

(72) 標定点を用いない UAV 空中写真測量による地図 情報レベル 1000 の三次元点群データの作成

永峰 義寛¹・栗山 真純²・小松 純²

¹ 非会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 環境・防災系部門（〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島 4-11-10）

E-mail: nagamine_y@cfk.co.jp

² 非会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 構造系部門（〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島 4-11-10）

² 正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 構造系部門（〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島 4-11-10）

昨今、各地で台風や豪雨による甚大な被害が発生している。被災地域では災害復旧への迅速な対応が要求され、その初動には、Unmanned Aerial Vehicle（以下 UAV）を用いた画像情報の収集と三次元点群の取得が有効な手法と考えられる。

一般に、三次元点群を取得するためには、危険な被災地内において事前測量で標定点を設置することが必須であり、RealTime Kinematic 機能を搭載した UAV を用いた場合でも、標定点の設置は必須である。

本稿では、事前測量で標定点を設置することなく、UAV による空中写真を用いた三次元点群の作成を試みた。その結果を「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」に則って作成した三次元点群と比較したところ、標定点を用いずに地図情報レベル 1000 を満足する三次元点群作成が可能であり、被災地における作業員の安全確保と迅速なデータ作成に有効であることを確認した。

Key Words: uav,exif, Orientation point, sfm, three-dimensional point group data

1. はじめに

災害時は道路の寸断などが発生し、被災地にたどり着くこと事態が困難である。また、車両の通行はもちろん、人員が立ち入ることさえ不可能な状況も発生する。しかしながら、ライフラインの復旧や緊急物資の搬送ルート確保は急務であり、復旧に必用な情報収集と迅速な状況把握が求められる。そこで、UAV を効率的に活用し、俯瞰的で立体的な被災地情報を、安全で迅速に把握する手法を検討した。

被災地では安全を確保した上で、迅速に情報を取得することが求められる。UAV を用いた画像取得と三次元点群作成は、その条件に最も適した手法と考えられる。

しかし、UAV を用いて三次元点群を作成するには、標定点や検証点を適切に設置する¹⁾ことが必須であるが、被災地内での標定点設置は困難が予想される。

本稿では、標定点を設置することなく、高精度に三次元点群を作成する試みを 3 箇所の現場で行った。データ作成においては、標定点を用いて作成した三次元点群を「正規データ」、標定点を用いず作成した三次元点群を

「検証データ」と位置づけ、「正規データ」と「検証データ」の差分を抽出し、三次元点群の精度²⁾と取得方法について考察を行った。

空中写真の取得には、精度確保、長時間飛行（28 分）、併せて被災地での利便性の 3 点を考慮し、DJI 社製の UAV「Phantom 4 pro」を使用した。



図-1 DJI 社製 Phantom 4 pro

2. 三次元点群の作成

三次元点群作成において、オーバーラップ 90%、サイドラップ 60%、対地高度 100m（地上画素寸法 3cm/px 以内：地図情報レベル 500³⁾）を基本とする空中写真の撮影を行った。「正規データ」、「検証データ」双方共に、Structure from motion（以下 SfM）技術を用いる Agisoft Metashape Professional (1.5.2.7838)（以下 Metashape）で三次元点群作成を行った。尚、標定点の有無以外の解析条件は3箇所の現場で同様とした。

表-1 Metashape の主要な解析条件

写真のアライメント	中
高密度クラウド	中
メッシュ構築	サーフェスタ입 : 自由形状(3D)
	ソルダータ : 高密度クラウド
	ポリゴン数 : ポリゴン高
テクスチャ構築	マッピング : 汎用
	ブレンドモード : モザイク(標準)
	テクスチャサイズ : 4096×1

(1) 正規データの作成

正規データの作成を行うため、標定点及び検証点の設置を行った。標定点の設置には GNSS 搭載の対空標識（NETIS 登録番号：KT-180029-A）⁴⁾を用いた測量を実施し、高精度の観測結果を得た。取得した標定点の座標値と標高を、Metashape を用いた SfM 技術による多視点マッピングで三次元点群を作成し、正規データとした。

GNSS 対空標識のデータ取得精度を表-2 に示す。

表-2 GNSS 対空標識 データ取得精度表

標定点計測手法	水平 RMS	高さ RMS
スタティック測位	10 mm	30 mm



図-2 GNSS 対空標識

(2) 検証データの作成

検証データは、標定点を用いずに空中写真の Exchangeable image file format（以下 Exif）情報及び SfM 技術における多視点マッピングで作成した。

Phantom 4 pro の Exif 情報は、GNSS より取得した機体の楕円体高に機体搭載の気圧センサー情報が加味され、「高度」として記録されるが、単独測位であることと、気象条件に影響を受けるため取得精度は低い。

