

標定点無し UAV 測量による 土工施工管理の効率化

湊 康裕* 土岐宥美子**
 Yasuhiro Minato Yumiko Toki
 田中 勉* 五十嵐 洋**
 Tutomu Tanaka Hiroshi Igarashi

1. はじめに

国土交通省は建設現場の生産性向上のための施策「i-Construction」を掲げ、ICTや3次元データの活用が推進されている。

無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）を用いた空中写真測量は、測量作業の効率化の効果が認められる一方で、標定点の設置・測量計算の手間などの課題があり、それらの作業性向上・効率化されることが望まれている。

最近、標定点を使用せず、測量計算まで非常に簡略化された手順で、進捗管理できる UAV 空中写真測量の技術が提供されている。本報告では、迅速な土量管理が求められる道路土工工事で同技術を試行し、その有効性・活用性等について検証を行った。

2. 標定点無し UAV 測量技術

一般の UAV 空中写真測量では、撮影位置および姿勢（外部標定要素）を求めるために標定点を配置して行われる¹⁾。これに対して、今回適用した技術「Everyday Drone」（コマツカスタマーサポート（株））は、EdgeBox というパソコン（以下、PC）を兼ねた基準局を測量時に設置し、UAV 撮影位置を GNSS 観測 PPK（Post Processed Kinematic）により精度数 cm で計測しながら空中写真撮影を行い、標定点を配置しなくても約 10 cm 程度の精度で測量計算が可能というものである。これは、外部標定要素の 3 次元測地座標を PPK で把握し、未知数を減らして直接定位撮影の手法に近づけることで、計算時間の短縮・精度確保につながっていると推測される。

測量計算は、UAV 写真データを EdgeBox に取り込み、計算条件・座標系等の設定を行うのみで、実施できる。さらに、クラウド上の専用アプリケーション（以下、アプリ）に計算結果をあげることで土量計算・断面出力等の処理が可能になる。このように測量作業と計算手間を簡略化し短時間で測量が行えるということが特徴である。

3. 現場適用

適用した現場は、図一に示すように道路土工の切土延長約 1,400 m および盛土延長約 300 m、約 550 m の 3 区間が飛び地になっており、測量に労力を強いられる状



図一 現場測量位置

況であった。また、盛土区間では迅速な土量の概数管理が求められたことから、本技術を導入した。本技術は表一に示す手順で行った。

本技術の導入に先立ち、測量結果を補正して精度向上のために、測量範囲の外周で、GNSS 測量値（世界測地系）と現地の平面直角座標の対応をさせるローカライゼーションを行った（図一 中●印）。

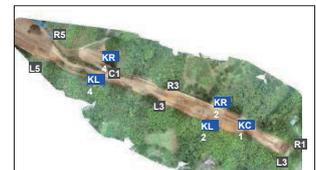
写真撮影は、専用ソフトに設定した飛行ルート（対地高度：80 m）を用いて、自動飛行により行った。UAV は、DJI 製 Matrice 100 がベースのものを使用した。

4. 測量精度の確認

本技術の適用にあたり、まず測量精度の確認を行った。

切土区間の一部（延長約 500 m）において、①標定点を使用した一般の UAV（DJI Phantom4）空中写真測量計算、②標定点無し UAV 写真を用いた一般の空中写真測量計算、③標定点無し UAV の専用アプリ測量計算の 3 つの測量結果の比較を行った。

標定点は、約 200 m 間隔で設置した（図二）。①、②の検証点較差を表二に示す。なお、③は、アプリの関係で、検証点較差が得られなかった。



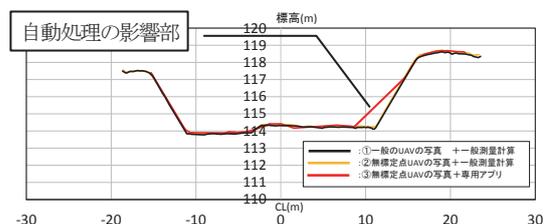
図二 標定点(黒)・検証点(青)の配置

表一 ①、②の測量計算結果（約 500 m 区間）

	①一般UAVの結果			②標定無UAVの一般測量結果		
	X較差	Y較差	Z較差	X較差	Y較差	Z較差
最大値	1.01	2.00	1.97	3.51	2.33	5.67
最小値	-0.02	-1.29	-0.97	-0.96	-0.35	-7.89
平均	0.49	0.76	0.33	1.13	0.89	-0.15
二乗平均平方根	0.60	1.34	1.22	1.88	1.25	4.87

共に、全ての最大・最小値が概ね ±5 cm 程度以内であり、①の結果のバラツキが小さかった。

また、①～③の手法を断面比較の結果、大方の断面で概ね近い結果となったが、幾つかの断面で自動処理の影響で図三に示すとおり断面形状に差が生じていた。



図三 No.213 断面図比較

* 技術研究所先端技術グループ

** 北日本（支）伊達（出）

これら結果を考慮して、全長約 2,250 m に対して適用した際の確認を、②標定点無し UAV 写真の一般測量計算結果（標定点の間隔：約 200 m）と③専用アプリを用いて行った結果との比較により行った。

