

UAV（ドローン）による空中写真測量の検証事例

湊 康裕* 原 久純*
 Yasuhiro Minato Hisazumi Hara
 吉田 武史** 久野 高敬***
 Takeshi Yoshida Takayuki Hisano

1. はじめに

国土交通省は、今後の労働力不足への対応として、建設現場の生産性向上のための施策「i-Construction」の一つに、ICTの活用（ICT土工）を推進しており、平成28年3月に活用に必要新しい基準類が整備された。それに伴い、起工測量や出来形測量において3次元の面的な測量が行われ、3次元データが施工に用いられるようになってきている。

3次元測量の一つである無人航空機(UAV：Unmanned Aerial Vehicle)を用いた空中写真測量に関して、比較的小型の量産品 UAV を用いた測量の検証事例について述べる。

2. 3次元測量の方法について

3次元測量として、レーザースキャナー、TS、RTK-GNSS、空中写真測量等があり、各測量方法の比較の概要を表-1に示す。各測量による測量結果の使用目的、精度等を考慮して活用する必要がある。

UAVは広い面積の3次元測量を非常に効率的に行える一方で、他の方法と比べて精度が劣る点の特徴である。

表-1 測量方法の比較

方法	UAV (回転翼ドローン)	TS (トータル ステーション)	RTK-GNSS	レーザ スキャナ
概要	4, 6, 8枚羽根の小型～大型の機種がある。自動飛行により撮影を行う。	光波測距儀と、セオドライトとを組み合わせたもの。	汎地球測位航法衛星システム、衛星を用いた測位システム。	スキャナーから照射されたレーザーにより、対象物の空間位置情報を計測。
特徴	撮影写真から標定点(既知点)を利用して、地形の3次元データを算出する。樹木下の地形は、測量できない。	見通し、距離により盛替えが必要。	基準局、基地局が必要。	見通し、距離により盛替えが必要。
適用面積 (参考)	中 (～約1km ² /日)	小 (約150点/日)	小～中 (約200点/日)	小 (約4ha/日)
精度レベル	cm	mm	mm～cm	mm
適用性 評価	大面積	○	△	△
	中面積	◎	○	○
	小面積	△	◎	◎

3. UAVによる空中写真測量について

UAVによる空中写真測量は、複数の回転翼を有するヘリコプターの種類であるドローンを、GNSS情報により自動飛行させ、所定のラップ率で撮影した写真を用いて測量計算を行い、地形の座標を算出するものである。必

* 技術研究所土木技術グループ

** 北日本(支)郡山(出)(現：平取りダム(出))

*** 関東土木(支)湯船原工事事務所

要な測量精度・地形等に応じて、飛行条件(ラップ率、高度、速度等)、標定点の配置等の計画を行う。主な作業の流れを表-2に示す。

表-2 主な作業の流れ

段階	内容
1	作業計画作成(飛行、標定点配置等)
2	標定点及び検証点の設置・測量
3	飛行・写真撮影
4	3次元形状復元計算
5	点群編集
6	断面図作成、TIN作成、土量計算等

4. 検証事例

使用したUAVは、量産品で取扱い易いDJI社製のInspire1 Pro(カメラ：ZenmuseX5、4/3インチCMOSセンサー、1600万画素)を使用した。カメラ諸元を考慮して、管理要領(案)¹⁾に示された出来高計測への適用性(検証点精度±200mm以内)について検討を行った。写真撮影は、自動飛行ソフトに飛行経路を設定して行った。

(1) 造成工事での適用例

宅地部分は約36ha、周辺調整池・のり面等を含めた計約90haの撮影を行った(図-1)。飛行高度は80m、ラップ率は進行80%、側方70%とした。標定点の配置は約



図-1 UAV使用状況

200m間隔を基本とし、座標はRTK-GNSSにより測量した。測量計算に、Pix4D社製Pix4Dmapperを使用し、カメラキャリブレーション値を与え、ソフト内でセルフキャリブレーション計算を行った。地上分解能GSD(Ground Sampling Distance)の計算値は、2分割して計算した結果、1.83cmおよび1.97cmとなった。撮影位置、計算した点群データを図-2に示す。



図-2 自動飛行による撮影位置、点群データ
(郡山市 郡山西部第一工業団地)

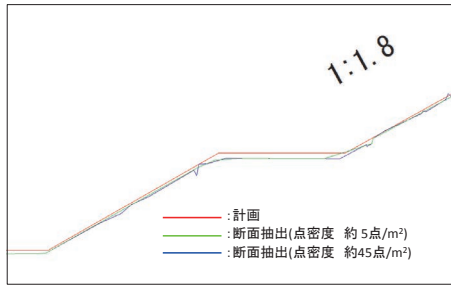
測量計算の時間は、位置情報を有する写真約2000枚(約7MB/枚)に対して、6コアのPC相当でバンドル調整等に約6.5時間、点群計算に約5時間を要した。ただし、計算時間は写真画像・計算条件により変動する。竣工段階の宅地の写真は、平坦で特徴点が少ないため精度が得られ難いことから、手動でマッチングポイントの設定を行った。検証点の較差は、表-3に示す通り、最大で20.1cmとなった。

表-3 検証点の較差(cm)

	X	Y	Z
No.1	1.1	8.1	20.1
No.2	4.7	13.1	-0.7
No.3	9.3	4.1	-0.7
No.4	0.0	0.0	0.1
No.5	6.6	15.2	2.1