そこで、国土交通省国土地理院が提供する基盤地図情報数値標高モデル⁵⁾（以下、数値標高モデル）を活用し、「高度」を標高（楕円体高—ジオイド高）に変換と補正を行い、精度の向上を図った。その上で Metashape を用いた三次元点群を作成し、その結果を検証データとした。

尚、本稿に係る数値標高モデルの標高点格子間隔は約 5m 四方（緯度 0.2″ × 経度 0.2″）で提供されており、標高精度（標準偏差）は 0.3m 以内⁵⁾と示されている。数値標高モデルと「高度」の関係を図-3 に示す。



図-3 数値標高モデルと「高度」変換前検証データの合成（一例）

3. 取得データの比較

標定点の座標値を根幹とする情報でデータの比較を行った。各データの標定点において、絶対座標での離隔（以下、水平位置誤差と称す）、標高誤差、標定点の点間距離及び標定点を結んだ多角形の内角の誤差の4項目について「正規データ」—「検証データ」の差分を抽出し、平均平方二乗誤差（以下、RMSE）、標準偏差（以下、 σ ）、誤差率に着目し、データの比較を行った。

現場 A は起伏に富む地形で、飛行の対地高度のずれが 10%以上での取得となり「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」の規定（飛行の対地高度のずれは、10%以内）⁶⁾を逸脱し、図-4 で示すように誤差も大きい。よって、現場 A に係るデータを破棄し、以降の検討は現場 B、現場 C について行う。

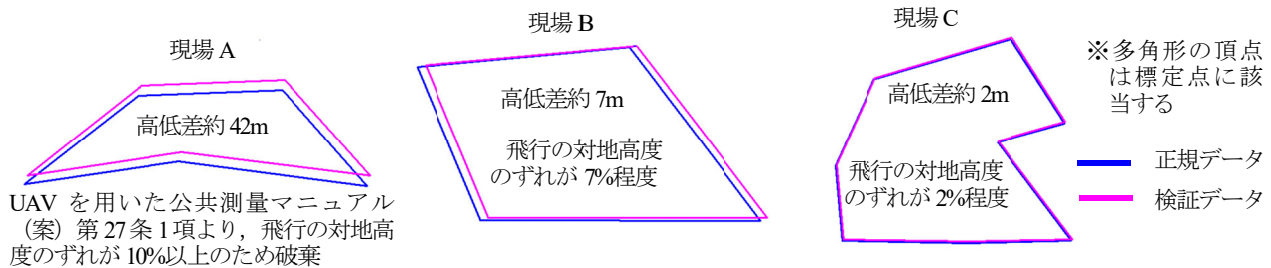


図-4 正規データと検証データの水平位置誤差イメージ図 (誤差 10 倍表示)

(1) 水平位置誤差と標高誤差

正規データと検証データの水平位置誤差と標高誤差を算出した。結果を表-3 に示す。

表-3 標定点の水平位置誤差と標高誤差

現 場		水平位置誤差	標高誤差
B	RMSE	0.728m	0.165m
	σ	0.375m	0.133m
C	RMSE	0.134m	0.202m
	σ	0.045m	0.168m

a) 標定点の水平位置誤差

現場 B は $RMSE=0.728m$ 、 $\sigma=0.375m$ 、現場 C は $RMSE=0.134m$ 、 $\sigma=0.045m$ と現場単位で見ると、誤差の格差が大きい。これは、飛行の対地高度のずれの大きさが顕著に表れた結果と考えられる。

b) 標定点の標高誤差

正規データの標高値はスタティック測位を用い高精度 ($RMS=30mm$) に取得した。検証データは「高度」を数値標高モデルを活用した変換と補正を行い標高値とした。得られた標高値は $\sigma=0.2m$ 以下である。

しかし、変換と補正に活用した数値標高モデルは、前述のとおり $\sigma=0.3m$ 以内⁹⁾であることから、検証データは $\sigma=0.3m$ とする。

(2) 標定点の点間距離誤差と多角形の内角誤差

正規データと検証データで差分抽出を行い、各々の標定点の点間距離の誤差 $RMSE$ と、各々の点間距離の誤差率の平均を算出した。

同様に、標定点を結んだ多角形の内角の誤差 $RMSE$ と、各々の内角誤差の平均を算出した。各々の結果を表-4、表-5 に示す。

表-4 標定点の点間距離誤差

現 場		結 果
B	点間距離の誤差 $RMSE$	0.779m
	点間距離誤差率の平均	0.498%
	σ	0.149m
C	点間距離の誤差 $RMSE$	0.082m
	点間距離誤差率の平均	0.106%
	σ	0.077m

