

飛騨の崩壊斜面を対象にした空中写真測量による落石検知に関する研究

名城大学 学生会員 ○山内 滉大
 名城大学 非会員 加藤 歌那子
 KANSO テクノス 非会員 日野 康久
 名城大学 正会員 藤井 幸泰

1. はじめに

我が国の山岳道路沿いには、急な岩盤斜面が多くみられ、崩壊や落石が危惧されている。岩盤斜面の調査や対策方法の検討は進んでいるものの、落石の予測は困難であり、落石検知の方法も確立していない。本研究では、飛騨の崩壊斜面を対象に、近年、急速に利活用が進められている無人航空機を用いて空中写真測量を行い、落石検知に必要な条件を明らかにすることを目的とする。

落石検知の方法として、自然現象である落石を直接観測することは困難である。そこで大きさの異なる礫を2個ずつ、合計6個選定し、それらを任意に動かして、移動前後の座標をトータルステーション(TS)で測定した。さらに、無人航空機で礫を含めた斜面全域を撮影し、空中写真測量で移動前後の礫の座標を画像計測した。

本研究では、空中写真測量を2種類の無人航空機で実施し、撮影高度も考慮した上で、空中写真測量によって生じる礫の座標の誤差や移動距離の誤差の比較や検討を試みた。

2. 使用した無人航空機と撮影条件

無人航空機は UAV (Unmanned Aerial Vehicle) と略され、ドローンとも呼ばれる。本研究で、撮影に使用したドローンと撮影条件は、表-1, 2に記載の通りである。ここで RTK とは、Real Time Kinematic (リアルタイムキネマティック) の略であり、地上に設置する「固定局」からの位置情報データと移動するドローンなどの「移動局」のやりとりによって、高い精度の測位を即時に可能にする衛星測位の技術である。

以降では、DJI Phantom4 PRO⁺ V2.0 は通常ドローンと記載し、DJI Phantom4 RTK は、RTK ドローンと記載する。

| 項目 | 概要 |
|--------------------|------------------------------------|
| 機体名 | DJI Phantom4 PRO ⁺ V2.0 |
| 撮影高度 (m) | 30 60 100 |
| オーバーラップとサイドラップ (%) | 80 30 |
| 焦点距離 (mm) | 8.8 |

| 項目 | 概要 |
|--------------------|------------------|
| 機体名 | DJI Phantom4 RTK |
| 撮影高度 (m) | 25 50 |
| オーバーラップとサイドラップ (%) | 80 30 |
| 焦点距離 (mm) | 8.8 |

3. 現場での作業内容

撮影は斜面を横切るように、斜面上部から斜面下部へ降りていく経路で行った。撮影日時は、2021年4月9日と10日である。また、標定点の位置は図-1に示した通りである。落石検知に利用した礫の設置位置は図-2に示す。図-2の範囲は、図-1の赤枠で囲った部分である。計測した礫の寸法を表-3に記す。以下、現地での作業手順の説明を行う。

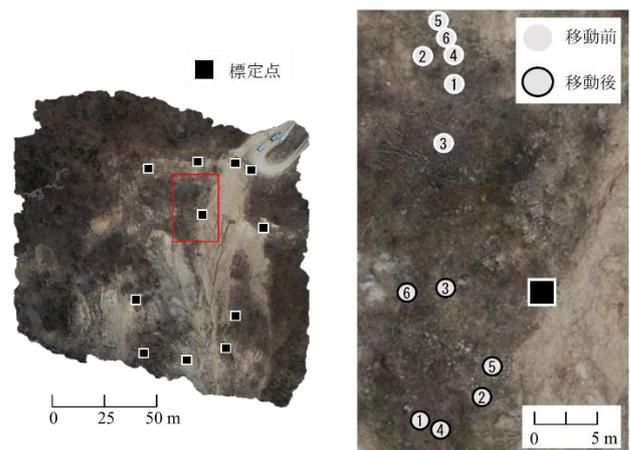


図-1 標定点の位置図

図-2 移動前後の礫の位置図

| 礫 | 礫の長径 (cm) | 礫の短径 (cm) |
|---|-----------|-----------|
| 1 | 10 | 7~8 |
| 4 | | |
| 2 | 15~20 | 13~15 |
| 5 | | |
| 3 | 20~30 | 20 |
| 6 | | |

- ① 4月9日, 斜面全体に対し適切な位置に対空標識(標定点)を設置した. 通常ドローンでは, 撮影環境の正確な復元のため, 最低でも6か所の標定点が必要となる. 今回は, 斜面全体におおよそ均等に分布する11箇所に標定点を設置した.
- ② TSで標定点の座標を測定する. 本研究では, この座標を真値に限りなく近い値と仮定し, 研究を進める. なお斜面上部には, TSの器械点と後視点とする基準点をあらかじめ設置しておいた.
- ③ 6個の礫を選定し, TSで礫の中心当たりの座標を測定した. その後に2種類のドローン, それぞれの撮影高度で空中写真の撮影を実施した.
- ④ 4月10日, 前日選定した礫を斜面下方向に意図的に動かし, TSで礫の座標を測定した後, 前日と同条件で空中写真撮影を行った.

