

UAV 空撮画像を用いた被災地の 3次元モデル構築による被害把握と評価

宮崎駿太郎¹・劉ウェン²・山崎文雄²

¹非会員 千葉大学 工学部 学生 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)
E-mail:afha5476@chiba-u.jp

²正会員 千葉大学 大学院工学研究院
E-mail:wen.liu@chiba-u.jp,fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

2017年7月の九州北部豪雨により、多くの斜面崩壊が発生した。本研究は、無人航空機(UAV)による空撮画像を用いた多視点ステレオ写真測量(SfM)技術により被災地の3次元(3D)モデル化を行い、被害状況の視覚的把握の有効性評価及び3Dモデル精度の検証を行った。分割して作成した3Dモデルのマージ処理を行うことで3Dモデルの作成品質を上げることが可能となり、広範囲に及ぶ対象地においても細部まで詳細に3Dモデル化することができ、被害状況の視覚的把握の有効性を確認できた。また、GPSを用いて現地測量した検証点の値を真値として、地上基準点(GCP)を与えた3Dモデルを構築した。これから算出した数値表層モデル(DSM)及びオルソ画像から読み取った検証点の座標値と比較すると、水平方向の平均二乗誤差(RMSE)が0.166m、高さ方向が0.011mという高精度の結果が得られた。

Key Words : *The 2017 Northern Kyushu heavy rainfall , Unmanned Aerial Vehicle (UAV) , Structure from Motion (SfM)*

1. はじめに

自然災害発生時において迅速に被害状況を把握するには、人の立ち入りが困難な被災現場から離れた地点で広範囲を観測できるリモートセンシング技術が有効である。近年、即時性の高さに加えて、低廉かつ簡便に空中写真が撮影できるとして、マルチローター方式の無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)が注目を集めている。UAVは、空中写真の撮影手段としてこれまで一般的であった有人の航空機等より低空での飛行による空撮が可能で、高解像度の空中写真が撮影できる。そのため、UAV空撮画像を用いた多視点ステレオ写真測量(Structure from Motion: SfM)技術により3次元(3D)モデルや数値表層モデル(Digital Surface Model: DSM)、オルソ画像を作成し、詳細な地形情報を解析することが可能である。このような解析手法は二次災害の危険性があるような人の立ち入りが困難な災害現場等において有効であり、とくに近年想定外と言われる大規模な自然災害が多発しているわが国においてはその即時性と簡便性から初期調査には非常に活用されている。

本研究では、2017年7月に発生した九州北部豪雨における被災地域を対象にUAV空撮を実施し、SfM技術を

用いて作成された3Dモデルによる被害状況の視覚的把握の有効性評価を行い、さらに作成された3Dモデルの精度検証を行った。

2. 調査地域の概要及び飛行場所の選定

2017年7月5日の昼頃から夜にかけて発生した九州北部豪雨では、福岡県から大分県にかけて観測史上最も記録的な豪雨を観測し、大規模な斜面崩壊や氾濫危険水位を超える洪水により多くの地域で、多大な被害が発生した¹⁾。筆者らの調査チームは、同年11月15日から16日にかけて福岡県と大分県における被害地域の調査を行った。調査地点及び調査ルートを図1に、各調査地の詳細を表1示す。

UAV空撮の実施場所は、被害の程度とUAV飛行に適した周辺環境を考慮して、③地点の日田市小野地域を選択した。この地点では、豪雨により大規模な斜面崩壊が発生し小野川を堰き止め、河川氾濫及び土石流により甚大な被害が生じた。

高精度の3Dモデルを作成するために、今回空撮が行われた範囲内に地上基準点(Ground Control Point: GCP)



図1 現地調査のルートと UAV 空撮の対象地域

表1 調査地概要

No.	調査地	調査日
①	朝倉市 杷木林田	11月15日
②	日田市 渡里	11月16日
③	日田市 小野	11月16日
④	朝倉市 杷木志波	11月15, 16日

