

UAV空撮画像を用いた構造物の3次元モデル構築

Construction of 3D Models of Structures Using Aerial Images from UAV

○傳田 真也¹, 松田 薫元¹, リュウ ウェン¹, 山崎 文雄¹
 Shinya DENDA¹, Tadamoto MATSUDA¹, Wen LIU¹ and Fumio YAMAZAKI¹

¹千葉大学 大学院工学研究科 都市環境システムコース
 Graduate School of Engineering, Chiba University

If a natural disaster strikes, it is necessary to gather the information on affected areas quickly. But investigation from the ground might be hindered by disruption of road networks. In the recent years, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles or drones) have been used to survey the affected from air. In this paper, 3D models of the affected buildings were created of from the aerial images taken from a UAV for the 2011 Tohoku and the 2015 Nepal earthquakes. Structure from Motion (SfM) technique was conveniently used for this purpose.

Keywords : UAV, Structure from Motion, 3-dimensional model, earthquake, building

1. 研究の背景と目的

日本は地震, 火山噴火, 台風, 竜巻等の自然災害が多発する災害大国である. 2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では, 東北から関東地方にかけて大きな被害が生じた. この地震により発生した巨大津波により, 東京電力福島第一原子力発電所は甚大な被害を受け, 大量の放射性物質が放出する大事故となった. このため状況把握が非常に困難となったが, この時, 状況把握に用いられたのがUAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機) と人工衛星によるリモートセンシングであった.

このように, UAVは有害物質の汚染地域や活火山, ダムや高層ビルといった高所等, 有人での調査・観測が困難な現場での運用が可能である. また, 災害発生時には迅速に状況を把握する必要があるが, UAVは即時性に優れている. 対象物に接近して撮影できるため高解像度の画像を得やすいといった利点からも, 最近非常に注目を集めている.

本研究では, 東北地方太平洋沖地震による被災建物を実際にUAVで撮影し, 得られた空撮画像からSfM (Structure from Motion)という手法によって, 被災建物の3次元モデルの構築を試みた. また2015年4月25日午前11時56分(現地時刻)に発生したネパール地震の被災状況をUAV空撮した動画からも3次元モデルの構築を行った.

2. 撮影対象と現地調査

研究対象としては, 宮城県女川町の江島共済会館を選定した. この建物は, 津波によりもとの位置から10m~16m程度内陸に移動して横倒しになっている. この対象構造物を撮影するため, 2014年11月14日に現地調査を行った. 天候は曇天であった. 図-1に現地調査ルートと江島共済会館の現地写真を示す. なお, 江島共済会館は既に解体されている.

2015年ネパール地震については, カナダの救援隊が

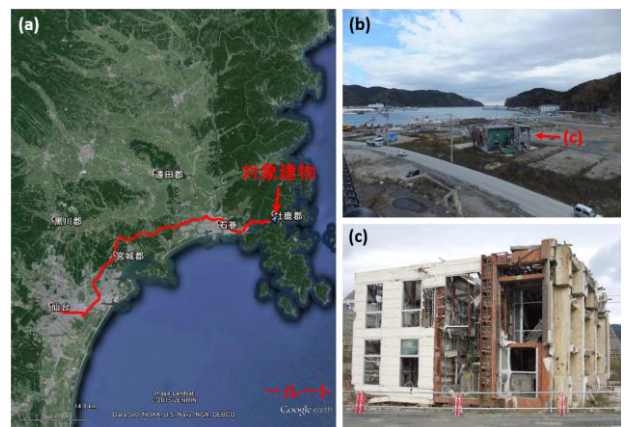


図-1 2014年11月14日に行った現地調査のルート(a)と撮影対象の江島共済会館の現地写真(b-c)

UAVを用いて撮影した空撮動画を使用して3次元モデルの構築を行った.

3. 使用機材及びソフトウェア

使用したUAVは, 4回転翼の小型ヘリコプターであるDJI社製Phantom2 vision+を用いた. 飛行高度は地上約30m, 撮影角度は鉛直下方とし, GPS信号による自動操縦によって空撮を行った. 使用したUAVと取得した画像の例を図-2に示す.

SfMによる3次元モデル構築には, 商用ソフトウェアであるAgisoft PhotoScanを使用した. SfMとは, 複視点の画像を用いて, カメラ姿勢変化と対象物の3次元幾何形状を同時に算出する手法である. 3次元形状取得はコンピュータビジョンにおいて, カメラ姿勢変化はロボットビジョンにおける自己位置推定などに用いられるものである.

