

U1 ドローン空撮画像を用いた消防訓練塔の3次元モデル構築

3D model development of towers in fire academy from drone aerial images

○田邊諒士¹・松田薫元²・中西慶¹・劉ウェン³・山崎文雄³
Ryoto Tanabe, Tadamoto Matsuda, Kei Nakanishi, Wen Liu, Fumio Yamazaki

Abstract : Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are becoming more useful tools for investigating building damage or leakage of hazardous substances in natural and manmade disasters. In this study, we took aerial videos of towers located in Chiba City's fire academy from UAV. The observation by GPS was also carried out by setting reference targets on the ground. Then a 3D computer model of the site including buildings was made by using SfM (Structure from Motion) technique. Mask processing removed the distortion of the image. By adding ground control points (GCPs) observed by the GPS measurement, distributed uniquely in the 3D model, the accuracy of the 3D model was evaluated comparing with the true length and height.

Keywords : UAV, SfM, 3D model, GCP, GPS, mask processing

1. 背景と目的

近年, UAV(無人航空機, ドローン)とデジカメの低価格化, 性能向上により高画質の低空空撮画像を容易に撮影できるようになった¹⁾. さらに, SfM (Structure from Motion)手法を空撮画像に適用することで, 撮影した建物や地形の詳細な形状とテクスチャをもつ3次元モデルの作成が可能となり, 立ち入り困難な災害現場や地形調査等において有効に利用されている²⁾. しかし, 画像のみで作成した3次元モデルは, 位置情報を持たないので体積や距離を測定できず, 定量的な状況把握が困難である. 本研究では, 3次元モデルに位置情報を付加することで, 災害発生後の建物等の被災状況を定量的に観測することを目的とする.

2. 撮影対象と使用機材

撮影対象として, 千葉市緑区にある千葉市消防学校の訓練棟を選定した. この構造物を2015年12月25日に現地でUAVから空撮を行った. Fig. 1に対象地の位置と撮影の様子, 対象建物を示す.

使用したUAVは, 4回転の小型マルチローターPhantom 2 vision+ (DJI社製)を用いた. 撮影回数は4回で, 飛行高度は地上約80m, 撮影角度は鉛直下方とし, 手動によって空撮を行なった. SfM手法による3次元モデル構築には商用ソフトウェアAgisoft PhotoScan (Version 1.2.3)を使用した. SfMは, 対象物をカメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から, 3次元幾何形状とカメラの位置・姿勢を同時に算出する手法である. また, GPSを測定する標定点として, 白黒のプラスチックタイルを主塔6階部分に2枚, 訓練棟周囲に6枚の計8枚を設置し, 空撮画像に写り込むタイルに

GCP (Ground Control Points)として座標を追加することで, 作成した3次元モデルに位置情報を与えた. これにより, モデルからDTMや長さ, 体積の情報を取得することが可能となる.

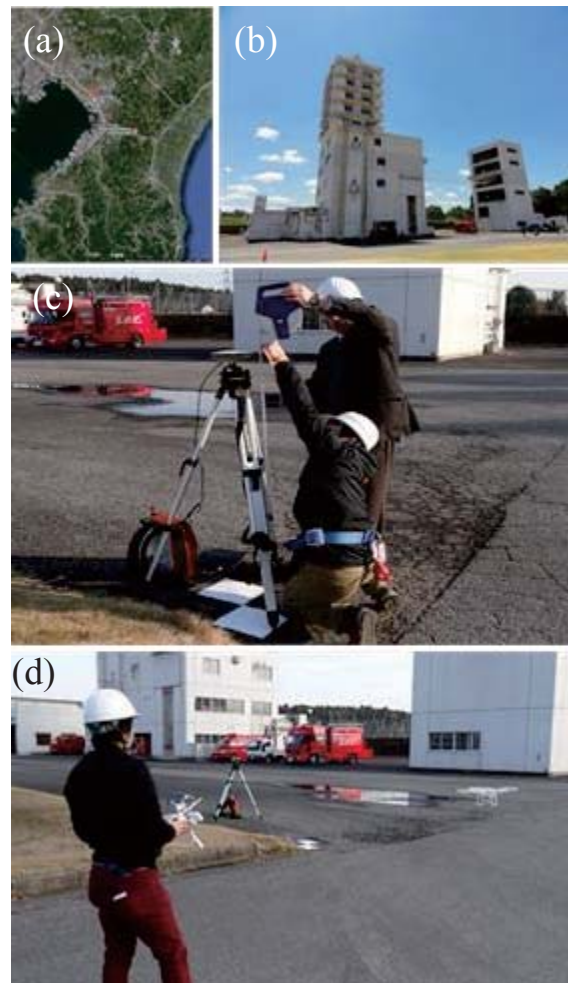


Fig.1 Location of the experiment site (a), training buildings in Chiba City's fire academy (b) selected in this study, and the preparation UAV flight and GPS (c), (d).

