

雪崩を想定した UAV を用いた三次元計測精度の調査

国立研究開発法人土木研究所 雪崩・地すべり研究センター ○奥山悠木, 渡辺伸一, 判田乾一

1. はじめに

雪崩災害発生時の現地調査では、発生区までの踏査は非常に労力と危険を伴う。一方、UAV を活用することで安全かつ迅速に全体状況を把握でき、さらに複数の写真を合成する SfM (Structure from Motion) やレーザ計測により 3 次元点群データを作成することで雪崩の発生規模や流下距離等の諸元の計測が可能となる。

しかし、SfM で作成した点群データの位置座標には最大で数十 m 単位の大きな誤差が生じる場合があることが指摘されており (例えば、青木・米, 2020), 2 時期の差分解析を行う場合などに大きな問題となる。また、雪崩現場特有の問題として、一面が色調変化に乏しい雪面である場合に SfM 処理が失敗し点群データに欠損が生じる場合がある。

本報告では、雪崩現場を想定した積雪環境で UAV による 3 次元計測を行い、以下の事項について精度を検証した結果を示す。

- ① SfM およびレーザ計測による精度の違い
- ② 標定点の数・配置による精度の違い
- ③ 天候・露出設定による欠損率の違い

2. 調査方法

実際の雪崩現場では発生域に入っでの現地作業が困難なため、地上作業が可能な現場として新潟県上越市の裸地斜面を使用し、積雪期に調査を行った。計測対象範囲は長さ約 430m, 幅約 110m, 高低差約 50m, 傾斜部の平均勾配 9° である。図-1 に示す位置に地上基準点 (標定点および検証点) を設置した。基準点の配置は、標定点 1 が UAV 離陸地点、標定点 2~5 に囲まれた範囲が雪崩発生域を想定したものである。各基準点の位置座標は可搬型の RTK-GNSS 測量機により計測した。

天候および露出設定の影響を検討するため、晴れとくもり、露出通常と露出補正+3.0 の設定でそれぞれ UAV 写真撮影を行った。計測手法の比較のため、同範囲で UAV レーザ計測を行った。使用機材は、写真用 UAV に DJI Phantom 4 Pro V2.0, レーザ用 UAV に Air Ray X, レーザスキャナーに RIEGL VUX-1, SfM ソフトウェアに Agisoft Metashape を用いた。SfM 処理において、位置座標を入力する標定点の数を 0~6 個に変えてそれぞれ点群生成を行った。各ケースの条件を表-1 に示す。

各ケースにおいて、検証点 1~4 についてモデル上の

位置座標と実測の座標値との誤差を算出し、水平位置および標高の二乗平均平方根誤差 (RMSE) を整理した。また、SfM の 6 ケースについて、点群欠損率 (対象範囲のうち 1m<sup>2</sup> あたりの点密度が 4 点に満たない面積の割合) を整理した。

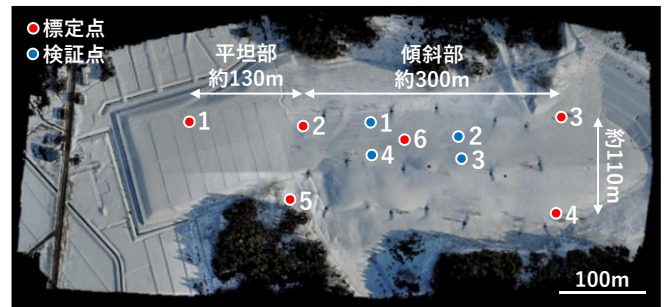


図-1 対象地における地上基準点の配置

3. 検証結果

各ケースの精度検証結果を表-1 に示す。RMSE は、SfM の No. 1~4 の中で No. 4 が水平位置 0.11m, 標高 0.51m でいずれも最小, No. 2 が水平位置 21.61m で最大, 標高では No. 1 が 80.67m で最大であった。レーザ計測では最大でも No. 7 の水平位置 0.03, 標高 0.09 であった。欠損率は、No. 1~4, No. 5, No. 6 の中では No. 1~4 と No. 5 はそれぞれ 7.4% と 5.1% と大きな差はなく, No. 6 が 51.0% で最大であった。

表-1 ケース別精度検証結果

| No. | 天候  | 計測方法            | 使用する標定点   | 検証点1~4 RMSE(m) |       | 欠損率   |       |
|-----|-----|-----------------|-----------|----------------|-------|-------|-------|
|     |     |                 |           | 水平             | 標高    |       |       |
| 1   | 晴れ  | 写真計測 (露出通常)     | なし        | 水平             | 1.31  | 7.4%  |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 80.67 |       |       |
|     |     |                 |           | 標定点 1          | 水平    |       | 21.61 |
|     |     |                 |           | 標高             | 41.36 |       |       |
| 3   | 晴れ  | 写真計測 (露出通常)     | 標定点 1,2,5 | 水平             | 0.48  | 7.4%  |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 10.56 |       |       |
| 4   | 晴れ  | 写真計測 (露出通常)     | 標定点 1~6   | 水平             | 0.11  | 7.4%  |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 0.51  |       |       |
| 5   | 晴れ  | 写真計測 (露出補正+3.0) | 標定点 1~6   | 水平             | 0.24  | 5.1%  |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 0.43  |       |       |
| 6   | くもり | 写真計測 (露出通常)     | 標定点 1~6   | 水平             | 0.21  | 51.0% |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 0.80  |       |       |
| 7   | くもり | レーザ計測           | なし        | 水平             | 0.03  | -     |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 0.09  |       |       |
| 8   | くもり | レーザ計測           | 標定点 1~6   | 水平             | 0.01  | -     |       |
|     |     |                 |           | 標高             | 0.02  |       |       |