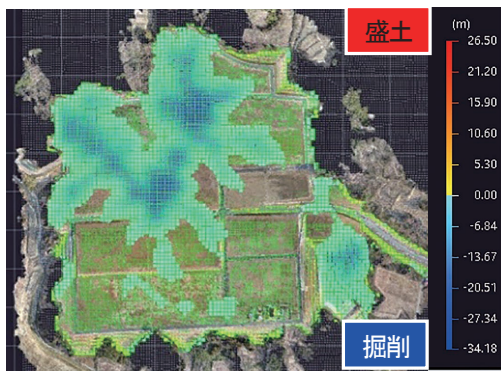
計算した点群から求めた、

図一2（右図）中のり面（黄色位置）断面図を、計画断面との比較で図一3に示す。図中、点群密度を約5点/m²、約45点/m²について断面図を示した。



図一3 断面図

また、点群と原地形データ（国土地理院地形データ、5 m メッシュ）の比較により、盛土量・切土量を容易に算出することを確認できた（図一4）。

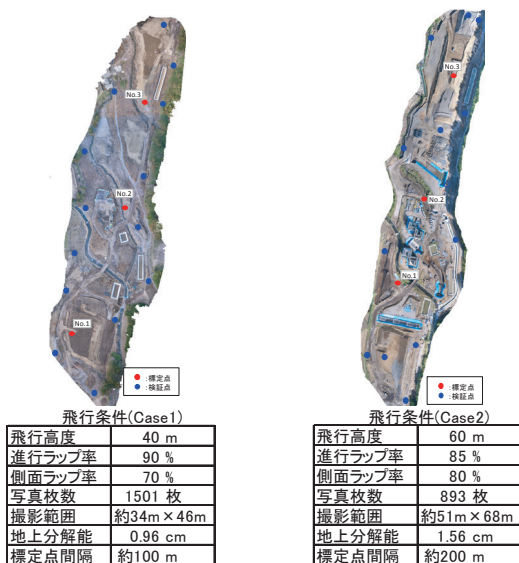


図一4 盛土・切土の平面分布

量産品の UAV による空中写真測量により精度±20 cm をほぼ確保でき、地形状況の図化、施工数量の算出に活用できることを確認した。

(2) 道路土工での適用例

道路土工の延長約 700 m 区間（約 12 ha）を約 10 カ月



飛行条件(Case1)

飛行高度	40 m
進行ラップ率	90 %
側面ラップ率	70 %
写真枚数	1501 枚
撮影範囲	約34m×46m
地上分解能	0.96 cm
標定点間隔	約100 m

飛行条件(Case2)

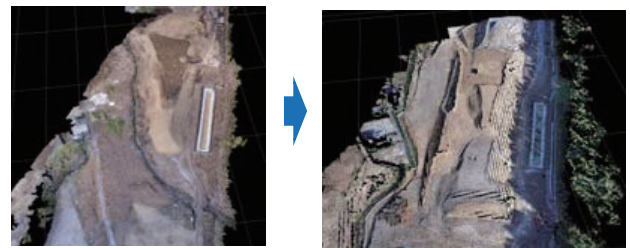
飛行高度	60 m
進行ラップ率	85 %
側面ラップ率	80 %
写真枚数	893 枚
撮影範囲	約51m×68m
地上分解能	1.56 cm
標定点間隔	約200 m

図一5 測量結果 (Case 1)

図一6 測量結果 (Case 2)

間隔で、飛行高度、ラップ率を変化させて実施した 2 回の測量事例を示す。標定点位置、飛行条件、検証点の較等を図一5、図一6に示す。

Case 1 では、地上分解能を 0.96 cm としたが、検証点の較差の最大値は 16.3 cm となった。Case 2 では、地上分解能を 1.56 cm で、較差の最大値は 15.7 cm となった。1つの測量ソフトのみの検討であるが、今回使用したカメラのセンサー、画素、レンズ歪等を考えると、本機の使用により、精度±5～±10 cm を安定的に確保することは難しいものの、±20 cm 以内の精度は得られた。そのため、起工測量や出来形測量への適用はやや難しいものの、施工進捗を管理する出来高測量、土量把握には適用可能である（図一7）。



図一7 点群による土工進捗

(3) 作業の効率化

実施した空中写真測量に対して、20 m メッシュで GNSS 測量を行った場合の所要時間の比較を表一4に示す。空中写真測量は、測量計算に使用する標定点の設置・測量作業が生じるが、測量面積が大きくなると屋外での作業時間の割合が少なくなる傾向がある。

一方、空中写真測量は、3次元データ（点群）の測量計算、不用点の削除等の点群処理、CAD による図化および土量算出等は、処理に非常に負荷がかかるため、高性能パソコンの活用およびソフト習熟により効率化を図る必要がある。

表一4 UAV・GNSS による測量時間の比較 (例) (時間)

測量面積	測量方法	測量準備 標定点設置	測量	測量計算 (オルソ画像含む)	縦横断、 土量算出	総作業 時間
50 ha	UAV	7	4 (写真撮影)	2 (手作業) (計算時間:14 ^{※2})	2	約 15
	GNSS	-	20 以上 (測定 ^{※1})	-	13	約 33 以上
20 ha	UAV	4	2.5 (写真撮影)	2 (手作業) (計算時間:6 ^{※2})	2	約 10.5
	GNSS	-	9 以上 (測定 ^{※1})	-	5	約 14 以上

※1 地形条件により、測定時間は変化する。
 ※2 写真画像・計算条件により、処理時間は変化する。

5. おわりに

量産品 UAV を用いた空中写真測量により、10 ha 以上の広範囲を効率的に、出来高計測レベルの測量が行えることを確認した。また得られた 3次元点群データから、任意の位置の断面図作成・土量計算が容易に行えることを確認した。なお UAV は、無人航空機の飛行ルールに従い安全に使用する必要がある。

参考文献

- 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案），平成 29 年 3 月。