表-5 多角形の内角誤差

現 場		結 果
B	内角の誤差 $RMSE$	$0^{\circ} 5' 39''$
	内角誤差率の平均	0.085%
C	内角の誤差 $RMSE$	$0^{\circ} 6' 12''$
	内角誤差率の平均	0.077%

a) 標定点点間距離の誤差

標定点点間距離の誤差は表-4 のとおりである。

現場 B は $RMSE=0.779m$ で、一見すると大きな誤差に思われるが、これは点間距離が長かったことが原因であり、点間距離誤差率の平均は 0.498% と 1% 未満である。現場 C は $RMSE=0.082m$ で、点間距離誤差率の平均は 0.106% と 1% 未満であることを確認した。

b) 多角形の内角誤差

多角形の内角誤差は表-5 のとおりである。

現場 B、現場 C 共に内角誤差 $RMSE$ は $0^{\circ} 6'$ 前後で、一見すると大きな誤差に思われるが、多角形の内角誤差率の平均は 0.1% 以下であることを確認した。

4. 比較結果の考察

(1) 水平位置誤差

表-3 に示す通り、現場 B は現場 C と比較し、現場単

位で誤差の格差が大きく表れることをみた。

これは、現場 B における飛行の対地高度のずれが 7% であり、「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」の規定範囲⁶⁾の 10%以内に収まってはいるが、上限に迫っていることが原因と考えられる。

本来であれば、誤差は標定点を用いて補正されるが、検証データでは標定点が設置されていないため、誤差の補正が行えない。そのため、飛行の対地高度のずれの大きさが顕著に現れた結果と考えられる。

また、図-4 に示す通り、標定点の水平位置誤差は現場単位では概ね同一方向へ変位していることがわかる。併せて、表-4、表-5 に示す通り、標定点の点間距離誤差率の平均と多角形の内角誤差率の平均は、双方とも微細な差であることから、標定点を結んだ多角形は概ねの相似形を維持していると考えられる。

このことから、標定点を用いない UAV による空中写真を用いた三次元点群の作成において、地図情報レベル 500 (3cm/px 以内)³⁾の撮影を実施した場合、水平位置誤差は $\sigma=0.40\text{m}$ 以内となり、地図情報レベル 1000 (水平位置の $\sigma=0.70\text{m}$ 以内)⁷⁾を満足すると考えられる。

(2) 標高の誤差

表-3 に示す通り、標高については 2 箇所の現場で $\sigma=0.2\text{ m}$ 以内を得たが、UAV が取得した「高度」を数値標高モデルを用いて変換と補正を行っている。よって、検証データの標高精度は数値標高モデルの持つ $\sigma=0.3\text{m}$ と考える。

このことから、標定点を用いない UAV による空中写真を用いた三次元点群の作成において、地図情報レベル 500 (3cm/px 以内)³⁾の撮影を実施し、数値標高モデルを活用した変換と補正を行った場合、標高精度は $\sigma=0.3\text{m}$ となり、地図情報レベル 1000 (標高点の $\sigma=0.33\text{m}$ 以内)⁷⁾を満足すると考えられる。

5. まとめ

本稿では、被災地において標定点を用いずに、安全で迅速な情報取得を可能とする UAV を用いた手法と精度について考察を行った。

その結果、飛行の対地高度のずれを 10%以内、地上画素寸法を 3cm/px 以内とし、かつ、数値標高モデルを用いた標高補正を行えば、標定点を設置することなく、水平精度 $\sigma=0.4\text{m}$ 、標高精度 $\sigma=0.3\text{m}$ 以内の精度で三次元点群を作成できるとの知見を得た。

この精度は地図情報レベル 1000 (水平位置の $\sigma=0.70\text{m}$ 以内、標高点の $\sigma=0.33\text{m}$ 以内)⁷⁾を満足しており、被災地における、地形や土砂流出量及び堆積量等の迅速な概略把握に用いることが可能と考える。

ここまでの結果を踏まえ、より高精度な情報を取得するには、飛行の対地高度を考慮した複数コースでの撮影や、標高差の少ない平坦地を標高補正の基準とする等の工夫が加えることで取得可能と考えられる。

また、後日に標定点の測量を行い、再計算を実施することで正確な三次元点群を作成することも可能である。

今後、更なる精度向上方法の検討を進め、安全で迅速な被災地復旧に、貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 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），第 52 条，第 53 条 pp.21-24，2017.
- 2) 早坂寿人，大野裕幸，大塚力，関谷洋史，瀧繁幸：UAV による空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証，国土地理院時報 2015，No.127，pp.107-116，2015.
- 3) 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），第 22 条 1 項，p.9，2017.
- 4) NETIS(新技術情報提供システム)，<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=KT-180029&TabType=&nt=nt>，入手日付：（入手 2019.4.15）.
- 5) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報数値標高モデルについて，<https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.htm>，入手日付：（入手 2019.4.15）.
- 6) 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），第 27 条 1 項，p.13，2017.
- 7) 国土交通省国土地理院：作業規程の準則，第 80 条，2016.