4. 室内での解析

前節で撮影した空中写真と, 現地での測量成果をコンピュータに入力し, Structure from Motion (SfM) ソフトである Agisoft Metashape を利用し, デジタル画像からオルソモザイク画像, 3Dモデル等を作成した. なお通常ドローンは11個の標定点を利用して撮影環境を復元したが, RTKドローンでは標定点を利用しなかった. 礫の座標の誤差, 移動距離の誤差は図-3, 4の手順より算出する.

| | |
|--|---|
| <p>・以下の式から座標の誤差E_cを算出し, 平均をとる</p> $E_c = \sqrt{(X_m - X_t)^2 + (Y_m - Y_t)^2 + (Z_m - Z_t)^2}$ <p>$(X_m \ Y_m \ Z_m)$: モデル値 $(X_t \ Y_t \ Z_t)$: 真値</p> | <p>・以下の式からモデル値の標準偏差σ_mと真値の標準偏差σ_tを求め, 移動距離の誤差E_dを算出し, 平均をとる</p> $\sigma_t = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$ $E_d = \sigma_m - \sigma_t$ <p>$(X_1 \ Y_1 \ Z_1)$: 移動前の礫の座標 $(X_2 \ Y_2 \ Z_2)$: 移動後の礫の座標</p> |
|--|---|

図-3 座標の誤差 E_c の算出方法

図-4 移動距離の誤差 E_d の算出方法

4.1 撮影高度の違いによる座標の誤差の比較

3Dモデル上で画像計測した座標値と, TSで測定した値の誤差を表-4に記す. 撮影高度にかかわらず, 誤差は70mm前後を示す. これは, 撮影環境を復元する際のバンドル計算の誤差とほぼ同値である. また, RTKドローンの誤差の方が通常ドローンより大きくなっている. これは, 標定点の有無が大きく影響していると考えられる. ところで通常ドローンの撮影高度100mでは, 礫1, 4は小さすぎて画像上では判読できなかった.

4.2 撮影高度の違いによる移動距離の誤差の比較

3Dモデル上での礫の移動距離と, TSでの移動距離を算出した値の誤差を表-5に記す. 通常ドローンの高度別の誤差はほぼ同じで25mm前後である. また, RTKドローンの誤差の方が30~40mmと大きい. しかし, 表-4の誤差ほど大きくない. 考えられる理由として, モデル全体の座標が等しく同じ向きにズレており, 礫の移動距離は誤差が少なくなったと考えられる.

表-4 撮影高度等の違いによる礫の座標の誤差 E_c

| | 撮影高度 (m) | $\overline{E_c}$ (mm) | 地上解像度 (mm) |
|-------------|----------|-----------------------|------------|
| 通常 (標定点あり) | 30 | 71.7 | 8.61 |
| | 60 | 68.2 | 17.23 |
| | 100 | 76.1 | 28.71 |
| RTK (標定点なし) | 25 | 239.2 | 6.85 |
| | 50 | 384.8 | 13.71 |

表-5 撮影高度等の違いによる礫の移動距離の誤差 E_d

| | 撮影高度 (m) | $\overline{E_d}$ (mm) | 地上解像度 (mm) |
|-------------|----------|-----------------------|------------|
| 通常 (標定点あり) | 30 | 26.6 | 8.61 |
| | 60 | 24.7 | 17.23 |
| | 100 | 25.8 | 28.71 |
| RTK (標定点なし) | 25 | 30.1 | 6.85 |
| | 50 | 37.9 | 13.71 |

5. まとめ

本研究では, 空中写真測量を用いた落石検知の方法の検証を目的とした. また, 検証方法として, 2種類のドローンを利用し, 撮影高度の違いも考慮して, 3Dモデル上で画像計測した礫の座標値と移動距離, TSで測定した礫の座標値や移動距離との誤差の比較, 検討を行った.

以下に, 本研究で得られた知見をまとめる.

- ① 撮影高度にかかわらず, 対象となる礫が判読できれば誤差の違いはあまりない.
- ② 2種類のドローンでの座標値の誤差は, 標定点の有無により, 礫の座標値に差が見られるが, 移動距離に大きな差は見られなかった.
- ③ 標定点を置かないRTKドローンでの測量より標定点を適切に設置した通常ドローンでの測量の方が座標の誤差が小さい.

謝辞

現地作業では株式会社コアシステムの方々にお世話になった. 紙面を借りてお礼申し上げます.

参考文献

- 土木学会編：岩盤斜面の調査と対策, 丸善, 376p, 1999.
中川雅史：絵でわかる地図と測量, 講談社, 181p, 2015.