大規模造成工事を対象としたUAVによる空中写真測量の計測事例

西松建設㈱　技術研究所　正会員　○原　久純
西松建設㈱　技術研究所　正会員　佐藤　靖彦
西松建設㈱　技術研究所　田中　勉
西松建設㈱　北日本支社　正会員　村井　重雄
西松建設㈱　土木計画部　正会員　細野　高宏

１．はじめに

近年、ICT(Information and Communication Technology)による建設現場の生産性向上や品質確保が積極的に行われ，新たに策定された「i-Construction」では，測量・設計・計画・施工・検査へのICT技術の全体的な活用の取組みが推進されている．

最近では，UAV(Unmanned Aerial Vehicle)を用いた現場の状況確認[1)]や橋梁，ダムの維持管理などでの利用が注目され，「i-Construction」においても，UAVを用いた空中写真測量により3次元測量や出来高・出来形管理の業務効率化が期待されている．UAV写真測量の画像処理手法として，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空中写真測量を行い，その測量精度や課題について検討した事例を報告する．

２．UAV写真測量試験

２．１　試験概要

本試験は図-1の東西方向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を撮影し，図-2の手順で行った．試験は2015年12月、2016年3月の計2回実施した．

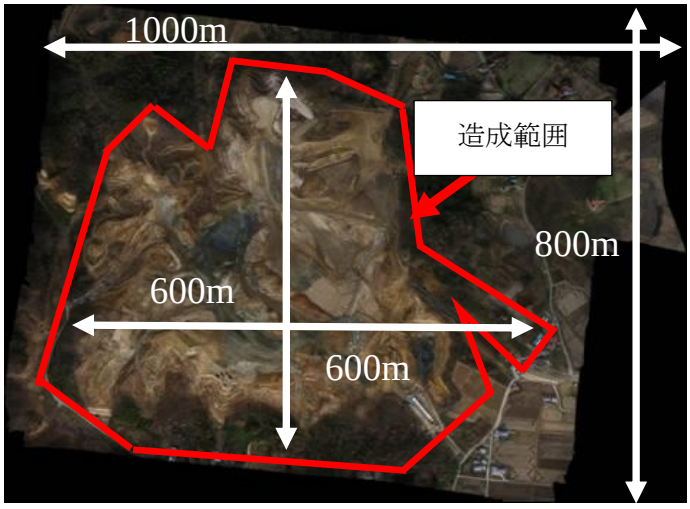


図-1　写真測量範囲

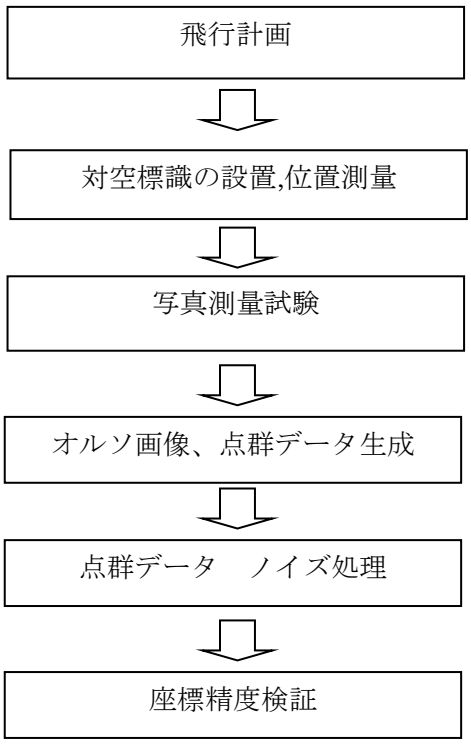


図-2　写真測量試験フロー

キーワード　UAV，写真測量，点群データ処理

連絡先　〒105-0004　東京都港区新橋6丁目17番21号　西松建設株式会社　技術研究所　TEL03-3502-0273

２．２　使用機器

UAV による写真測量試験において，図-3 の UAV を使用した．表-1 に UAV，カメラの機器諸元を示す．

図-3　UAV 実機

表-1　写真測量機器　諸元

UAV		カメラ	
機種名	Ideorobo X61000-2400	機種名	Sony　α6000
機体形式	6 発マルチロータ	画素数	6000×4000 pixel
機体直径，重量	1100mm 7.5kg(バッテリー、カメラ含む)	シャッタースピード	1/1000 秒

