共測量マニュアル（案）平成29年3月