以下はSfMでの3次元モデル作成の流れである¹⁾.

- 1) 動画の撮影・取得

- 2) 特徴点の検出
- 3) 特徴点のマッチング
- 4) 特徴点の3次元位置及びカメラ姿勢の推定
- 5) 3次元モデル構築



図-2 使用した UAV 機体 Phantom2 vision+(左)と撮影した対象建物の画像(右)

4. 女川被災建物の3次元モデルの構築

図-3に構築した被災建物の3次元モデルを示す。モデル構築に際して、UAV空撮画像のみの3次元モデルでは、動画を1秒間隔でキャプチャーした画像を100枚、地上視点からのデジタルカメラ撮影による3次元モデル構築では45枚の画像を使用した。UAV空撮画像のみの3次元モデルでは、被災建物全体の概形は3次元モデル化できているが、建物のほぼ真上から撮影しているため、壁面が詳細にはモデル化できなかった。この点に関しては、適切なUAVの飛行経路や高度、カメラ角度についての再検討が必要である。しかし、被災建物全体の概形を簡便に構築することができるため、災害発生時に迅速に建物の被災状況を確認する場合などにおいて、有効に活用できると考えられる²⁾。

地上からのデジタルカメラ撮影による3次元モデル構築では、UAV空撮画像のみを用いたものに比べ、建物壁面の状態は詳細に見て取れるが、建物上面の画像が得られないため、そこがモデル化できていない。また、撮影時にカメラと対象建物間に木や瓦礫等の障害物が存在すると、その影になる部分のモデル化もできないという欠点がある。

次に、3次元モデルの精度向上のために、使用画像にGCP (Ground Control Points : 地上位置参照点) の追加を行った³⁾。GCPを追加することで、3次元モデルの位置精度を向上させることができる。画像上の任意の点に緯度、経度、標高等の座標データを読み込ませることにより、UAV空撮画像から構築した3次元モデルと地上デジタルカメラ画像から構築した3次元モデルの座標系の位置合わせを行い、これらを結合させた(図-4)。

結合させた3次元モデルとUAV空撮画像のみからのモデルを比較すると、UAV画像のみのもものでは壁面に大きな穴が開いてしまっており、壁面の凹凸もはっきりと再現できていない。これに対して、結合させた3次元モデルではその穴が埋まっており、壁面の凹凸もより正確かつ鮮明にできていることから、モデルの精度が向上していることがわかる(図-5)。この結果から、複数の構築した3次元モデルを結合させることによって、建物の概形だけではなく、詳細な形状やテクスチャ情報が求められる場合に対応できるといえる。

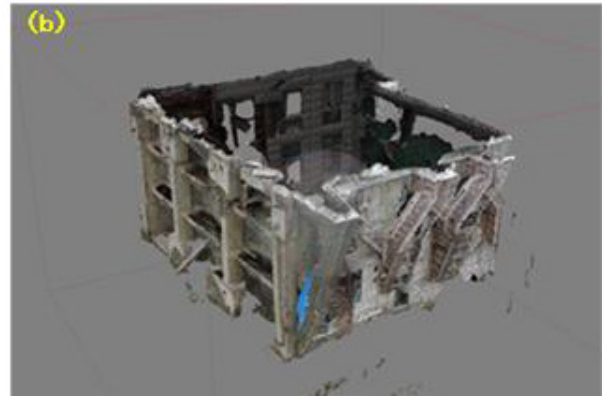


図-3 UAV 空撮画像を用いて構築した 3 次元建物モデル (a)と地上写真を用いて構築したもの(b)

