

11. 大規模造成工事での UAV 空中写真測量検証等の活用事例

西松建設株式会社 技術研究所 ○原 久純
 西松建設株式会社 技術研究所 佐藤 靖彦
 西松建設株式会社 技術研究所 田中 勉

1. はじめに

近年では、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)は建設現場の状況確認¹⁾や橋梁・ダム²⁾の維持管理などでの利用が注目され、また、国交省の生産性向上を目的として施策した「i-Construction」においても、UAVを用いた空中写真測量の方法が示され、起工測量や出来高・出来形管理における業務効率化が期待されている。i-Constructionでは、土工事の全面的なICT化を推進しており、起工測量や出来形管理にUAVを活用して面的管理、3次元データの生成を効率的に行うことを念頭に進められている。

UAV写真測量の画像処理手法として、空中写真から3次元点群データを生成するSfM(Structure from Motion)が用いられているが、UAVによる写真測量の実績はまだ少なく、その精度について不明な点が多い。

本稿は、大規模造成工事を対象としたUAVによる現場空撮及び空中写真測量事例を紹介し、その有効性と測量精度や課題について検討した内容を述べる。

2. UAVによる現場空撮

現在、造成現場やダム現場等では、施工状況の把握にUAV空撮を活用し始めている。従来、地上では定点写真の撮影や航空写真撮影を依頼して全景写真を撮影していたが、安価なUAVを用いることで空中全景写真を簡単に撮影できるようになり、広範囲の造成現場では短時間での状況把握に有効である。

2.1 空撮

図-1に示す東西方向600m、南北方向600mの約36haの造成現場を対象として南北800m×東西1000mを外周しながら撮影した。

UAVは図-2のDJI社製Phantom3を使用し、飛行高度を100m維持しながら15分間手動操縦で飛行した。UAV実機及びカメラ諸元を表-1に示す。

図-3、4は2015年10月、2016年3月に空撮した写真である。施工範囲全域で盛土・切土箇所による起伏が半年経過することで全体的に起伏が小さくなり、造成施工の進捗が一目で確認できる。また、図-5のように高度100m位置からバックホウなどの重機の稼働状況が把握できる。

による起伏が半年経過することで全体的に起伏が小さくなり、造成施工の進捗が一目で確認できる。また、図-5のように高度100m位置からバックホウなどの重機の稼働状況が把握できる。

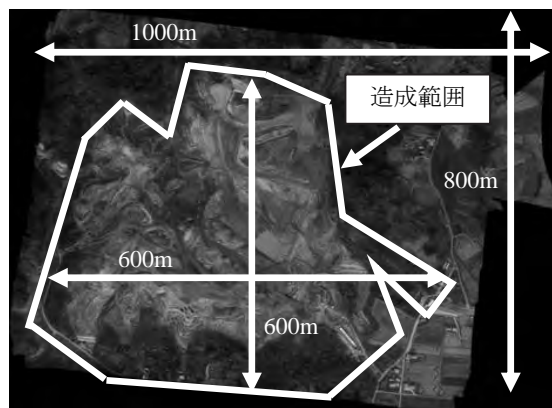


図-1 UAV空撮及び写真測量範囲



図-2 UAV実機(Phantom3)

表-1 Phantom3 機体諸元

項目	概要
機種名	Phantom3 Advanced
機体形式	4 発マルチローター
直径	290mm
機体重量	1.28kg
カメラ機種名	Sony EXMOR 1/2.3"
画素	4000×3000 pixel
シャッタースピード	1/8000 秒

3. 空中写真測量の精度検証試験

3.1 試験概要

本試験は空撮と同じ約36haの造成現場を対象として南北800m×東西1000mを撮影した。試験は2015年12月、2016年3月の計2回実施し、図-6の手順で行った。

3.2 使用機器

UAVによる写真測量試験において、図-7のUAVを使用した。表-2にUAV、表-3に一眼レフカメラ諸元を示す。

3.3 飛行計画

本試験では、1回当たり15分の飛行を複数回に分割して自律飛行を行った。図-8に飛行範囲全体を網羅する飛行経路、表-4に測量試験2回の飛行条件を示す。飛行高度による測量精度の影響を確認するため、飛行高度を100m、120mの2条件を設定した。

