

## 緊急時における観測機器設置地点の選定を目的とした UAV 飛行計画効率化検証

イームズロボティクス株式会社 錢谷彰  
工学院大学 羽田靖史, 横山龍一

国際航業株式会社 ○北原遼太, 島田徹, 永田直己, 皆川淳, 金井啓通, 金崎裕之, 高野敦

## 1. はじめに

本稿では、観測機器の設置可能領域算出の基となる三次元データの効率的な取得を目的に、事前に地上基準点(以下 GCP)を設置できない立ち入り制限区域内の地形情報取得を想定して、GCP 補正無しの RTK (Real Time Kinematic) による SfM (Structure from Motion) 解析結果と、GCP 補正有りの SfM 解析結果、スタティック測量 GCP 座標を比較することで、GCP 補正無しの地形データの有効性を検証した。

また、異なるサイドラップ率(以下 SL) SfM 解析結果を、上記同様の比較を行うことで、低 SL 地形データの有効性も併せて検証した(オーバーラップ率は 96%一律での比較)。

火山噴火時には、噴出物の堆積により、地形及び流出特性が変化し、少ない雨量でも土石流が発生しやすくなる。噴火時には火口周辺は立ち入り制限区域内となるため、火口近傍を源頭部にもつ溪流は、遠隔からの迅速な降灰状況把握が求められる。遠隔地からの確認手法として、無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle, 以下 UAV)により観測機器を設置することが期待される(皆川ほか, 2021)。

永谷ほか(2019)では、UAV 空中写真の SfM より作成した 3 次元データの地形情報や、地表植生の有無を示す色情報に基に、観測カメラの設置可能領域の算出手法を報告している。同報告では、立入制限区域外から迅速に降灰・土砂移動状況を確認する手法として、制限区域内にカメラ等の観測機器を運搬する方法も検討されている。

この手法を用いるためには①地形再現性の良い 3 次元データと、②3 次元データ作成に必要な空中写真(UAV 飛行)の効率的な取得が課題と言える。①②に対して、UAV 測量の特性を以下に記す。

①UAV 測量による SfM 解析は通常、地形データの各点座標、面全体の傾きを GCP による位置補正を行い制御することによって、地形形状を再現する。GCP を設置しない場合、点座標は UAV 位置情報取得精度に依存し、作成した地形データの面全体の傾き、地形形状の再現性を損なう場合がある。ここ数年では PPK (Post Processing Kinematic) や RTK 機能を搭載した UAV によって、近くの電子基準点との相対測位を行い、より精度の良い位置情報の取得が可能となっている。

②UAV 飛行時間は、UAV 飛行経路数にあたる SL と、写真撮影間隔にあたるオーバーラップ率の内、SL に大きく依存する。

筆者らは GCP による位置補正を行わない低 SL 地形データの検証を行い、観測機器の設置可能領域算出用の三次元データに活用可能であると結論付けた。



図 1: SL60GCP補正無しによるオルソ画像

## 2. 実施した場所と飛行計画

本研究は、群馬県と長野県の県境に位置する浅間山の東側に位置する小浅間山と、浅間山から東北東に位置する片蓋川砂防堰堤施工現場で RTK 機能を搭載した UAV による空中写真撮影を行った。撮影範囲は小浅間山で 0.21km<sup>2</sup>、片蓋川の施工現場では 0.26km<sup>2</sup> 程度である。UAV は、イームズロボティクス社製 UAV LAB6106FL を使用した。

UAV 飛行経路は空中写真の SL が 30, 60% で実施した。飛行時間等は以下の表 1, 表 2 に示す。

表 1: サイドラップ率ごとの飛行時間

	小浅間山			片蓋川		
	飛行時間	飛行回数	解析時間	飛行時間	飛行回数	解析時間
SL30%	8min	1 回	2h20m	13min	1 回	4h31m
SL60%	17min	2 回	5h50m	16min	1 回	7h32m