¹学生会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻
²非会員 元千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻
³正会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻
(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)
(連絡先 Tel: 043-290-3528, E-mail: acxa2152@chiba-u.jp)

3. 3次元モデル構築時における諸処理

UAV 空撮動画からキャプチャーした画像，GCP として追加する標定点と配置図を Fig. 2 に示す。

空撮画像をそのまま使用して PhotoScan により構築した 3次元モデルは，建物全体の概形は復元できるものの，位置情報にずれが生じ距離の精度に課題があった³⁾。原因として，空撮画像に GCP を設置する過程において元の GPS データとずれが生じたこと，画像から抽出した特徴点に精度の低いものが含まれたこと，使用した画像が画角 100°程度のものであったため，画像の歪み補正がうまくいかないという仮説を立てた。

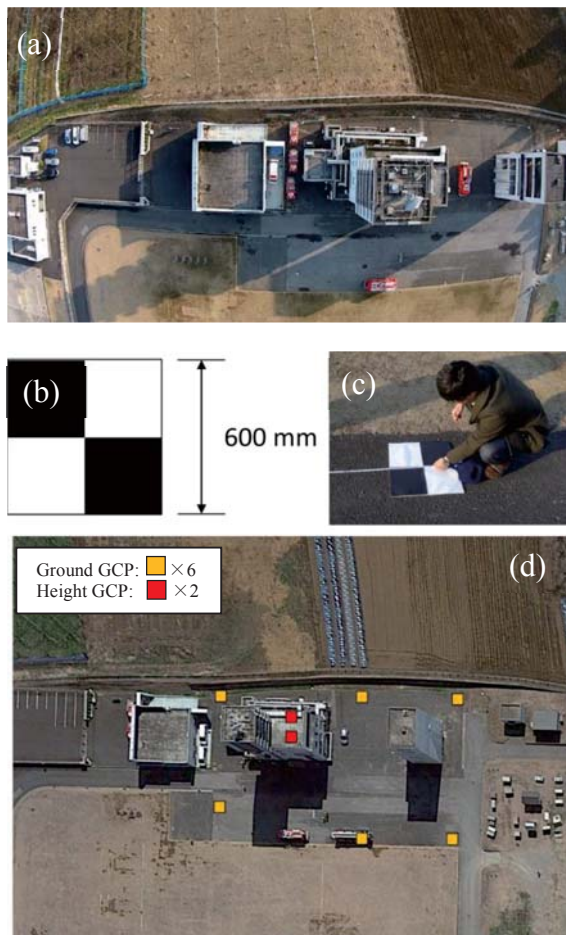


Fig. 2 Captured image by video taken from UAV (a) and shape and layout of the GCP (b),(c),(d).

これらの対策として，画像の mask 処理と不要な特徴点の除去を行うことにより，3次元モデルが持つ位置情報の精度向上を図ろうと考えた(Fig. 3)。

今回の調査に使用した Phantom Vision2+の付属カメラの画角は 85° から 110° であり，広角カメラであるため，取得した画像に mask 処理をすることで画像の歪みを除く必要がある。取得した画像に広角レンズの歪みが発生していると思われる部分に

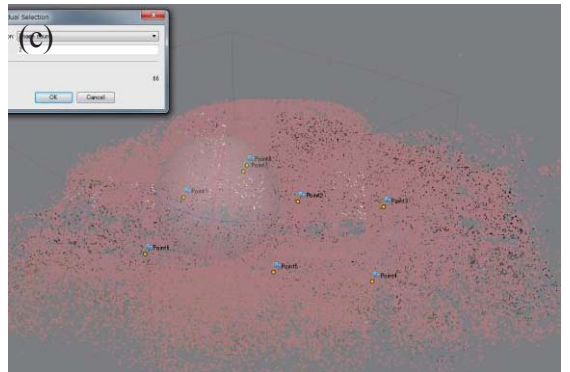
mask 処理を行うことで広角レンズの歪みを除いた。また，3次元モデルの精度向上のため，2枚以下の画像から生成された特徴点を取り除いた。これにより，モデル構築の際に不要な特徴点を計算する必要がなくなるため，通常のモデル構築時間を最短で半分程度にすることができた。



(a)Mask processing of the image.



(b) All of the feature points was generated by the SfM.



(c) Selecting feature points generated by two or less of the image.



(d) Delete the selected feature points

Fig. 3 Processing for building a 3D model.