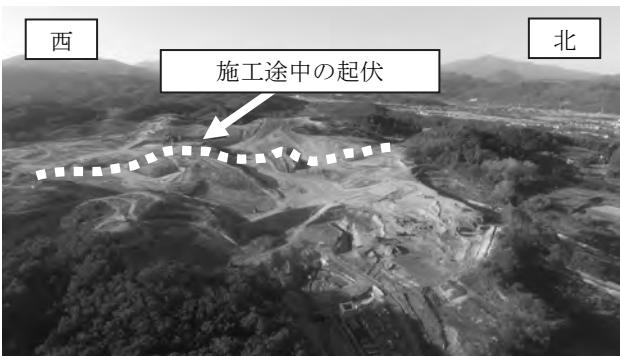


図-3 UAV空撮風景(2015年10月)

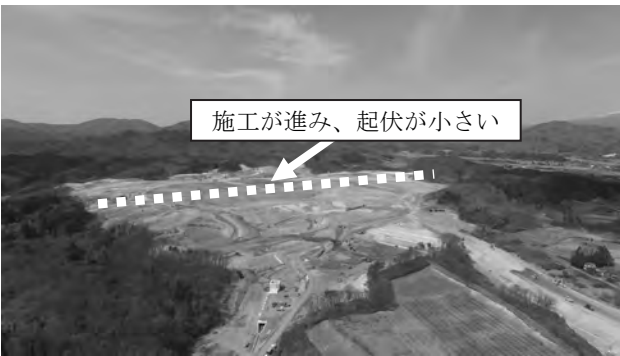


図-4 UAV空撮風景(2016年3月)



図-5 現場重機の往来状況

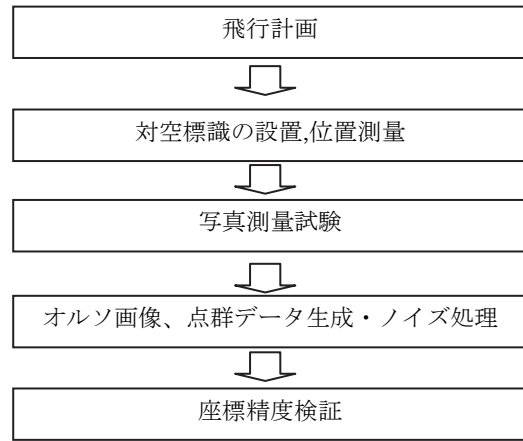


図-6 写真測量試験フロー



図-7 UAV実機(Ideorobo)

表-2 Ideorobo機体諸元

項目	概要
機種名	Ideorobo X61000-2400
機体形式	6発マルチローター
機体直径	1100mm
重量	7.5kg (バッテリー、カメラ含む)

表-3 一眼レフカメラ性能諸元

項目	概要
機種名	Sony α 6000
画素数	6000×4000 pixel
シャッタースピード	1/1000 秒

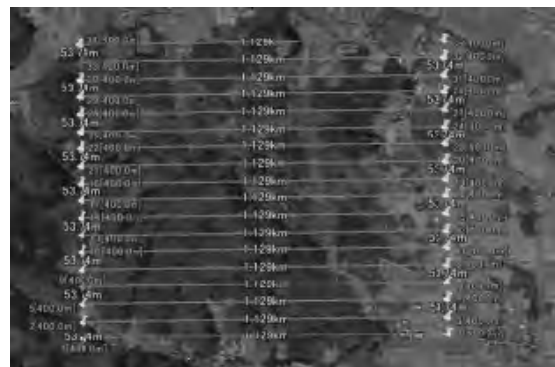


図-8 飛行経路(2015年12月)

飛行時の安全管理として、飛行中に操縦者は、UAV のバッテリー電圧が半分以下・風速計で 6m/s を観測した場合、直ちに離陸地点へ帰還するよう指示するためにモニター上で監視する。

表-4 UAV 写真測量試験 飛行条件

	測量試験条件	
	1 回目 (2015 年 12 月)	2 回目 (2016 年 3 月)
飛行高度	120m	100m
飛行速度	12m/s	8m/s
飛行回数	4 回	6 回
飛行時間	60 分	90 分
撮影範囲 (1 枚当たり)	141×110m	118m×100m
撮影枚数	1601 枚	2326 枚
オーバーラップ率	70%	70%
サイドラップ率	70%	70%

3.4 試験準備及び写真測量試験

試験準備として、測量範囲に対空標識を設置し、図-9 のように対空標識の中心を GNSS 測量した。対空標識は測量範囲の詳細な起伏を得るため、高低差が大きい箇所又は測量範囲の外周等を選定し、標識の間隔を 100m 以内となるよう設置した。また、対空標識を測量解析に用いる標定点と用いない検証点に分類し、図-10 の 2015 年 12 月は標定点 19 点、図-11 の 2016 年は標定点 18 点及び検証点 2 点設けた。