２．３　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-4 に飛行範囲全体を網羅する飛行経路，表-2 に測量試験日毎の飛行条件を示す．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．飛行時の安全管理として，モニター上で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，自動帰還する体制を整えた．

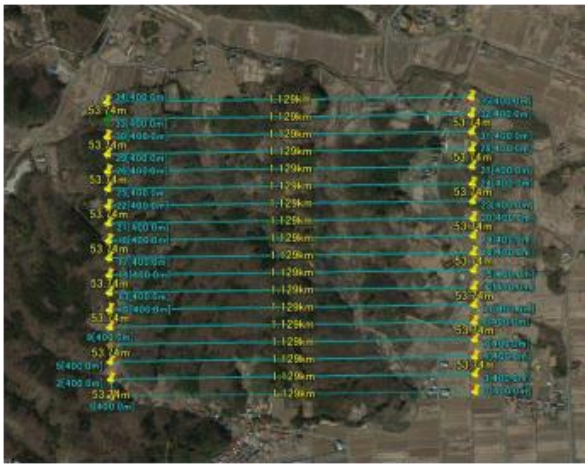


図-4　飛行経路(2015 年 12 月)

表-2　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 枚当り)	141m×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%

２．４　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-5 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，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-6(a)の 2015 年 12 月は標定点 19 点，図-6(b)の 2016 年は標定点 18 点及び検証点 2 点設けた．

図-5　対空標識の GNSS 測量状況

３．測量解析結果

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，2015 年 12 月は 1～4 回の飛行写真を一括で処理，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．

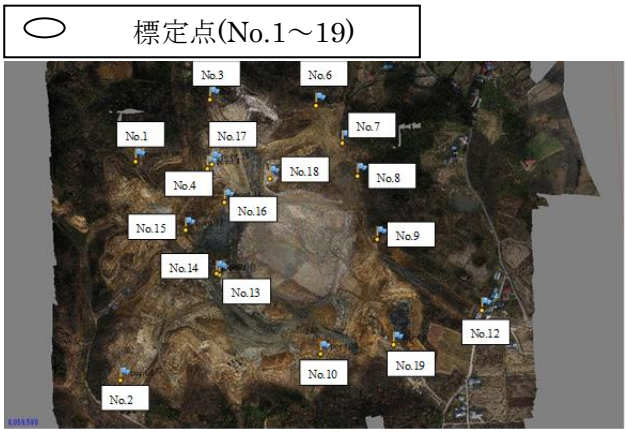
点群データ作成時，重機の往来により向きや盛土の色などの特徴が変化し，点群データ間に空白箇所が確認され，特徴点の個数増加などの解析条件を現場に応じて変更する必要が考えられる．

３．１　測量作業時間

測量作業時間の比較として，現場での GNSS による出来高測量の作業時間と 2016 年 3 月の写真測量時間の結果を表-3 に示す．表-3 より，現地測量では出来高測量と比較して，UAV 写真測量は 9.5 時間の短縮が図れている．しかし，データ処理では写真枚数の多さや特徴点の変化などの解析条件により，処理時間に 120 時間以上を要したため，飛行経路毎により細かく分割・並列解析を行う必要がある．

３．２　高度変化による精度の有意差

本試験では，オーバーラップ・サイドラップ率を 70%に統一し，飛行高度による測量精度を検証した．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 2015 年 12 月及び 2016 年 3 月の結果をそれぞれ図-7(a)、(b)に示す．図-7(a)、(b)より XYZ 座標の差分は高さ方向の誤差はおおむね 0.03m、平面方向の誤差は 0.06m 以内であり，空中写真測量を用いた出来形管理要領 [2)]の精度 0.05m に近い値を示した．しかし，図-7(b)の検証点 No.1 の高さ座標が 0.12m の誤差が確認された．誤差の要因として，2016 年 3 月の点群データ生成において，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