4. 3次元モデルの構築

Fig. 4 に構築した千葉市消防学校の訓練棟の3次元モデルと SfM によって自動推定されたカメラ姿勢情報を示す。3次元モデル構築には、UAV から取得した4本の動画をそれぞれ2秒間隔でキャプチャーした合計320枚の画像を使用した。

また PhotoScan に測定した GPS 座標を取り込んだ後、標定点が写り込む画像を見つけ、手動で GCP を追加した。標定点を追加する際に PhotoScan 上で作業途中で標定点が自動で推定されるが、各画像間でのピクセル値の誤差を軽減させるために Error (pixel) が 1pixel 以内に収まるように配慮し、大きく外れる画像があれば削除した。生成した3次元モデルは主棟と補助棟ともに欠損することはなく、建物全体の概形を3次元モデル化することができた。しかし、建物表面に凹凸が生じ、壁面の詳細な3次元モデルを構築することはできなかった。この理由は、空撮時の撮影角度が鉛直下方であったことと、建物との衝突を避けるため撮影高度を高く設定したため、壁面の撮影ができず、建物の詳細な形状が画像から得ることができなかったためと考えられる。

UAV 空撮画像を用いた3次元モデルの構築は、災害発生時に迅速に建物の被災状況を確認する際に有効である⁹⁾。もし、3次元モデルの概形の精度向上を求める場合、建物の壁面を地上からデジタルカメラで撮影し作成した3次元モデルと結合することで、モデルの概形の精度を向上させることができる⁹⁾。

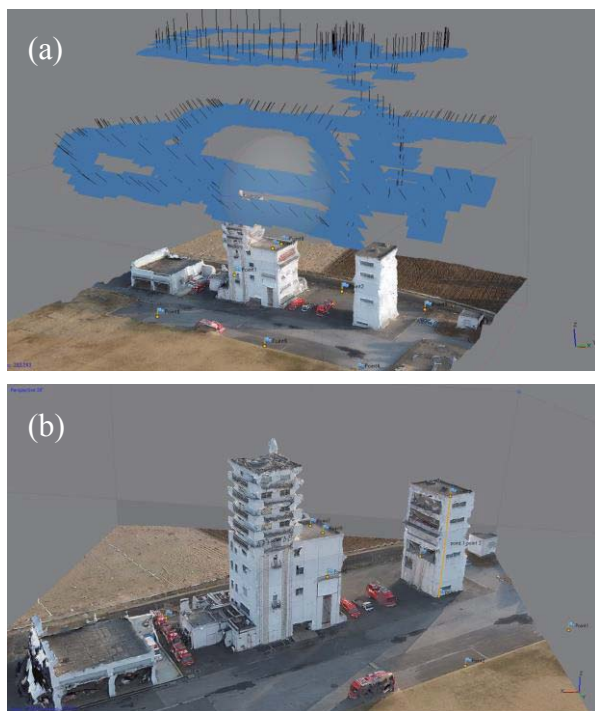


Fig. 4 Estimated camera positions (a) and developed 3D model by SfM (b).

5. 生成した3次元モデルの精度評価

3次元モデル生成時に追加した8ヶ所のGCPをP1-P8と名付け、各点間の距離を計測した。また、測定したGPSの緯度・経度を用いて地点間の線長を求め、これを3次元モデルのものと比較し、結果をTable 1に示す。最大誤差はP4-P5間の0.10mで、すべての地点間誤差は0.1m以内に収まった。

次に、高さについて検討する。訓練等主塔6階に設置した標定点と地上の2点間の距離を測定し、建物図面と比較した。また、標定点以外に主塔と補助塔の屋上部に点を取り、地上からの高さを測定した比較した。比較結果をTable 2に示す。最大誤差は補助棟の屋上部の高さで0.48mとなり、標定点を設置した主棟6階の高さ方向の誤差は0.1mに収まった。これは、GCPの設置位置から距離が離れるほど、高さ方向の誤差が大きくなるためと考えられる。地表水平方向の誤差と比べ、鉛直方向誤差は大きい結果となった。

今回は高さ方向のGCPに関して、標定点を局所的に配置したことによる位置情報の偏りが見られた。また PhotoScan では、GCPを追加する過程において、画像に写る標定点に手動でGCPを合わせる必要があり、元のGPS座標とずれが生じたと考えられる。