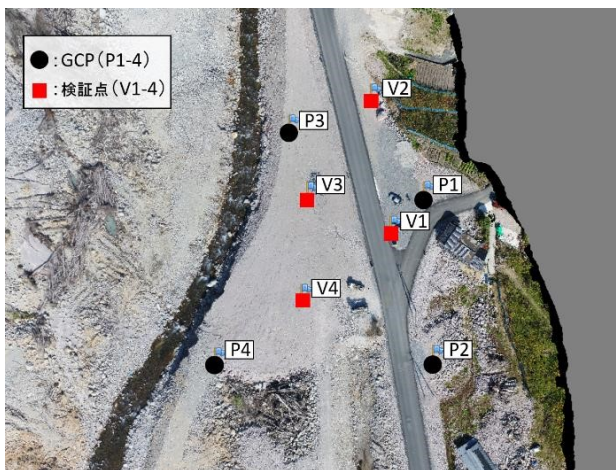


図2 GCP 及び検証点の配置

を4点配置した。さらに、作成された3Dモデルの精度検証用として検証点も4点配置した。各点の配置図を図2に示す。GCP及び検証点の観測は全地球測位システム(Global Positioning System: GPS)にてネットワーク型RTK法による単点観測法を用いた(RTK:リアルタイムキネマティック)。各点でのGPS観測時間は5分間とした。

3. UAVによる空撮と3次元モデルの作成

空撮にはDJI社のPhantom 4 Proを使用した。UAVの諸元について表2に示す。機体の操縦は手動とし、撮影は2秒間隔で行い、210枚の画像を撮影した。GCP及び検証点は比較的平坦な地表面に設置した。地表面付近では

表2 UAV諸元

項目	概要
機体形式	マルチローター方式(4軸)
動力	モーター式(バッテリー駆動)
カメラセンサー	1インチ CMOS
カメラ焦点距離	8.8mm/24mm
画像サイズ	16:9 5472×3078

表3 PCスペック

項目	概要
OS	Windows10
CPU	Intel®Core™i7-5820K
実装メモリ	32.0GB
グラフィックカード	NVIDIA GeForce GTX 970

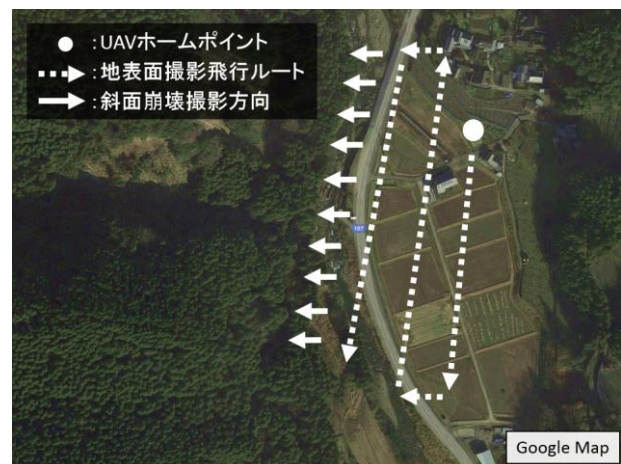


図3 飛行ルート及び撮影方向

カメラ角度直下として撮影を行い、斜面崩壊部分ではカメラ角度斜め下方として撮影した。飛行高度は地表面付近で90-110m前後、斜面崩壊部分で100-140mの範囲で飛行した。概ねの飛行ルートを図3に示す。

3Dモデルの作成にはAgisoft社のPhotoscanを使用した。今回の対象地は範囲が広大であり、特徴点の数が膨大となってしまうため、使用したPCのスペックでは3Dモデル作成品質がMediumを超えると処理落ちしてしまった。3Dモデル作成に使用したPCスペックを表3に示す。

広い対象範囲を一度の処理で3Dモデル化できなかったため、対象地域を地表面と斜面崩壊部分で2分割して3Dモデルを作成し、最後に各3Dモデルを結合する「マージ処理」を行った。その結果、Mediumが限界であった品質をHighに上げることが出来た。作成された3Dモデルを図4(a)に示す。比較のために一度の処理により品質Mediumで作成された3Dモデルを図4(b)に示す。また、品質HighとMediumで作成されたそれぞれの3Dモデルの細部を拡大し、図5に示す。

マージ処理を行うことで斜面崩壊部分の作成範囲が広



(a)



(b)

