

造成工事の出来形・土量管理に適用する 3 次元計測技術の比較検討

安藤ハザマ 正会員○黒台昌弘 正会員 澤 正樹
トプコン 非会員 小川 満 非会員 大谷仁志

1. はじめに

建設プロセス全体における生産性の向上や品質の確保を図ることを目的に情報化施工や CIM への取組みが各方面で推進され、その取組みの中で 3 次元計測や 3 次元モデリングについての技術開発が進められている。一方で、経済産業省が中心となっているロボット革命実現会議では、人手不足の解消、過重な労働からの解放などの社会課題を解決する方法が検討され、様々なタイプのロボットについての検討も開始されている。

このような中、筆者らは、近年技術進化が著しい UAV(Unmanned Aerial Vehicle)マルチローター (以下、UAV) に着目し、造成工事の出来形・土量管理への 3 次元計測技術の適用可能性を検討してきた。本稿では、地上レーザースキャナ (以下、LS)を用いた計測と対比することで、UAV による計測の性能を明らかにする。

2. 実験で使用した 3 次元計測技術とその特徴

表-1 使用した 3 次元計測技術

表-1 に本実験で使用した 3 次元計測技術を示す。UAV に搭載したデジタル一眼レフカメラによる写真測量と LS 計測を採用した。前者では UAV に搭載可能なペイロードを考慮して、カメラは軽量のミラーレスタイプとしている。また、写真測量の原理によって 3 次元モデルを作成することから、単焦点レンズを装着できインターバル撮影機能を具備するものを選定した。一方、後者の LS 計測には実験ヤードのサイズから中距離タイプの LS を選定した。なお、撮影した多くの写真から 3 次元モデルを作成するために、専用のソフトウェア Image Master UAS(トプコン社製)を用いた。

UAVマルチローターによる写真測量				レーザースキャナ計測	
タイプ	6発マルチローター	カメラ	SONY α 6000	装置	GLS-2000
大きさ	80cm×80cm	レンズ	16mm 固定焦点	測定距離	350m
飛行時間	5min	シャッタースピード	1/1250	位置精度	2.0mm
撮影高度	60m	絞り値	5.0	スキャンピッチ	12.5mm
飛行速度	3.0m/sec	インターバル	2sec	スキャン数	8 scan
撮影範囲	123×105m	有効画素数	2430 万画素	スキャン時間	22min/scan
解析範囲	45.6×59.8m	撮影枚数	87枚	計測点数	2560万点

3. 実験概要と実験手順

本実験は大規模造成工事の一角に造成された仮置き盛土(約 120m×120m×高さ 3m)において実施した。実験ヤードを図-1 に示す。同じ盛土を表-1 の 2 種類の手法で計測し両者を比較する。比較項目は「計測サイクルタイム」「点精度」「面精度」「体積精度」の 4 項目である。また、実験の手順は以下のようなものである。

①**標定点と比較検証点の設置 (図-1)**：写真測量のための標定点を 6 点(No;1,2,3,4,10,11)、精度を検証するための比較検証点を 12 点(No;5,6,7,8,9,12,13,16,17,18,19,20)、合計 18 点を実験ヤード内に設置した。なお、LS はこれらのうち 8 点(黄丸点 No;1,2,3,4,5,6,7,8)に設置した。

②**上記測点における VRS-GPS と RTK-GPS 測量の実施**：VRS 法により RTK 基準局(測点 NO;2)を設置し、この局を基準とした RTK-GPS 法により他の測点を測量した。



写真-1 UAV 実機



写真-2 計測風景(LS)



図-1 測点配置状況

キーワード 3 次元計測 UAV 写真測量 レーザースキャナ

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 Tel.029-858-8815 e-mail: kurodai.masahiro@ad-hzm.co.jp

③LSによる3次元計測(写真-1): 図-1で確認できるように2段の低い盛土であるが、上空からの写真測量結果との対比において計測漏れを防止するために、スキヤニング範囲の重なりが多くなるよう計測した。

④UAVによる写真測量(写真-2): 写真測量に必要なサイドラップとオーバーラップが確保できる飛行ルートを事前に計画し、自律航法にて約90枚の直下写真を撮影した。また、墜落等の事故の原因とされるバッテリー低下や電波障害については、小型UAVを実験直前に飛行させて電波障害の有無を確認するとともに、バッテリー残量を厳格にチェックする体制を取った。