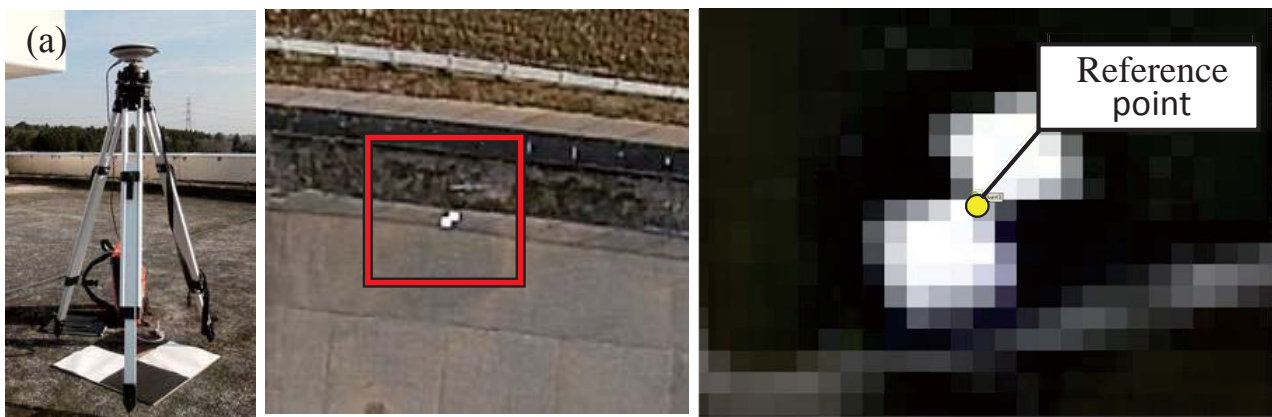
PhotoScan では、GCPの追加時に必ず手動で位置情報の追加を行うので、わずかな誤差を避けることは困難である。過去に標定点としてカラーコーンを使用した際、空撮画像内でカラーコーンの倒れ込みが生じた。また単色であるため標定点の中心を押さえることができなかった。しかし、標定点を捉えやすくする方法として、白黒2色の平面の標定点(Fig. 2(b))を使うことで、倒れこみが生じず撮影高度の高い空撮画像でも中心を捉えることができ、誤差を少なくすることができると考えられる(Fig. 5)。

Table 1. Comparison of horizontal distances (m)

2D Distance	Distance by GPS	3D Model	Difference
P1 - P2	36.62	36.57	-0.05
P2 - P3	25.86	25.86	0.00
P3 - P4	40.34	40.44	0.10
P4 - P5	25.88	25.82	-0.06
P5 - P6	37.84	37.78	-0.06
P6 - P1	34.41	34.4	-0.01

Table 2. Accuracy assessment in the vertical direction

	Drawing	3D Model	Difference
6th floor of the main-tower	17.5	17.40	-0.10
Rooftop of the main-tower	31.0	30.82	-0.18
Rooftop of the sub-tower	21.5	21.02	-0.48



(a) Target of black-and-white plate



(b) Target of red-color cone

Fig. 5 The photos of target objects, aerial images from drone and enlargement of targets with reference points.

5. まとめと今後の展望

本研究では、千葉市消防学校の訓練棟を UAV から空撮した画像と訓練棟の周囲 8 ヶ所で測定した GPS のデータを用いて 3 次元モデルを生成した。

UAV より取得した空撮画像にマスク処理を施した。また SfM によって各空撮画像から生成された不要な特徴点を除くことにより 3 次元モデルの精度向上を果たした。

GCP を与えることで 3 次元モデルに位置情報を付加させ、モデルの水平と鉛直方向の距離を測定し実測値と比較した。水平方向では誤差を 0.1m 以内に収めることができたが、鉛直方向では精度が不十分であった。今回は、高さ方向の GCP を 2 ヶ所しか設置できず配置に偏りが生じたため、GCP から離れた箇所の高度において誤差が増加した。

今後は高さ方向の GCP を均等に配置することにより、鉛直方向の長さ精度を向上させたい。また、GCP の設置数を変えることで長さ精度にどの程度影響するのか検討を行いたい。

参考文献

- 1) 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子: SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究, 防災科学技術研究所研究報告, 第 81 号, 2014.
- 2) 内山庄一郎, 井上公, 鈴木比奈子: 自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術, 防災科学技術研究所研究報告, 第 81 号, 61-98, 2014.
- 3) 田邊諒士, 松田薫元, 傳田真也, 中西慶, リュウ ウェン, 山崎文雄: UAV 空撮画像を用いた 3 次元建物モデルの精度評価, 第 59 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, 75-76, 2015.
- 4) F. Yamazaki, T. Matsuda, S. Denda, W. Liu: Construction of 3D models of buildings damaged by earthquakes using UAV aerial images, Proc. of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering, Sydney, Australia, Paper No. 204, 8p, 2015.
- 5) 松田薫元, 傳田真也, リュウ ウェン, 山崎文雄: UAV 空撮画像を用いた被災建物の 3 次元モデル構築の試み, 第 58 回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, 75-76, 2015.