図4 (a)マージ処理により作成した品質 High の3Dモデルと(b)一度の処理で作成した品質 Medium の3Dモデル



(a) 品質 High



(b) 品質 Medium

図5 被災建物における細部の比較

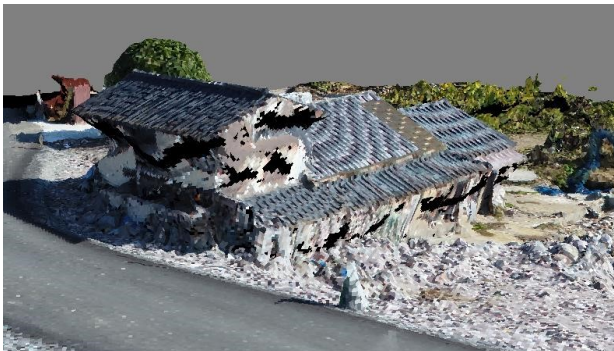


図6 3Dモデル化できなかった建物側面 (品質 High)

くなくなったことが確認でき、さらに細部の輪郭や質感などの表現力も向上した。ただし、地表面付近はカメラ角度直下で撮影したため、図6に示すように立体構造物側面にわずかな歪みや欠損がみられた。なお、3Dモデル作成の最高品質は Ultra High であるが、これについては High と比較して3Dモデルの作成時間が大幅に増加するだけで、細部の品質向上があまり確認できなかった。

4. 3次元モデル精度の検証

3Dモデルの精度を検証するために、現地でのGPS実測値を真値とし、GCPを追加した3Dモデルから読み取

った検証点座標値との差分を算出し比較を行う。3Dモデル内の検証点座標値は、図7に示す3Dモデルから算出されたDSM及びオルソ画像から読み取った。

GCP追加前後及びGCP追加数による精度の変化を表4と図8にまとめた。GCP追加数の変化について調べる際は、作成時間の短縮のため地表面のみの3Dモデルを対象として行った。各3Dモデルの作成品質は High である。GCP追加前後では水平精度と高さ精度ともに大きく向上した(図8①と②)。とくにGCP追加前では高さ方向の誤差が非常に大きかった。これはUAV飛行開始地点からの機体高度で計算されている可能性が高い。GCP追加数が4点の場合では、3Dモデルに斜面崩壊部分を追加すると高さ精度が向上する結果を得た(図8(b)②、③)。これは、地表面のGCPによりUAVの撮影画像が本来得ていた位置情報が補正され、斜面崩壊部分とともに高さ情報として追加されたためだと考えられる。また、GCPが3点の場合、P1及びP4を除いた場合に水平精度が下がる結果となったが(図8(a)④と⑦)、高さ精度についてはその変動量は最大でも2.1mmであり極めて微小である(図8(b)④-⑦)。これについてはGCP及び検証点の配置の関係や、GPS計測誤差、3Dモデル作成で生じた誤差等、様々な要因が考えられるが、明確には分かっていない。現時点での結果としては、GCPが3点あればある程度の精度が確保でき、点が増えれば

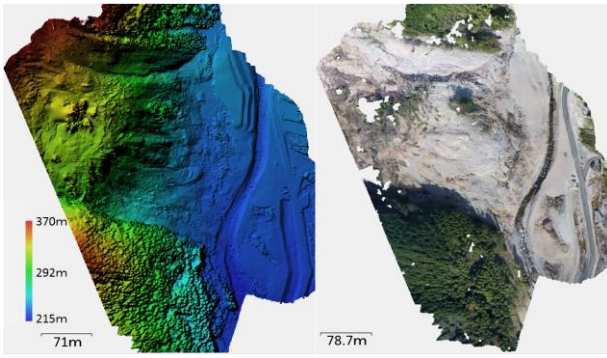
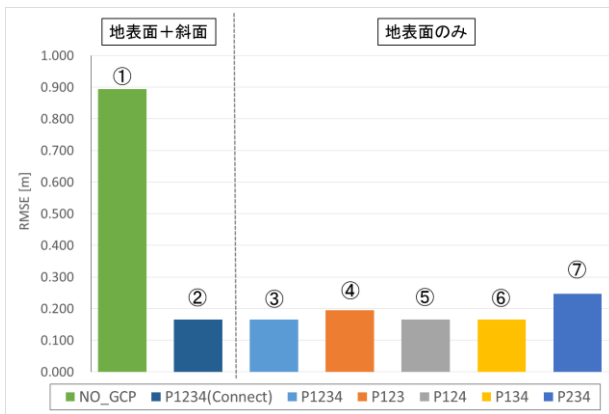