### 3.1 SfM およびレーザ計測による精度の違い

SfM の No. 1 と No. 4 を比較すると、標定点を用いない No. 1 で RMSE が水平位置 1.31m、標高 80.67m と誤差が大きくなったが、標定点を 6 点使用した No. 4 では水平位置 0.11m、標高 0.51m まで誤差が小さくなった。一方、レーザ計測の No. 7 と No. 8 を比較すると、標定点を用いない No. 7 で水平位置 0.03m、標高 0.09m、標定点を 6 点使用した No. 8 で水平位置 0.01m、標高 0.02m となり、SfM と比較して精度が高い結果となった。

### 3.2 標定点の数・配置による精度の違い

標定点の数・配置を変えた No. 1~4 を比較すると、標定点を設置しない No. 1 では、RMSE は水平位置 1.31m、標高 80.67m であるのに対し、標定点を UAV 離陸地点付近に 1 点設置した No. 2 では水平位置 21.61m、標高 41.36m となり、標高誤差は 1/2 程度まで小さくなったものの、水平位置誤差は標定点なしの場合の約 16 倍とむしろ大きくなる結果となった。これは、今回使用した SfM ソフトウェアの処理の特性上、座標を入力した 1 点を中心に点群全体が過度に補正され歪んでしまうことにより、標定点から離れた範囲では標定点を設置しない場合よりも精度が低下したものと考えられる。

一方、標定点を UAV 離陸地点付近に 3 点設置した No. 3 では、誤差が水平位置 0.48m、標高 10.56m となった。さらに、標定点を 6 点設置した No. 4 は 3.1 で述べた通り、No. 1~4 の中で最も誤差が小さい結果となった。

以上より、現場状況から可能な場合には、No. 4 のように計測範囲全域に標定点を配置することで誤差を最小限に抑えることができるが、それが困難な場合には、次善の策として No. 3 のように UAV 離陸地点付近に 3 点程度の標定点を設置することで誤差が水平位置で 1/3 程度、標高で 1/8 程度まで小さくなる可能性がある。

### 3.3 天候・露出設定による欠損率の違い

天候および露出設定を変えて撮影した写真の例を図-2 に示す。天候の影響について No. 1~4 と No. 6 を比較すると、晴れの No. 1~4 では点群欠損率が 7.4% であるのに対し、くもりの No. 6 では 51.0% と欠損率が約 7 倍に増加する結果となった。これは、図-2(2) のようにくもりの条件では雪面の陰影が少なくなり、SfM ソフトウェアの処理において複数写真の結合に必要な特徴点が抽出できなかったことによるものと考えられる。一方、図-2(1) のように晴れの条件においては雪面に陰影が生じており、特徴点として使用できる画素が多かったものと考えられる。

カメラの露出設定の影響について No. 1~4 と No. 5 を

比較すると、通常設定の No. 1~4 で欠損率 7.4% に対し、露出過多に設定した No. 5 で 5.1% と、大きな差は生じない結果となった。これは、No. 5 で設定した露出過多の条件でも大幅な白飛びは発生しておらず、特徴点の抽出に必要な陰影情報がほとんど失われていなかったことによるものと考えられる。

今回の検証では、露出設定の影響よりも天候の違いによる雪面の陰影の影響が大きい結果となった。雪崩現場を撮影する際は、可能であれば、晴れの日に陰影が出やすい条件で撮影する方が、点群生成密度を向上させることができると考えられる。

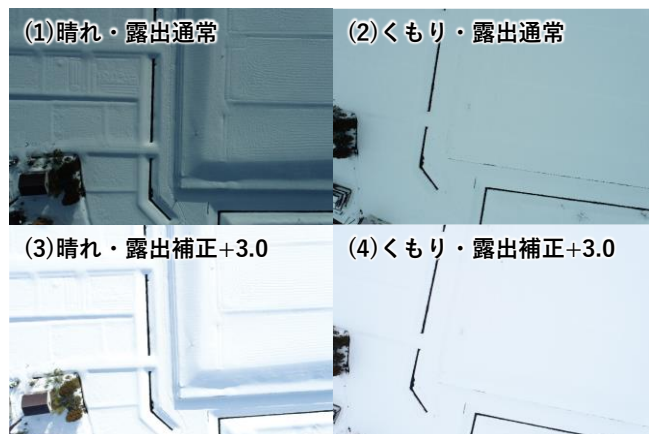


図-2 撮影条件ごとの写真の例

(1) No. 1~4, (2) No. 6, (3) No. 5, (4) 表-1 対象外

## 4. まとめ

雪崩現場を想定した積雪環境で UAV による 3 次元計測の精度を検証したところ、以下の結果が得られた。

- ① 標定点なしの場合、SfM では水平位置 1m 程度、標高 80m 程度の大きな誤差が生じたが、レーザ計測では水平位置 0.03m、標高 0.09m の誤差であった。
- ② 標定点を計測範囲全域に配置することで誤差を最小化できるが、標定点 3 点でもある程度誤差を低減できる可能性がある。
- ③ 今回の検証では、露出設定よりも天候による雪面の陰影の違いが点群欠損率に大きく影響する結果となった。

UAV による雪崩現場の 3 次元計測を行う際は、撮影環境と標定点の配置に適切に配慮することで計測成果の精度を確保することが可能と考えられる。

## 参考文献

青木千咲・米康充 (2020) : 造林地における UAV を用いた測量誤差の評価, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 40, No. 1, pp. 42-48