

複雑な盛土地形における標定点の省略化検証

西武建設株式会社 正会員 ○長谷部恒夫, 須長真介, 二村憲太郎, 井上靖雄

1. 緒言

建設業の生産性を向上させるため、起工測量・出来高管理・出来形管理に UAV を使用した写真測量が一般化されつつある。また精度は、比較的シンプルな道路形状であれば空中写真測量(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(以下、管理要領)にて定められた測定精度 $\pm 5\text{cm}$ 以内を満足すると言われている。しかし、複雑な盛土地形において管理要領に定められた標定点・検証点での測定精度検証事例が少ない。本検証は当社が施工した東北地方に位置する複雑な盛土形状において、管理要領による標定点数で過不足がないかを検証するものである。

2. 検証概要

2.1 実験内容

検証盛土は、最下点と天端とは約 20m の高低差があり、将来的にインターチェンジとなることから、道路中心線形の曲線半径が $R=50.0\text{m}\sim 53.0\text{m}$ と急カーブであり、クロソイド曲線・片勾配・道路拡幅を有する複雑な形状である。全体面積は 4ha であった。

標定点設置箇所を写真-1 に示す。要求精度は出来形管理とした。(精度 $\pm 5\text{cm}$ ・写真の地上画素寸法 1cm 以下)

標定点は、S: 管理基準に定められた間隔で外側 100m・内側 200m 以内に設置(当現場では外側 80m, 内側 150m) H: 断面変化点に設置の 2 種類とした。標定点数は S: 23 点(図-1 黄色)、H: 40 点(図-1 赤色)とし、検証点 K は S と H の中間になる様配置し、合計 63 点の半数 32 点(図-1 青色)を設置した。標定点・検証点の座標計測は RTK-GNSS 測量にて実施した。また、本測量に併せて 3D レーザースキャナー(以下、3DLS)による計測も実施した。飛行日は 2018 年 2/28~3/3 にかけて実施し、風速は 3~5m/s の状態で実施した。

2.2 測量機器諸元

出来形管理要領に則り、飛行高さ・ラップ率・シャッタースピードを固定した。シャッタースピードは写真のにじみ率が 75% 以下¹⁾になるように設定した。測量機器の諸元・カメラ固定値を表-1 に示す。飛行ルートは 1 回のフライト時間が最大 10 分程度であり、計測面積が大きいことから 8 分割で飛行し、SfM 処理を実施した。

3. 測量精度結果

3.1 精度比較

表-2 に精度検証結果を示す。平均値は絶対値平均とし、各標定点・検証点の最高・最低誤差を記載した。また、SfM ソフトウェアは PhotoScan を用いた。CASE1: 標定点 S のみ使用(管理基準通り)、CASE2: 標定点 S+H を使用、CASE3: S+H+K 全てを標定点として使用した 3 パターンで検証した結果、標定点は CASE1~3 で XYZ 平均値は $\pm 5\text{cm}$ を満足したが、最高・最低誤差は Z 誤差が $\pm 100\text{mm}$ を越えた。また、標定点の数が増えると誤差も増えることが

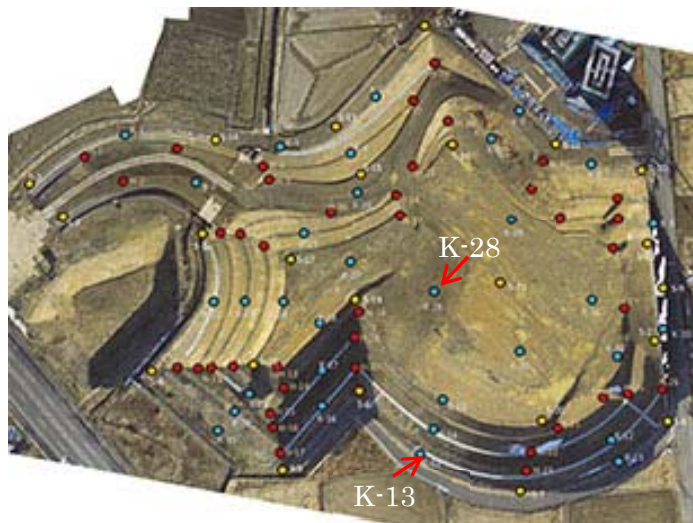


写真-1 現地状況写真

表-1 UAV 諸元・カメラ固定値

製造社名	株式会社エンルート		
名称	Zion PG700		
寸法	988×988×230		
ローター数	4枚		
材質	カーボンファイバー製		
積載可能重量	5.0kg(バッテリー込み)		
カメラ	ソニー α6000		
レンズ	SEL35F1.8(単焦点)		
撮影サイズ	6000×4000画素		
飛行高さ	90m(最下点)	F値	8
シャッタースピード	1/640 s	ISO値	200
進行方向ラップ率	80%	隣接コースラップ率	60%



キーワード UAV, i-construction, SfM

連絡先 〒359-8550 埼玉県所沢市くすのき台 1-11-2 Tel:04-2926-3811 E-mail:s-sunaga@seibu-const.co.jp

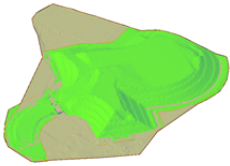
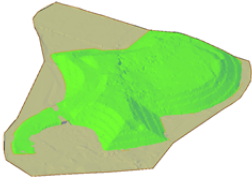
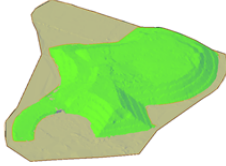
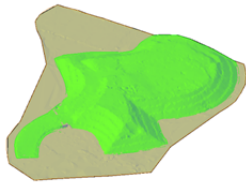
分かった。これは SfM 処理による
摺り合わせが増加することが起因
していると思われる。検証点は絶対
値平均では X, Y 誤差は大体
±100mm となるが、Z 誤差が大幅に
劣った。CASE-1・2 とともに、大きく
高さが劣る最高誤差は K-13, 最低
誤差は K-28 の数値であった。大きな誤差が出た要因は K-13 は最下点であり、天端との高さの相違が影響し、K-28
は周りに特異点が少ないことが影響していると考えられる。CASE3 は全体的に誤差の偏りが少なかった。