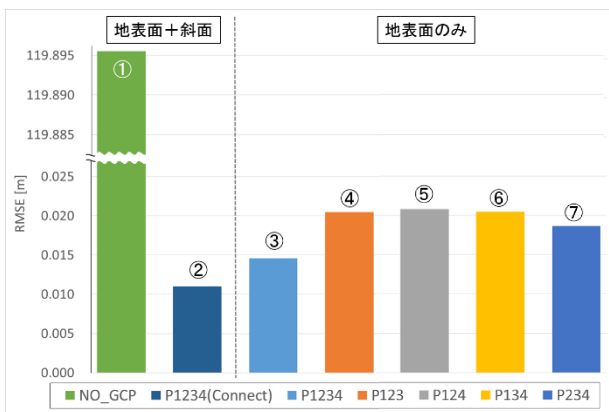
図7 3Dモデルから出力したDSM(左)及びオルソ画像(右)

表4 追加GCP別RMSE値

追加したGCP		RMSE [m]	
		水平方向	高さ方向
1,2,3,4 (Connect) 地表面+斜面		0.1655	0.0110
地表面のみ	1,2,3,4	0.1655	0.0146
	1,2,3	0.1950	0.0205
	1,2,4	0.1655	0.0208
	1,3,4	0.1655	0.0205
	2,3,4	0.2476	0.0187



(a) 水平方向



(b) 垂直方向

図8 追加したGCPによるRMSE値の変化

その精度はより向上することが分かった。今回の検証ではGCPが4点かつ地表面と斜面崩壊を結合した3Dモデル(図8②)の時に最も精度が高く、そのRSME値は水

平方方向0.166m、高さ方向0.011mであった。

前章と同様に3Dモデル作成品質Ultra Highの精度についても検討したが、水平精度に変化は見られず、高さ精度に関しては誤差が2mm増加した。これは3Dモデル作成の際に生じた誤差の範囲内であると考えられるが、Ultra Highによる大幅な精度向上の結果は得られなかった。

5. まとめと考察

低空飛行が可能なUAVを利用した空撮画像から作成した3Dモデルは細部まで詳細に再現することができ、3Dモデルを動かして様々な視点から被害状況の観測が可能である。対象範囲が広範囲である場合でも、マージ処理により3Dモデルの作成範囲や品質を高めることが出来、高高度の航空写真等と比較しても視覚的把握が有効と考えられる。ただ、カメラ角度直下で撮影した範囲は、建物側面を正確に3Dモデル化することが出来なかったため、立体的な対象地では斜め撮影画像を加えることが必要であると考えられる。

3Dモデルの精度に関しては、マージ処理で作成しGCPが4点追加された3Dモデルで最も高かった。今回の検証結果について先行研究と精度の比較を行うと、小花和ら²⁾ではUAV-SfM測量精度は10cm以内、早坂ら³⁾は水平方向は約4-5cm、高さ方向は約8-12cm、上治・山川⁴⁾では最大9cmの誤差が生じたという結果を発表している。測量手法や対象地の相違から、単純比較はできないが、ほぼ同等の結果を得ることが出来たといえる。とくに高さ方向に関して非常に良い精度が得られたが、今回の対象地では平坦な場所にGCP及び検証点を配置したため、高低差のある地点を範囲に含め改めて検証する必要があると考える。また、3Dモデルの作成品質を最高上限Ultra Highに設定しても大幅な品質、精度の向上は確認できず、3Dモデル作成時間等を考慮すると品質は「High」で十分であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局：平成29年7月九州北部豪雨に関する情報
http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai_joho/H29hokubugouu.html
- 2) 小花和宏之, 早川祐弼, 齋藤仁, ゴメス クリストファー：UAV-SfM手法と地上レーザ測量により得られたDSMの比較, 写真測量とリモートセンシング53(2), 67-74, 2014.
- 3) 早坂寿人, 大野裕幸, 大塚力, 関谷洋史, 瀧繁幸：UAVによる空中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, No. 127, 107-116, 2015.
- 4) 上治雄介, 山川陽祐：UAVによる空中写真測量技術を用いた河床形状測量における精度検証—東河内沢本川における事例—, 筑波大農林技研, 第5号, 9-20, 2017.