

山間部土工事での PPK 処理による UAV 写真測量の適用性検証

大成建設（株） 土木技術部 正会員 ○新井 博之

大成建設（株） 関東支店

土井 康平

芝本産業（株）

濱野伸一郎

1. はじめに

UAV 写真測量による土工事での進捗管理や出来形管理は、現場の生産性向上に大きく寄与できる手法として国交省からも UAV による管理要領¹⁾が発出され、積極的な導入が進められている。一方、写真測量の要求精度を確保するためには、地上標定点（GCP）の設置が必要であるが、ダムや造成工事などの大規模土工事では、その点数が多くなることや掘削に伴う GCP 移設が頻繁に必要な等の測量準備作業に労力がかかることが課題となっている。また山間部工事では、携帯電話の接続通信環境が十分でないため、電子基準点からの測量補正情報取得のためのネットワーク型 RTK（Real Time Kinematics）の利用も困難である。そこで、GCP レスで通信環境不要な PPK（Post Processing Kinematics）による UAV 写真測量を、山間部の大規模土工事現場で試行し、撮影条件による測量精度と現場での出来高管理、出来形管理への適用性を検証した。

2. PPK による現場試行概要

PPK は現場でデータ取得後に電子基準点からの補正処理を後処理方式で行う方法であり、今回の検証では GeoLink Japan 社が提供する KLAU PPK システムを使用した。このシステムでは、ドローン機体と独立した2周波 GNSS アンテナによる高精度測位データが、カメラのシャッターシグナルと 1/1000 秒単位で完全同期し、機体の姿勢情報についても後処理解析で使用するもので、機体の測位精度は±3cm 以内（メーカー値）とされている（図-1）。

試行場所は、関東地方のダムサイト造成工事現場（工事区域面積 24,000m²、標高差 70m）とし、使用機体は DJI 製ドローン機体に PPK システムを搭載した①Phantom 4 Pro PPK（以下 Phantom4 で表記）と②Inspire 2 X7 35 mm PPK（以下 Inspire2 で表記）の2機種とした（図-2）。また撮影条件は、国交省の基準²⁾に従い、写真重複度をオーバーラップ率 80%、サイドラップ率 60%に設定し、地上画素寸法を Phantom4 では 3cm/pix 以内（出来高計測）、Inspire2 では 1cm/pix 以内（出来形計測）となるよう飛行プランを設定した。測量精度の検証は、現場内に検証点を 3ヶ所設置し、従来測量による座標値と SfM 解析（Pix4Dmapper）による点群データ近傍点の座標値との平面及び鉛直誤差で比較した。



カメラを加工しシャッターシグナルを 1/1000 秒単位で補足

図-1 PPK システム搭載状況

① Phantom 4 Pro PPK



小型・廉価機種
カメラ・レンズ交換不可
有効画素数 : 2000 万画素
焦点距離 : 16mm
1cm/pix 高度 : 35m

② Inspire 2 X7 35mm PPK



中型機種
カメラ・レンズ交換可能
有効画素数 : 2400 万画素
焦点距離 : 35mm
1cm/pix 高度 : 90m

図-2 使用機種（PPK システム搭載）

キーワード：UAV、写真測量、PPK、出来形管理

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設(株)土木技術部ダム技術室 TEL 03-5381-5282

3. 空撮実施状況と精度検証結果

(1) 撮影条件と飛行プラン

現場空撮は、月1回の頻度で、Phantom4 使用を4回、Inspire2 使用を1回の計5回実施した。各回の撮影条件を表-1に示す。Phantom4 の飛行プランは、地形高低差がある範囲を対地高度一定にして撮影する飛行プラン設定が煩雑であるため、地上画素寸法に最大値を設けた飛行高度の設定をした。

Phantom4 空撮の要求精度は出来高計測レベルではあったが、初回の飛行プランでは地上画素寸法をできるだけ小さくするよう最小対地高度30m（地上画素寸法1.0cm/pix程度）に設定して空撮した。しかし不安定なGNSS状態で正常な位置情報の取得ができない結果となった。この原因について調査した結果、谷地形の影響でGNSSシグナルのマルチパス現象によるエラーであったと判明した。このため2回目以降のPhantom4 空撮では、最小対地高度を60mに上げた飛行プランに設定し、地上画素寸法1.7～2.5cm/pixによる撮影を実施した。