※解析時間は GCP 補正無しの時間を示し、補正有りは各 20~40min 程度短い。

表 2: 空撮諸元

対地高度	100m
地上解像度	2.4cm
撮影間隔	1 枚/s
速度	5m/s

## 3. 検証手法

SfM 解析には、Pix4D 社製ソフトウェア Pix4Dmapper を使用し、オルソ画像と DSM (Digital Surface Model) を作成した。SfM 解析は、以下の通り、ソフトウェア内処理において、SL30, 60% で GCP による位置補正有無を区別した 4 つの条件でオルソ画像と DSM を作成した。なお GCP の位置座標は、スタティック測量を行い算出した。作成したオルソ画像や DSM, スタティック測量による GCP の取扱いについては、ESRI 社製ソフトウェア ArcGIS を使用した。

SfM 解析結果の検証は以下の手法 I ~ III により行った。

- I. それぞれ得られたオルソ画像内の GCP 位置をプロットし、その点に対応する DSM 座標(緯度・経度・標高値)と、スタティック測量によって得られた GCP 座標を比較(地形データの地点情報精度確認)
- II. I の結果から、各 GCP 間の基線、勾配を作成し、基準点間を比較(地形データの面情報精度確認)
- III. II の結果と各 DSM から基線間の標高断面を作成し地形再現性を比較(地形再現性確認)

#### 4. 結果 上記の手法により作成した片蓋川での結果を以下に示す。

##### I. 地形データの地点情報精度比較

表 3 はスタティック測量によって得られた GCP 座標とオルソ画像上の GCP 1003 の座標の差分値をまとめたものである。表 3 の X 正值は、スタティック測量よりも西側に作成したオルソ画像上の GCP がきており、Y 正值は南に、Z 正值は、スタティック測量の標高値よりも低い値を示している。なお GCP 1003 はスタティック測量と、各 SfM 解析条件の GCP 位置座標の差分が一番大きかった箇所である。点としての位置座標の誤差は、GCP 補正無し SL30%で水平 2m、鉛直 8m 程度であり、GCP 補正を行った SL30, 60%ではともに水平、鉛直方向で数 cm 以内に収まる。

表 3 : GCP 1003での差分

スタティック差分	1003		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
SL30 GCP補正無	0.01	-2.31	-8.41
SL60 GCP補正無	-1.21	-1.34	-10.32
SL30 GCP補正有	0.03	-0.01	-0.05
SL60 GCP補正有	0.01	-0.02	-0.06

##### II. 地形データの面情報精度比較

表 4 は GCP 補正無し SL30%と GCP 補正有り SL60%の GCP1001-1002, 1001-1003, 1002-1004, 1003-1004 間の基線 (m)、標高差 (m)、勾配 (度) を整理し、スタティックとの差分を表す。GCP 補正無し SL30%の基線差分は 1m、標高差分 3m 程度、勾配差分 1 度未満であり、GCP 補正有りの結果は基線差分、標高差分数 cm 以内、勾配差分 0.01 度程度であった。GCP 補正無し SL30%基線勾配の誤差は、最大で 0.70 度 (水平距離 1m あたりの垂直距離は 0.01m) であり、作成した DSM 面全体の傾斜傾向は概ね一致する。

表 4 : GCP基線長等スタティック測量差分

スタティック	基線 [m]	標高差 [m]	勾配 (度)	1003		
				基線差分 (m)	標高差分 (m)	勾配差分 (度)
1001-1002	236.20	0.00	0.00	-	-	-
1001-1003	295.30	25.64	4.96	-	-	-
1002-1004	258.38	27.10	5.99	-	-	-
1003-1004	261.27	11.70	2.56	-	-	-
SL30GCP補正無	基線 [m]	標高差 [m]	勾配 (度)	基線差分 (m)	標高差分 (m)	勾配差分 (度)
1001-1002	236.86	0.61	0.15	0.66	0.61	0.15
1001-1003	296.47	22.77	4.39	1.17	2.87	0.57
1002-1004	259.52	24.12	5.31	1.13	2.98	0.68
1003-1004	262.26	8.55	1.87	0.99	3.15	0.70
SL60GCP補正有	基線 [m]	標高差 [m]	勾配 (度)	基線差分 (m)	標高差分 (m)	勾配差分 (度)
1001-1002	236.22	0.05	0.01	0.01	0.05	0.01
1001-1003	295.32	25.62	4.96	0.02	0.02	0.00
1002-1004	258.37	27.06	5.98	0.01	0.04	0.01
1003-1004	261.31	11.67	2.56	0.04	0.03	0.01

