# 11. UAV マルチコプタの土工管理への適用性検討

安藤ハザマ 情報システム部 〇澤 正樹 安藤ハザマ 技術研究所 武石 学 安藤ハザマ 技術研究所 黒台 昌弘

#### 1. はじめに

国土交通省の先導により、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 (Construction Information Modeling/Management) への取組みが進められている。これらに共通するものとして 3 次元データがある。情報化施工では MC (マシンコントロール) や MG (マシンガイダンス) における 3 次元設計データとして、あるいは施工出来形データとして利用されている。CIM では、地形や構造物の形状を 3 次元で示し、ここに属性情報を加えた上で、建設プロセス全体に流通させ、生産性の向上を図ることが検討されている。

このように 3 次元データが様々な形で利用されている一方で、3 次元データを取得する技術については、計測技術そのものに加えてデータ処理技術までを含んだトータルな計測技術としての検討が必要とされている。

そこで、筆者らは、近年技術進歩が著しい UAV (Unmanned Aerial Vehicle) マルチコプタ (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. UAV の活用方法

# 2.1 UAV に関する技術開発の取り組み

筆者らは、建設現場において UAV による空撮写真から 3 次元モデルを作成する手法を確立するため、飛行速度や撮影時の方向 (角度・高度)、シャッター速度の検討に加えて、カメラ機種やモデル作成ソフトウェアの検証を行っている。これは、3 次元モデルの精度に関する要望は現場ごとに異なり、要求精度にあわせた撮影方法とソフトウェアが必要であることがその理由である。また、今後、老朽化が一気に進む社会インフラの維持更新分野における UAV の適用を目指し、非 GPS 環境下や狭隘部での飛行が可能な機体や、構造物に一定距

離まで接近し離隔を保ちながら構造物全体を撮影できる機体の開発を進めている。

### 2.2 UAV 飛行事例

現在、5機のUAVを所有しており、施工中の建設現場の施工管理や安全管理、供用中の構造物の状況把握のための空撮を行っている。

以下に飛行目的と事例を紹介する。

### (1)施工管理、安全管理のための飛行

建設現場からの要望が一番多いのが施工管理と安全管理のための飛行・空撮である。通常、地上から現場全体を把握することは難しく、UAVにより 70~100m 程度の低高度から全体を俯瞰することで、現場全体だけではなく詳細部分も把握できる。セスナ機等による空撮ではタイムリーな対応が不可能であることも一つの要因となっている。



写真-1 施工管理の空撮写真例

### (2)構造物や施設点検のための飛行

容易には人が接近できないコンクリート構造物において、その表面のひび割れなどを把握することが目的である。例えばダム堤体などは対象面積が広く、足場も不要で接近して撮影できるため、初期点検における大幅な時間とコストを削減することが可能である。

表-1 使用した3次元計測技術

	UAVによ	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 α6000	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	シャッタースヒ゜ート・	1/1250	位置精度	2.0mm
撮影高度	60m	絞り値	5.0	スキャンヒ゜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

また、老朽化した工場の屋根を歩行して目視点 検する作業では、点検員が屋根を踏み抜き落下す る恐れがあるため、屋根の上方から接近し撮影す ることで、危険を排除した安全な点検作業を可能 にしている。

いずれの場合も、機体を目視しながらのマニュ アル操縦が基本となるので、経験を積んだ操縦者 の育成が今後の課題である。

#### 2.3 安全飛行に向けての取り組み

当社では安全飛行マニュアルを作成し、その中で飛行前に必ず飛行計画書を作成するよう義務付けている。その一例として最低限守るべき主な項目を以下に示す。なお、これらの項目を厳守できない場合は、直ちに飛行を中止する措置を取っている。

#### (1)2 人体制による飛行

UAV の操縦者(撮影含む)以外に、バッテリー 残量や飛行中の周囲状況を監視する安全担当者を 選任し配置する。

#### (2)現場敷地内での飛行

飛行前に当該建設現場の敷地境界線を確認し、 この境界線の内側を飛行する。

### (3)重要インフラの確認

飛行エリア近辺に空港、鉄道、高速道路、主要 幹線道路などの重要インフラがないか確認する。

# (4)電波障害の確認

飛行エリア近辺に鉄塔、高圧線、変電所、携帯 電話基地局などの強力な電波などを発する施設が ないか確認する。

# (5)上下作業の禁止

飛行前に現場内の作業員、重機やクレーンの位置を確認し、上下作業となる場合は飛行を中断する、もしくは飛行ルートを変更する。

### (6)チェックリストでの確認

機体整備や安全管理に関わるチェックリストを 作成し、操縦者および安全担当者が確認する。

### 2.4 バッテリーの管理

機体の駆動バッテリーであるリチウムポリマー バッテリーは、衝撃や高温に弱く、また、管理を 誤ると水素ガスを発生し爆発する危険性があるため、過充電・過放電を避けるとともに、難燃性の袋に入れて保管、輸送するなど徹底した管理が必要である。そのため、当社では、専門の知識を有した技術者がチェックシートを活用し、一括してバッテリーの管理を行っている。