図-9 対空標識の GNSS 測量状況

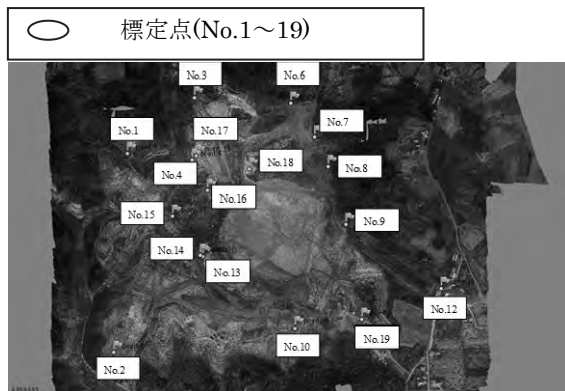


図-10 1 回目の対空標識位置 (2015 年 12 月)

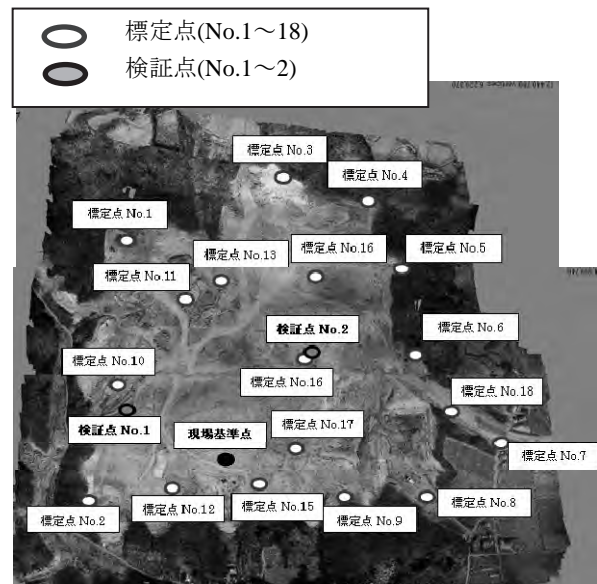


図-11 2 回目の対空標識位置 (2016 年 3 月)

3.5 測量解析

撮影写真からオルソ画像及び 3 次元点群データを生成し、樹木など不要なデータをノイズ処理した。3 次元データ生成には SfM ソフト「PhotoScan」、3 次元データのノイズ処理は点群処理ソフト「TrendPoint」を用いた。PhotoScan による点群データ処理として、1 回目の 2015 年 12 月は 1~4 回の飛行写真を一括で処理し、2 回目の測量写真 2326 枚は一括処理に 10 日以上要すると予想されたため、2 回目の 2016 年 3 月は 1~3 回及び 4~6 回の飛行写真を分割して並列処理を行った。

尚、点群データ生成作業中に、図-12 に示す点群データの出力結果に空白箇所が残る課題が生じた。原因として、重ダンプ走路等の重機が往来する箇所では、重機の向きや地表面がたわみ変状し、特徴点が増減したことが影響したと考えられる。解析時、点群より TIN サーフェスを作成し、空白箇所を補間することで対応した。



図-12 2 回目の点群データ出力結果 (2016 年 3 月)

3.5.1 測量作業時間

測量作業時間の比較として、現場の GNSS による出来高測量の作業時間を表-5, UAV 写真測量時間の結果(2016年3月)を表-6に示す。表-5,6より現地測量は GNSS 測量が 16 時間に対して, UAV 写真測量は準備時間を含め 6.5 時間であり, 9.5 時間短縮し省力化が図れ, 有効である。一方, 今回の UAV 写真データ処理では処理時間に 120 時間以上を要したため, 写真枚数が 1600 枚以上と多いことと特徴点の変化などの解析条件の影響と考えられる。今後, 飛行経路毎に分割・並列解析を行うなどの対処が課題となる。

表-5 出来高測量作業時間

作業手順		所要時間(時間)
現地作業	GNSS 測量	16
データ処理	座標出力～土量計算	16
合計時間		32

表-6 UAV 写真測量解析作業時間

作業手順		所要時間(時間)	
現地作業	準備、撤去作業	5	6.5 (測量全体)
	写真測量	1.5	
データ処理	点群データ作成	127	129.1 (処理全体)
	ノイズ処理	2.1	
合計時間		137.6	