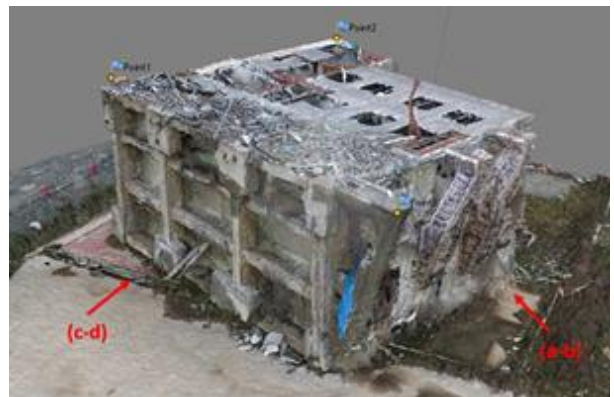


図-4 空撮画像と地上写真を併用して構築した高解像度の 3 次元建物モデル

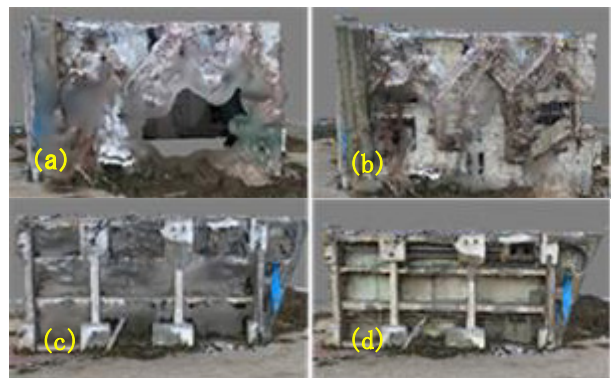


図-5 UAV の空撮画像のみで構築した 3 次元建物モデル (a, c)と、地上写真と空撮画像を両方用いて構築したモデル (b, d)の拡大比較

5. 画像の使用枚数別による3次元モデル比較

次に使用枚数別に構築した3次元モデルを図-6に示す。UAVを用いて空撮した動画を1秒から4秒の間隔ごとにキャプチャーし、その画像から3次元モデル構築を行った。キャプチャー間隔1秒、使用画像枚数100枚のモデルは壁面中心に穴ができてしまっているが、使用画像枚数が減少していくごとに壁面中心の穴が壁面全体に広がっていくことがわかる。これは画像が減少していくことで、特徴点の数も減少してしまうため、3次元モデル化を行う際に特徴点のマッチングが十分に行うことができないのが原因ではないかと考えられる。

この女川の被災建物の3次元モデル構築に関しては、キャプチャー間隔5秒以上、使用画像枚数21枚以下のものでは十分な3次元モデルを構築することはできなかった。

6. ネパール地震の被災状況の3次元モデル構築

2015年4月25日に発生したネパール地震は、ネパールおよびその周辺のインドや中国にも大きな被害をもたらした⁴⁾。この地域はインドプレートとユーラシアプレートの境界であるため地震が起きやすい地域であるが、建造物の多くがレンガ造などの耐震性の低いものである。

また建物が密集していて道路も狭いため、被害が大きくなりやすい。さらに山間部では雪崩や地すべりが発生する可能性がある地域に、多数の集落が存在している。しかし交通・通信集団に乏しいため、災害が発生した場合に状況の把握が困難である。

このような状況下での被害を把握するのに、UAVは簡便で利便性が高い。飛行場が被災した場合でも観測が可能である。また小型で機動性に優れたものも開発されているため、密集地域などにおいても観測が行える。また、衛星画像と違い、回帰日数に縛られないという利点がある。

図-7にカナダ救援隊によるUAV空撮画像から構築したカトマンズ市内の被災建物の3次元モデルを示す。ネパール地震被害の3次元モデルでは、女川被災建物の場合と違い、建物全周の撮影はしておらず、一方向からのみの撮影であるため、画像が得られない部分が多く、建物の片側側面から上面のみの3次元モデルになってしまうものが多かった。また道路部分など特徴点のあまりない部分については、3次元モデルが構築できないといった事例もあった。しかし、モデル化ができていない部分に関しては、かなり詳細な情報が得られるため、災害発生直後の状況把握に大いに活用できるのではないかと考えられる。

