

UAVによる地形追従飛行

佐藤工業（株） 正会員 京免 継彦*1 正会員 穂積 柁希*1
 （株）センシンロボティクス 河野 健之*2 小林 良太*2

1. 概要

近年、国土交通省が提唱する i-Construction に基づき、起工測量、施工、出来形管理等において ICT を活用する工事が増加している。弊社においてもその取り組みの一環として UAV による写真測量を活用し、出来高としての土量管理を行っている。

UAV を用いた土量管理は、連続写真をベースに手軽に現況地形の三次元点群データの生成、取得が可能

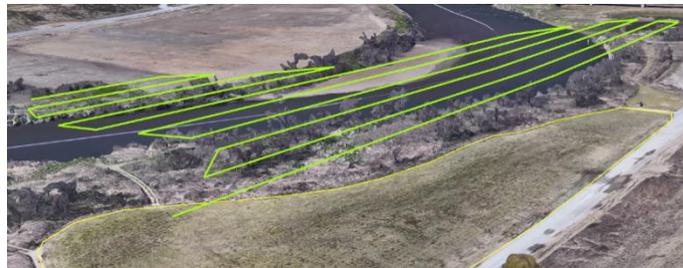
な反面、点群の鉛直方向の計測誤差が水平方向に比べて大きく出るといった問題がある。これは水平方向の精度を重視する GPS の性質もあるが、地上部の高低差に関わらず UAV が一定高度で飛行するため、対地高度が変化してしまうことが精度の悪化を招いている。また、要領に定められている地上画素寸法を確保するため、現場の地形によっては飛行区域を分割せざるを得ず、計測時間が増大することも問題となっている。

そのため、（株）センシンロボティクス協力のもと、プレフライトにて地面の高低差を認識し、対地高度を一定にして UAV を飛行させる（以下、地形追従飛行と記す）ことで計測精度を向上させる技術開発を行うこととした。今回は、開発の前段階として既存ソフトを組み合わせ地形追従飛行を行い、有用性を確かめる。

2. 飛行

今回使用した UAV 飛行ソフトの GS RTK には DSM データ（Digital Surface Model：建物や樹木を含んだ地球表面の高さモデル）を読み込むことで、そのデータの範囲内において高低差に沿った飛行を可能にする機能が予め搭載されている。第一段階として、DSM データを作成するためにプレフライトを行った。DSM データを作成する範囲を Phantom 4 RTK（図-2）を用いて離陸地点での対地高度 72m を保持する飛行（以下、レベル飛行と記す）で計測し、三次元形状復元ソフト Pix4Dmapper を用いて DSM データを作成した。DSM データは GS RTK の仕様上そのままでは読み込めないため、GIS ソフト QGIS を用いて座標系を平面直角座標系から緯度経度座標に変換した。

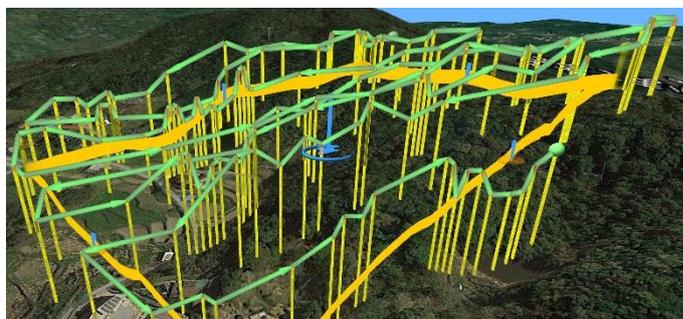
作成した DSM データを GS RTK に取り込み、対地高度 72m での地形追従飛行による写真測量を行った。別ソフトを用いて飛行ルートを三次元的に見たイメージが（図-3）である。（図-1）と比較すると飛行ルートの高度（標高）が同一でなく、地形に沿ってルートが上下していることが確認できる。



（図-1）一般的な飛行ルートイメージ（緑線）



（図-2）使用機器（DJI 社製 Phantom 4 RTK）



（図-3）地形追従飛行ルートイメージ（緑線）

キーワード UAV, 地形追従, ICT, i-Construction

連絡先 *1 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 技術センター TEL 03-3661-2932 FAX 03-3808-0491

連絡先 *2 〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 2-36-13 広尾 MTR ビル 7F TEL 03-5488-6106 FAX 03-5488-5050