表-2 サイクルタイム比較表

	UAV写真測量		レーザースキャナ計測	
	作業手順	所要時間	作業手順	所要時間
現地計測	① 基準点設置、機器準備	21	① 機器準備	15
	② 飛行計画	13	② スキヤニング	15
	③ テスト飛行	5	③ 機器据え換え	6
	④ UAVによる空撮	5	④ ②③の繰り返し、7回	154
	1 計測あたりの所要時間(分)	44	1 計測あたりの所要時間(分)	190
データ処理	① 飛行ログデータと写真との同期	15	① データ読み込み	27
	② 自動標定	18	② レジストレーション+カラーマッピング	77
	③ 基準点計測	24	③ 点群生成	17
	④ 詳細モデル・点群作成	72		
	1 計測あたりの所要時間(分)	129	1 計測あたりの所要時間(分)	121
	合計	173	合計	311

4. 3次元計測技術の比較

1) 計測サイクルタイム(表-2)

表-2に示すように、現地計測とデータ処理(点群作成まで)に要した時間を計測した。現地計測作業は、UAVの方がLSの1/4程度の時間で完了している。一方、データ処理については、大きな差は見られなかった。総所要時間は、UAVはLSの約1/2となっている。

2) 点精度の比較(表-3)

RTK-GPSで得られた座標値と比較すると、UAVとLSともにXY平面座標で5mm前後、Z座標で20mm前後の較差となった。土量を把握するための測量精度としては問題のない値と考えられる。

3) 面精度の比較(表-3)

No:1,2,3,4で囲まれる範囲における盛土の表面積を比較した。約2700m²の面積に対して、LSと比較してUAVでは約2%の較差で計測できていることが分かる。

4) 体積精度の比較(表-3)

No:1,2,3,4で囲まれる矩形を底面にした場合の盛土体積(土量)を比較した。約5200m³の体積に対して、LSと比較してUAVでは約1%の較差で計測できていることが分かる。

5) 点群データの概観評価

図-2と図-3に取得できた点群データを示す。盛土上面の振動ローラの転圧跡(段差5cm程度、黄色四角枠)が明瞭に表現できていることが分かる。また、点群ピッチの差(粗密)が約10倍あるものの、むしろ、点群が粗いUAVによる点群データの方が現地をよく再現していることが分かる。

5. まとめ

本稿では、比較的小規模な盛土を対象として、UAVを用いた写真測量がLSによる計測と比較して、同等の性能(所要時間、計測精度)を発揮できることを示した。また、その結果から造成工事の施工管理における出来形測量や土量管理に適用できることが確認できた。UAVを用いた3次元計測の実用化のためには、精度管理等の作業規定や安全管理等の飛行マニュアルの整備が待たれるところである。

表-3 精度比較表

比較項目		UAV 写真測量	レーザースキャナ 計測
RTK-GPS測量との 座標比較 (検証点12点)	X座標(m)	-0.005	0.001
	Y座標(m)	0.006	0.006
	Z座標(m)	-0.019	-0.022
表面積(No:1,2,3,4で囲まれる範囲)(m ²)		2661.372	2718.412
スキャナとの対比(%)		-2.1	—
体積(No:1,2,3,4を底面とする範囲)(m ³)		5207.29	5253.95
スキャナとの対比(%)		-0.9	—

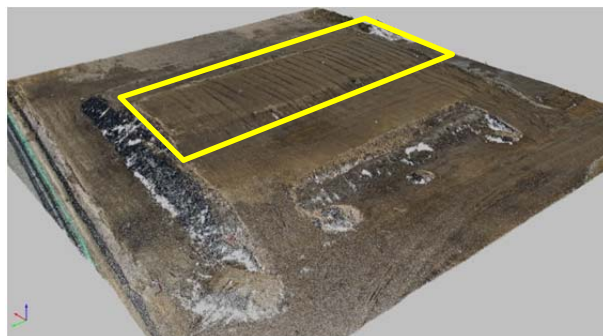


図-2 UAVによる点群データ(点群ピッチ130mm)

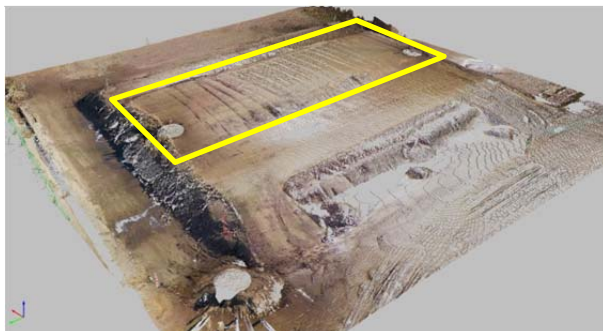


図-3 LSによる点群データ(点群ピッチ12.5mm)