表-2 測量精度まとめ

ケース	CASE1			CASE2			CASE3		
	S	23 点		S+H	63 点		S+H+K	92 点	
誤差	X誤差	Y誤差	Z誤差	X誤差	Y誤差	Z誤差	X誤差	Y誤差	Z誤差
絶対値平均	0.004	0.004	0.019	0.007	0.005	0.030	0.008	0.006	0.036
最高誤差	0.010	0.017	0.041	0.025	0.017	0.104	0.029	0.021	0.110
最低誤差	-0.014	-0.009	-0.101	-0.030	-0.014	-0.108	-0.024	-0.026	-0.136
検証点数	K	32 点		K	32 点		K	32 点	
絶対値平均	0.073	0.102	0.368	0.065	0.049	0.370	0.008	0.007	0.030
最高誤差	0.254	0.160	0.588	0.181	0.095	0.886	0.014	0.021	0.070
最低誤差	-0.125	-0.732	-2.236	-0.237	-0.207	-1.666	-0.024	-0.026	-0.112

3.2 形状比較

表-3 ケース別土量算出結果

ケース	3 DLS	CASE1	CASE2	CASE3
盛土形状				
盛土土量	310588 m ³	299437 m ³	304722 m ³	306981 m ³
3DLSとの差	- m ³	11151 m ³	5866 m ³	3607 m ³
差の全体比率	-	3.59%	1.89%	1.16%

現況地盤との形状差を確認するために、3DLS 計測結果にて算出した土量と各ケースにおける土量を比較した。
(表-3)比較の結果、CASE3 が土量差が最も少ないことから、より現況に近い形状であると考えられる。また、標定
点の少ない CASE1 でも全体土量差は 4%程度であり、大
規模土工で考えると誤差の範囲内であると考えられる。

表-4 に 3DLS と各ケースの標準較差分布を示す。
最大値を±190mm として色分けをした。

表より、CASE3 が最も現況とマッチングしており、
CASE1 が最も劣ることが分かる。また、天端及び急カ
ーブ中間部に標定点が無い箇所もマッチングが劣る。
天端の誤差要因は、標定点が少なくなるほど、SfM 処
理に依存する点や特異点が少ないことが要因としてあ

げられる。急カーブ区間の誤差要因は、中間点に標定点を設けないと端部
の標定点同士で高さを平準化してしまい誤差が大きくなると推測できる。

4. まとめ

- 複雑な盛土形状において、UAV 測量を実施したが以下の事が言える。
- 1)正確な形状を計測するためには標定点の省略はできず、変化点や特異点
が無い箇所及び急カーブでは細かく標定点を設置する必要がある。
 - 2)表-5 に 3DLS と UAV の計測所要時間を示す。複雑な形状かつ計測面積
が大きいと、標定点設置時間・解析時間が増大するため、複雑な形状では
3DLS の方が生産性が高いと言える。
 - 3)測量誤差が大きい箇所があるが、土量は標定点が少なくても差異が全体
の 3.6%と少ないため、全体把握や出来高への利用は十分に可能である。
 - 4)UAV 計測はシンプルな形状に効果が高いと思われる。

表-4 ケース別ヒートマップ

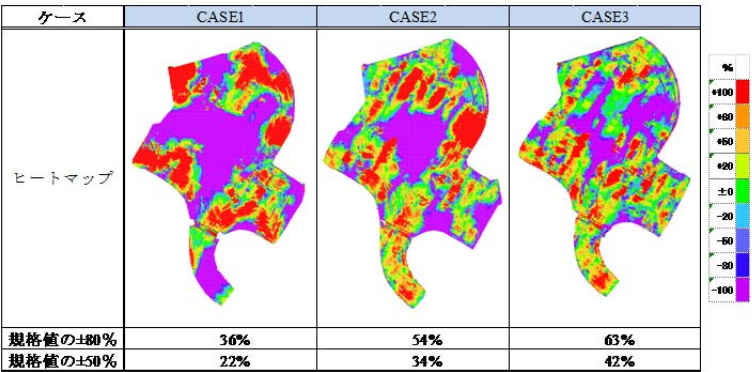


表-5 計測所要時間比較表

計測所要時間		3DLS		UAV計測	
測定方法		時間	人工	時間	人工
測量	標定点設置・座標計測	-	3.5日×2人	16.0	2日×2人
	計測	28.0		3.5	1日×3人
	小計	28.0	7.0	19.5	7.0
データ処理	点群データ読込	2.0		-	
	写真データ処理(間引き)	-		3.0	
	写真データ読込	-		2.5	
	認証点抽出	-		3.0	
	標定点位置合わせ	-	2日×1人	8.0	5日×1人
	高密度クラウド(点群作成)	-		9.0	
	点群吐出し	0.5		1.0	
	点群ゴミ処理	12.0		12.0	
	3D点群データ作成	2.0		2.0	
	小計	16.5	2.0	40.5	5.0
合計		44.5		60.0	
合計(日換算)日/8時間		5.6		7.5	
【参考】延べ人工数			9.0		14.0
3DLS盛替数		41回			
UAV標定点・検証点数		92点			