3. 計測結果

今回は、離陸地点での対地高度 72m レベル飛行 (①), 従来手法である飛行エリアを3分割しての対地高度 72m レベル飛行 (②), 対地高度 72m 地形追従飛行 (③) の3フライトにおける精度, 作業時間についての比較, 検証を行った。

表-1 計測結果

フライト	検証点誤差の最大値(m)			作業時間	画像枚数
	dx	dy	dh		
①	-0.0100	0.0222	-0.0350	73分	86枚
②	-0.0132	0.0102	-0.0327	166分	160枚
③	-0.0094	0.0212	-0.0253	73分(※1)	84枚

※1 DSMデータ取得のため別途50分程度必要。

作業時間は飛行ルート作成, 離陸地点への移動, 実際の飛行, Pix4Dmapper 上での処理 (GCP 視準作業終了まで) の合計, 地上に設置する標定点, 検証点はともに5箇所ずつとし, それぞれの計測結果を示したのが表-1である。いずれのフライトでも出来形管理で求められる計測精度内 ($\pm 0.05\text{m}$) であり, 地形追従飛行 (③) では dh (鉛直方向の誤差) が他2フライトと比較し約 0.01m 小さくなっている。作業時間に関して, 地形追従飛行では DSM データ取得のためプレフライトを行う必要があり, 全体としてはレベル飛行 (①) より長くなるが, エリア分割飛行 (②) と比較すると, 離発着点変更のための移動, 撮影画像枚数の多さが起因となる GCP 視準作業時間の増加がない分短い時間で済む。また, DSM データを一度取得してしまえばその後の作業時間はレベル飛行 (①) と同程度で収めることが可能である。

4. 課題

課題として以下の3点が挙げられる。

①複雑な手順とソフト

UAV に DSM データを取り込むために Pix4Dmapper, QGIS と2つのソフトを経由する必要がある。いずれの作業も別途パソコンが必要, 処理に時間がかかる, 手順が複雑である点から UAV 測量を専門としない現場作業員には大きな負担となる。

②衛星環境に左右される

本手法は RTK (リアルタイムキネマティック法: 固定局と移動局の2つの受信機で衛星信号を受信し互いに誤差を補正しあう測位技術) を用いているため, RTK による測位が行えない現場では本手法での地形追従飛行が不可能である。他ソフトを使用すれば地形追従飛行自体は可能だが, タブレットとは別にルート設定処理用のパソコンが必要など, 現場での使用に適しているとは言い難い。

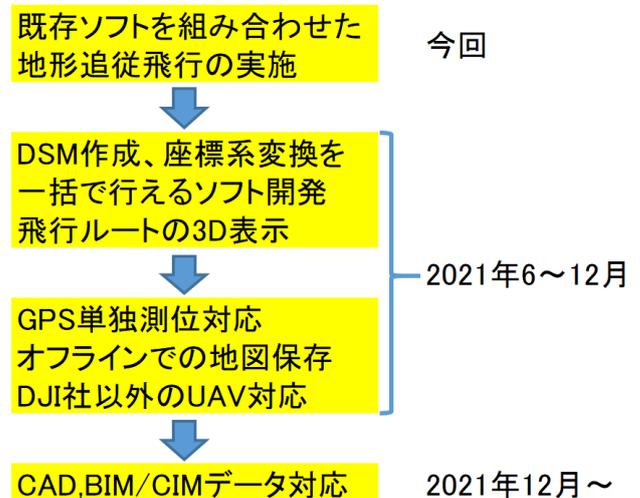
③対応機種少なさ

本手法が使える UAV は DJI 社 (中国) 製の UAV のみである。昨今の情勢から公共事業においては中国製 UAV の使用が制限される風潮があり, 中国製以外の UAV に対応するソフトの開発が急がれる。

5. まとめと今後の展望

地形追従飛行は従来の手法と比較し, 精度の向上, 作業時間の短縮, 飛行回数の減少による安全性の向上という効果があると考えられる。今後は DSM データの作成から変換, UAV への読み込みまでの一連の作業を一括で行えるソフトの開発, RTK による測位が行えない現場での運用, DJI 社製以外の汎用的な UAV への対応を考慮していく。

最終的に, DSM データに CAD や BIM/CIM データを加えて建設中の構造物や建機を反映し, それらも回避可能とする地形追従飛行ルート作成支援ソフトの開発を目指している。タブレットのみで地形追従飛行が完結できる環境が整備されれば, UAV 測量を専門としない現場作業員でも扱いやすく, 今後の i-Construction の展開に大きく寄与するものと期待できる。



(図-4) 今後の開発スケジュール