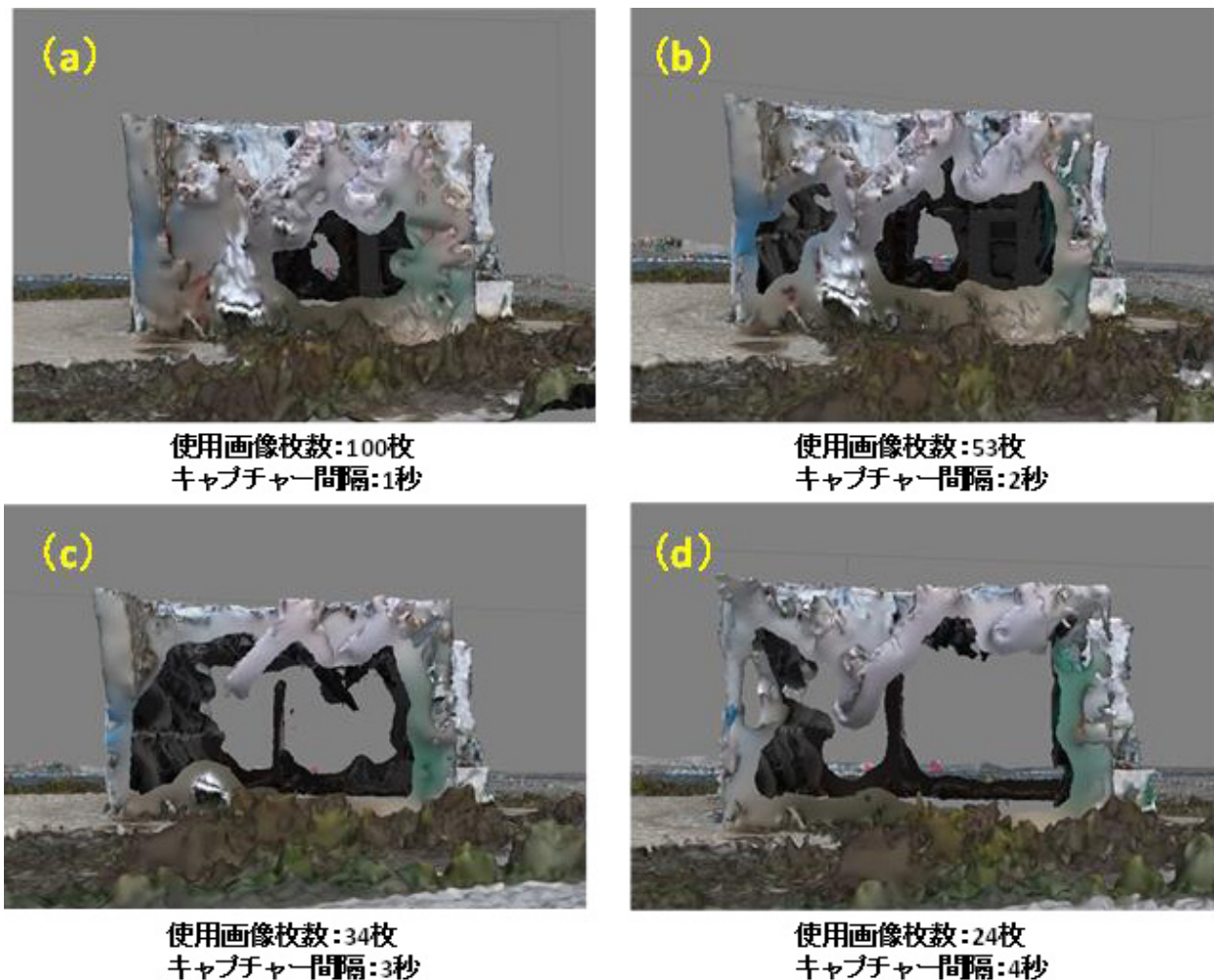


図-6 画像の使用枚数別による3次元モデル比較



図-7 ネパール地震の被災地域の空撮画像（右）とその3次元モデル（左）

7. まとめと今後の展望

本研究では、東北地方太平洋沖地震の被災建物に対して、UAV空撮画像と地上カメラによる撮影画像を用いて、それぞれ3次元モデルの構築を試みた。また、構築した3次元モデルに別の3次元モデルを結合させることによって、モデルの精度向上を試みた。さらにネパール地震の被災状況に関しても、カナダ救援隊が撮影したUAV空撮画像を用いて3次元モデルの構築を行った。UAV空撮とSfM技術の融合によって、災害時に倒壊の危険性がある建物や有害物質の発生している場所などを安全、簡便、迅速に観測及びモデリングすることが可能となる。また、得られた情報をデジタルアーカイブとして保存し、今後の災害対応に役立てることができよう。

今後の課題としては、UAV空撮画像のみによって、高精度の3次元モデルを構築するための飛行・撮影条件の検討が必要である。また1つの建物だけではなく、広域の撮影画像や動画から市街地の3次元モデルを構築し、航空レーザからの数値地表面モデル(DSM)や、災害の被災建物マップなどと比較することを考えている。

参考文献

- 1) D.Crandall, A.Owens, N.Snavely, D.Huttenlocher: Discrete-Continuous Optimization for Large-scale from Motion, 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011.
- 2) 内山庄一郎, 井上 公, 鈴木比奈子: SfMを用いた3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.
- 3) 鈴木太郎, 鈴木真二, 廣川 類, 他: 小型自律飛行ロボットを用いた災害時における情報収集システムの構築, 日本ロボット学会誌, 26(6), pp.553-560, 2008.
- 4) 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター: 民間高分解能衛星画像および「だいち」画像を用いたネパール地震に伴う山間部被害抽出の結果について, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_dg_npl-eq_20150429.htm