3.5.2 測量精度の検証結果

本試験では, i-Construction 策定前の空中写真測量精度検証として, オーバーラップ・サイドラップ率を 70%に統一し, 飛行高度を 100m, 120m に設定することで, 高度による測量精度の違いを検証した。対空標識で測量した GNSS 座標を基準とし, 点群データの座標との差分を抽出した高度 120m 及び高度 100m の結果をそれぞれ図-13(a),(b)に示す。図-13(a),(b)より XYZ 座標の差分は高さ方向の誤差はおおむね 3cm, 平面方向の誤差は 6cm 以内であり, 高度 100~120m の測量精度は, 空中写真測量を用いた出来形管理要領²⁾の要求精度±5cm に近い値を示した。但し, 図-13(b)の検証点 No.1 の高さ座標が 12cm の誤差が確認された。誤差の要因として, 検証点 No.1 が飛行範囲を 2 分割した境界に位置し, 測量結果の端部としての歪みによる影響と考えられる。

統計的な傾向を確認するため, 代表的な標定点 17 点を用いた水平・鉛直座標より最大値, 平均値, 標準偏差を表-7に示す。表-7より, 水平・鉛直方向において高度 100m で平均値及び標準偏差が小さい傾向が確認され, 高度を低くすることで, 全体的に座標の最大値及び平均値で 37%以上, 標準偏差で 44%以上の精度向上が図れた。以上のように, 高度 100m において国土省の出来形管理基準を

満たす測量精度を得られた。

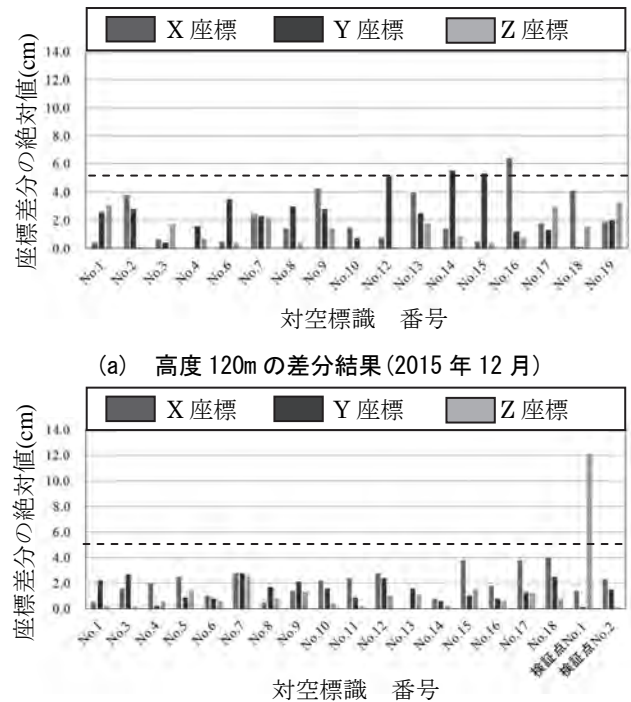


図-13 飛行高度による UAV・GNSS 測量座標の差分比較

表-7 飛行高度による標定点の座標差分の統計値

		水平	鉛直
1 回目 (高度 120m)	最大値(cm)	6.4	3.3
	平均値(cm)	2.5	1.3
	標準偏差	1.6	1.1
2 回目 (高度 100m)	最大値(cm)	4.0	2.5
	平均値(cm)	1.5	0.9
	標準偏差	0.8	0.6
変化率 (2 回目 /1 回目)	最大値(%)	-37	-24
	平均値(%)	-38	-33
	標準偏差(%)	-50	-44

4. おわりに

本稿では, 大規模造成工事現場において UAV による空撮及び写真測量を行い, 写真測量ではオーバーラップ・サイドラップ率は一定とし, 飛行高度等の条件による測量精度と測量作業時間について検証した。本試験より, GNSS を用いた測量と比較して, 測量時間が大幅に短縮できることと高度 100m において出来形要領の要求精度を確保できることを確認した。一方, 点群データ処理において解析条件による長時間の解析時間等が生じる場合があるため, 解析時間を短縮化する手法等の検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 和田章三, 田中正人, 岡本直樹: 4D 土工管理のマルチコプタ運用, 建設機械施工 Vol.66, pp.39-45, 2014
- 2) 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(土工偏)(案), p.35, 2016,