一方、Inspire2 空撮では、要求精度が出来形計測レベルであったため、地上画素寸法が1cm/pixになる対地高度90mでほぼ一定になるように、地形形状に合わせた詳細な飛行プランを設定して空撮した。

(2) 精度検証結果

各回の検証点における座標誤差を表-2に示す。Phantom4 および Inspire2 による測量結果は、要求精度に則した国交省基準の地上画素寸法による測量精度を概ね満足することが確認できる。また全体として平面誤差よりも鉛直誤差の方が大きい傾向になっていることがわかる。

一方で各回の精度にはバラツキがあり、試行No.4（1月実施）のPhantom4 空撮は、その他に比べて相対的に誤差が大きく、出来高計測精度20cmを超える検証点が見られた。この要因として、空撮当日のGNSS補足数の違い等が精度に影響した可能性があると考えられる。

また試行No.3（12月実施）のInspire2 空撮は、出来形計測精度の地上画素寸法に合わせて対地高度を一定にする撮影条件としたが、実際の対地高度にはバラツキがあるので、1cm/pix以下になっていない部分があったと思われる。このため、5cm超の誤差精度の検証点が見られる結果になった。今後は、地上画素寸法1cm/pix以下を確保するため、必要な対地高度に余裕を持った飛行プランを設定する必要がある。

表-1 使用機体と撮影条件

試行 No.	空撮月日	使用機体	飛行プラン設定条件			
			オーバー ラップ率	サイド ラップ率	対地高度	地上画素寸法
1	10月24日	Phantom4	80%以上	60%以上	30-60m	1.0～1.7cm
2	11月28日	Phantom4			60-90m	1.7～2.5cm
3	12月23日	Inspire2			90m程度	1.0cm 程度
4	1月27日	Phantom4			60-90m	1.7～2.5cm
5	2月25日	Phantom4			60-90m	1.7～2.5cm
(参考) 国交省基準						
精度5cm以下 (出来形計測)			80%以上	60%以上	カメラ性能 による	1cm以内
精度10cm以下 (起工計測)						2cm以内
精度20cm以下 (出来高計測)						3cm以内

表-2 精度検証結果

使用機体 / 要求精度	試行No.	検証点	精度誤差結果 (cm)				
			x	y	z	平面	鉛直
Phantom4 / 出来高 (20cm以下)	1		—	—	—	—	—
	2	①	3.1	2.0	0.8	3.7	0.8
		②	1.3	0.2	11.2	1.3	11.2
		③	3.5	0.5	0.5	3.5	0.5
	4	①	4.3	2.4	10.2	4.9	10.2
		②	0.9	7.8	20.9	7.9	20.9
		③	3.8	0.2	6.1	3.8	6.1
	5	①	4.6	1.6	5.1	4.9	5.1
		②	1.7	4.5	5.8	4.8	5.8
		③	3.7	1.0	8.8	3.8	8.8
	平均		3.0	2.2	7.7	4.3	7.7
Inspire2 / 出来形 (5cm以下)	3	①	0.3	1.4	1.2	1.4	1.2
		②	6.3	0.5	4.0	6.3	4.0
		③	0.4	2.2	4.5	2.2	4.5
	平均		2.3	1.4	3.2	3.3	3.2

4. まとめ

PPK システムを搭載した UAV 機種を必要精度に応じて使い分けることにより、山間部土工事での部分払い出来高や出来形管理にも GCP レスの UAV 写真測量を活用できる可能性が確認できた。一方で、空撮日時により測量精度にバラツキが生じる課題があり、飛行プランや撮影条件、データ補正方法などをさらに試行検証し、安定した測量精度を確保できる手法を確立していきたいと考える。

参考文献

- 1) 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30年3月
- 2) 国土交通省国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル（案），平成29年3月改正