# 3. UAV 性能評価のための3次元計測実験1)

# 3.1 実験で使用した3次元計測技術とその特徴

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、カメラは軽量な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。

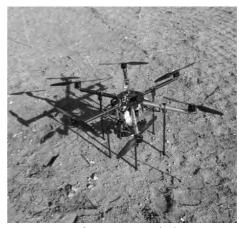


写真-2 UAVの概観

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。

# 3.2 実験概要

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。



写真-3 LS 計測の様子



図-1 実験ヤード

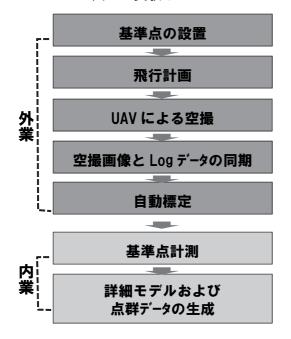


図-2 UAV による計測の流れ

#### 3.3 UAV による盛土の計測

UAV による計測の流れを図-2 に示す。以下、順を追って作業の内容を示す。

#### (1)基準点(標定点)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)飛行計画

写真測量に必要なサイドラップ(75%)とオーバーラップ(90%)が確保できる飛行ルートを事前に計画した。

# (3)UAV による空撮(写真-2)

飛行時間 5 分、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電波障害やバッテリー低下については、小型軽量の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、バッテリーの残量電圧を厳格にチェックする体制を取った。

# (4)空撮画像と LOG データの同期、自動標定<sup>2)</sup>

UAV のフライト LOG データには、GPS による 位置情報と IMU (慣性計測装置: Inertial Measurement Unit) による傾きの情報が記録される。

このGPSとIMUのデータを同期結合させると同時に、GPS 時刻に基づいて空撮画像の撮影時刻を同期させ、Geo-Tag として撮影した各画像に位置と傾き情報を記録する。

次に、隣り合うステレオ画像毎に相対的な位置と傾きを求め、全ての画像を統一的な相対座標系に接続し、Geo-tag として記録された GPS 情報に基づきカメラの撮影位置を絶対座標系へ 3 次元変換する。

#### (5)基準点計測

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、図-1 に 示した標定点および比較検証点を測量した。

#### (6)詳細モデルおよび点群データの生成

上記(4)(5)の工程によって高精度な標定が完了するので、任意のメッシュ間隔で詳細な点群を生成する。

# 3.4 LSによる盛土の計測

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、スキャニング範囲の重なりが多くなるよう、盛土内の 8 箇所から計測した(写真-3)。

### 3.5 3次元計測技術の比較

LS および UAV 専用のソフトウェアを用いて点 群データ処理を行った。そして、以降に示すよう

表-2 サイクルタイム比較

UAV写真測量				レーザースキャナ計測		
作業手順所			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	スキャニング	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	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
アータ処理	2	自動標定	18	2	レシ <sup>*</sup> ストレーション + カラーマッピ <sup>°</sup> ング <sup>*</sup>	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
	습計 173				合計	311

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	X座標(m)	-0.005	0.001			
座標比較	Y座標(m)	0.006	0.006			
(検証点12点)	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	1			
体積(No;1,2,3,4を底面とす	る範囲) (m³)	5207.29	5253.95			
スキャナ	との対比(%)	-0.9				

に、両者の比較検討を行った。

# (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  $2700m^2$  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  $5200 \text{m}^3$  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-3 と図-4 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 現地を精度よく再現していることが分かる。

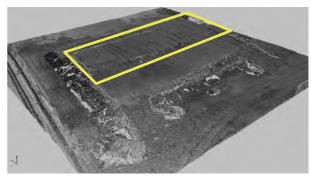


図-3 UAV による点群データ(点群ピッチ 130mm)

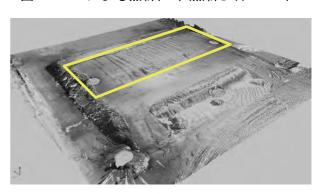


図-4 LS による点群データ (点群ピッチ 12.5mm)

#### 4. まとめ

本稿では、UAVの適用事例とその飛行に関しての留意点を示した。さらに、UAVの適用方法として期待が大きい造成工事における出来形測量や土量管理への適用可能性を明確にした。

具体的には、比較的小規模な盛土を対象として UAVを用いた写真測量とLSによる計測を比較し、 UAVによる測量が同等の性能(所要時間、計測精 度)を発揮できることを示した。

これまでホビー(趣味)の領域で飛行させてきたラジコン飛行機の類を業務利用する場合には、2.3項に示したような安全確認事項にも留意し、第三者災害を防止した作業が重要である。特に、UAVを用いた3次元計測の実用化のためには、精度管理方法等を定めた作業要領の作成や安全管理に重点を置いた飛行マニュアルの整備が必要であり、関係省庁の法整備の方向性も注視しながら、技術開発を進めていく所存である。

#### 参考文献

1)黒台昌弘、澤正樹、小川満、大谷仁志: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、土木学会第70回年次学術講演会第VI部門、pp.15-26、2015

2)内山久雄:測量学、pp.167-188、コロナ社、2008