##### III. 地形再現性比較

横山ほか (2021) により、片蓋川の観測機器の設置可能領域算出が行われ (図 1, 図 2), この領域は GCP1001-1002 間基線上に位置する。SfM 解析 4 条件のこの基線間標高断面結果を図 2 に示す (水平距離 0.25cm ピッチ作成)。上段には 4 条件の標高断面を示し、下段には GCP 補正有り SL60%と補正無し SL30%の標高断面差分と GCP 補正有り SL30, 60%の標高断面差分を示す。GCP 補正有り SL60%と補正無し SL30%の標高断面差分は、基線間のある X 値の標高差分値と、その X 値前後の標高差分値の関係をみてみると、GCP1001 から 1002 にかけて差分値 5.5~4.7m を連続的に遷移していく (区間二)。これは補正無し SL30%の断面標高が GCP 補正有り SL60%のより相対的に 5.5~4.7m 高いことを意味する。差分値が一部不連続な部分 (破線部) は、DSM の地形形状変化点と一致する。GCP 補正有り SL30, 60%の標高断面差分はほぼ認められない。

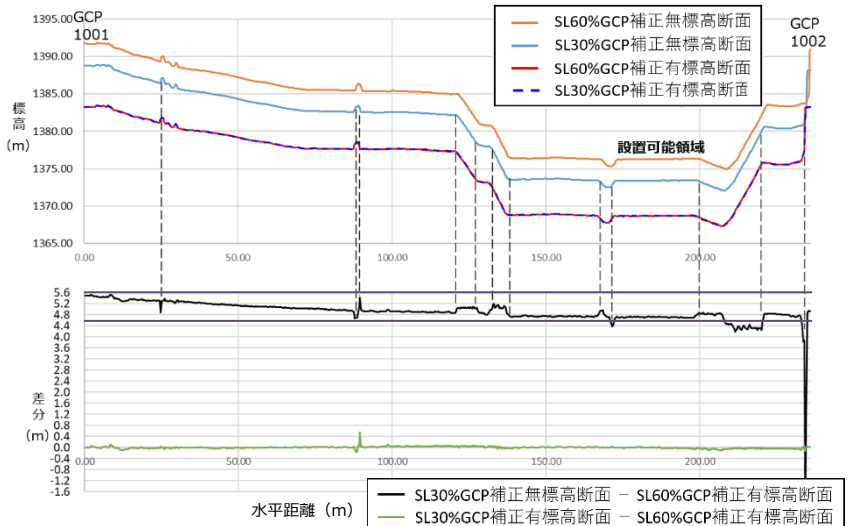


図 2 : GCP1001-1002基線間標高断面差分

#### 5. 考察

I より、GCP 補正を行わずに作成した DSM の任意の点 (X, Y, Z) は m 単位での地点情報の誤差が発生するが、II より DSM 全体での傾斜傾向は再現していると考えられる。また III で、標高断面差分値は均一的で、不連続点は地形形状変化点と一致していることから、不連続部分で、地形再現が行えていないというのではなく、I の地形形状変化点の X, Y 値の誤差が現れていると考えられ、DSM 全体傾向と地形再現の観点から、観測機器の設置可能領域算出を行うための三次元データは、GCP による位置合わせ無しの RTK の取得でも可能であり、SL30%での作成でも行えると考えられる。

##### 【謝辞】

本研究は、河川砂防技術研究開発地域課題分野委託からの支援により実施できた。また、利根川水系砂防事務所には、現地試験実施のために関係機関と調整をして頂き、ここに厚く御礼申し上げます。

##### 【参考文献】

- 永谷ほか, “飛行ロボットで運搬する観測カメラの設置点計画と設置試験”, 第 19 回建設ロボットシンポジウム, p.14, 2019.
- 横山ほか, “地表性状と見通しを考慮したドローンを用いたセンサ設置位置の検討”, 第 26 回ロボティクスシンポジウム講演論文集, 2B1, 2021
- 皆川ほか, “火山噴火時を想定した規制区域内の降灰厚計測デバイスの開発”, 本研究発表回