横断面において多くの断面は、図-4 の No.269 (図-1 中範囲 A 内) のように比較的近い結果となった。一方、自動処理による影響が顕著に表れた No.438 断面 (図-1 中範囲 C 内) を図-5 に示す。これは、専用アプリでは、図-6 に示すボックスカルバートのコンクリートが色識別 (白色) により自動除去されたことによる。専用アプリの自動処理は、便利である反面、意図しない処理が行われる場合もあり注意が必要である。

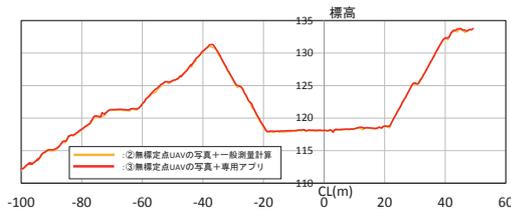


図-4 No.269 断面図比較

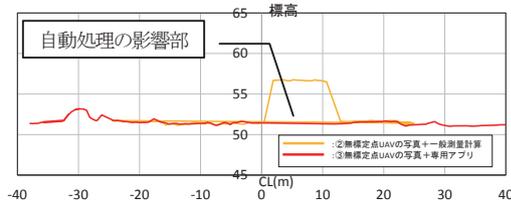


図-5 No.438 断面図比較

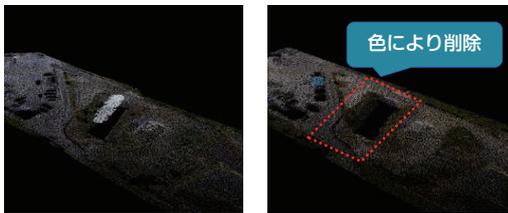


図-6 No.438 点データ (左：一般ソフト、右：専用アプリ)

5. 土量計算

計画図面に対する残りの施工土量を、点高法、平均断面法、専用アプリ (点高法) による自動計算等の比較結果を表-3 に示す。②の一般測量計算と比較して、区間の容積が比較的少ない (約 21,000 m³ を下回る) と差分の割合が大きくなったが、10 万 m³ を超える程度での差分の割合は、小さくなる傾向が見られた。

撮影面積、飛行時間・回数等の UAV 使用状況、および

表-3 計算土量の比較結果

範囲	区分	(上段：計算値) (下段：②との差分、カッコ内は割合)			
		②一般測量計算 (点高法)	②' 平均断面法	③専用アプリ 自動計算 (点高法)	③' 専用アプリ+ 一般ソフト (点高法)
A	切土	353,186	354,988	359,311	357,544
	盛土	13,920	10,820	19,204	13,327
B	切土	1,162	0	755	627
	盛土	92,273	99,338	102,583	97,262
C	切土	1,520	0	742	450
	盛土	19,180	19,685	26,825	21,582

PC 性能等を考慮して、撮影条件を変えることで、差分の割合を小さくする余地はあるものと考えられる。

6. 技術の活用性

写真撮影は、EdgeBox の設置・設定、UAV の飛行ルート選択、両者の通信状態の確認後に、飛行を開始する。今回、飛び地・有視界飛行等の関係で、撮影範囲を 8 区分したが、現場での標定点等の設置・測量が不要であるため、測量に対する機動性は向上した。

撮影写真から EdgeBox で計算された点群データを、クラウドにアップロードすることで、web ブラウザ上の専用アプリで施工進捗、施工数量、指定範囲内の数量、断面等が表示可能であり、施工概況が速やかに把握できる (図-7)。



図-7 専用アプリの表示画面 (例)

写真撮影からデータ整理までの作業は、一般の UAV 測量に対して約 1/3 程度の時間で実施できた (図-8)。

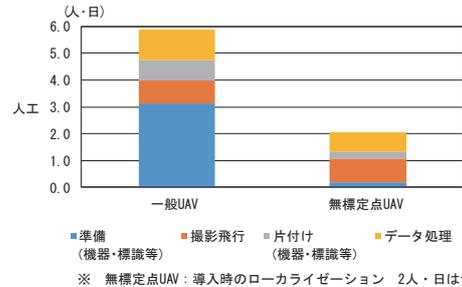


図-8 測量作業時間の比較 (写真撮影～データ整理)

当該アプリは概況把握の手段として提供しているためか、以下のような内容であった。処理後の特長として、処理結果の出力機能が少なく画面表示のみに留まる内容が多い。クラウド上のアプリのため、使用上での不具合の原因・対策が分かりにくく、対応に時間を要することがあった。また、数量計算の範囲指定では、CAD のように正確な位置を設定することが難しい状況であったが、この点は、点データを一般のソフトを活用して処理することで対応が可能である。

7. おわりに

標定点無し UAV 測量機・関連アプリの特長を把握でき、施工の概況把握の効率化が図れることを確認できた。空中写真測量の知識が無くても、容易に点データを得ることができた。また、クラウドを使用していることから、遠隔地での概況把握にも活用可能である。

本技術の特長を把握し、適用現場の測量面積、測量頻度、使用期間、インターネット環境、費用対効果等を勘案しての導入により、効率化が期待される。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本写真測量学会編：三次元画像計測の基礎、東京電機大学出版局、2016