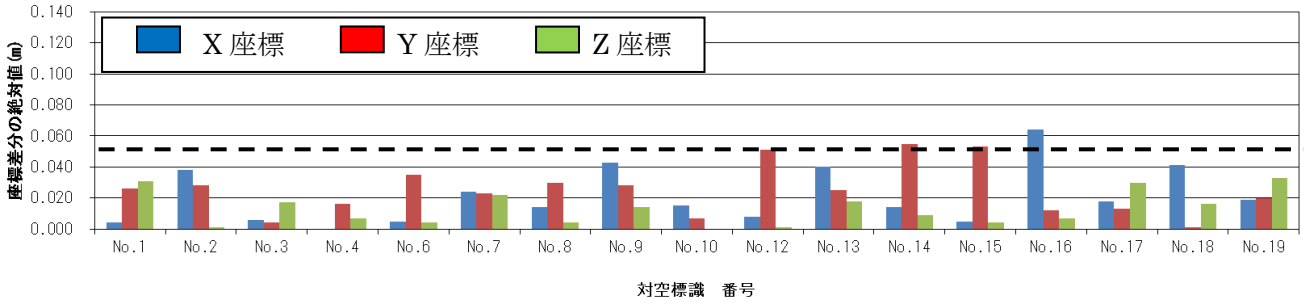
(a)　2015 年 12 月の設置箇所

(b)　2016 年 3 月の設置箇所

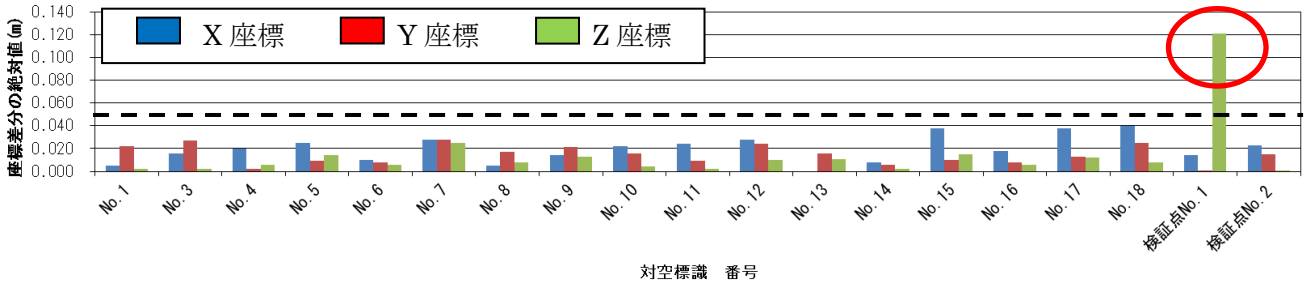
図-6　測量範囲の対空標識位置

表-3　出来高測量及び UAV 写真測量解析作業時間

出来高測量			UAV 写真測量(2016 年 3 月)		
作業手順		所要時間(時間)	作業手順	所要時間(時間)	
現地測量	GNSS 測量	16	準備、撤去作業	5	6.5
			写真測量	1.5	(測量全体)
データ処理	座標出力～土量計算	16	点群データ作成	127	129.1
			ノイズ処理	2.1	(処理全体)
	合計時間	32	合計時間	137.6	



(a)　高度 120m の差分結果(2015 年 12 月)



(b)　高度 100m の差分結果 (2016 年 3 月)

図-7　飛行高度による標定点・検証点の UAV・GNSS 測量座標の差分比較

表-4　飛行高度による標定点の座標差分の統計値

	UAV 写真測量　座標差分					
	1 回目(高度 120m)		2 回目(高度 100m)			
	水平座標	鉛直座標	水平座標		鉛直座標	
最大値	0.064	0.033	0.040	-37%	0.025	-24%
平均値	0.025	0.013	0.015	-38%	0.009	-33%
標準偏差	0.016	0.011	0.008	-50%	0.006	-44%

座標より最大値，平均値，標準偏差を表-4 に示す．表-4 より，水平・鉛直方向において高度が低い方で平均値及び標準偏差が小さい傾向が確認され，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．

4．おわりに

本稿では，大規模造成工事現場において UAV による写真測量を行い，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，測量時間の短縮と高度を低くすることで測量精度が向上することを確認した．しかし，点群データ処理において解析条件による空白箇所の発生や長時間の解析作業が課題であるため，その対応として，今後は測量範囲の分割処理等による解析作業時間の短縮が挙げられる．

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,April 2014,pp.39-45
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)，March 2016,p.35