

阿賀花立地すべりにおける点群データを用いた解析事例

(株)村尾技建 ○松永 京子, 江村 剛, 田中 倫久, 草野 亙
新潟県新潟地域振興局津川地区振興事務所 赤塚 勤丞, 吉田 篤史

1. はじめに

地すべり地でのボーリング調査・動態観測に当たっては、地すべりブロックの範囲と移動方向を推定し、調査・観測地点を適切に配置することが重要である。従来は、地形判読や現地踏査、移動杭観測等によりこれらの検討が行われてきたが、近年では、航空・地上レーザ計測、写真測量などによる高密度の点群取得機会が増え、地すべり地形の3次元的な把握や、複数時期の点群データを用いた解析が可能となってきた。

今回対象としたのは令和5年春期の急激な融雪に伴い滑動した地すべりであり、2時期の点群データを用いた標高差解析、変動ベクトル解析により地すべり範囲や移動方向を推定し、調査地点の選定や機構解析の検討材料とした。本稿では、上記の解析事例について紹介するとともに、地すべり対策工検討結果を示す。

2. 地すべりの概要

対象とした地すべりは、新潟県東部の阿賀町(旧津川町)に位置する。調査地を含む船久保山北西側斜面には地すべり地形が分布し、今回の地すべりブロックはその末端部に当たる。このため、過去に発生した大規模な地すべり崩積土の一部が再崩壊したものと考えられる。なお、周辺には新第三紀中新世の堆積岩類および緑色火山岩類(いわゆるグリーントフ)が分布し、変質・軟質化した部位が弱部となり地すべりが発生しやすい地質条件である。また、今回の地すべりブロック末端は一級河川音無川に接しており、末端部の侵食により土塊の荷重バランスが変化し、地すべりブロックが不安定化しやすい状態にあったことが想定される。

地すべりブロックは頭部から側部にかけて明瞭な滑落崖を持ち、中段部にも亀裂や盛り上がりが形成されている。また、末端部では音無川左岸部に緑色の強風化凝灰岩が露出し、その上位に明瞭な押し出し地形が

認められる(写真1~2)。このような状況から、地すべり範囲の設定には強風化凝灰岩が地すべりによって移動した崩積土であるかの判別が課題となった。加えて、地すべり対策検討までの工程を考慮すると、早急に地すべり滑動方向を把握し、ボーリング調査地点の選定を行う必要があった。

3. 2時期の点群データを用いた解析

(1) 標高差解析

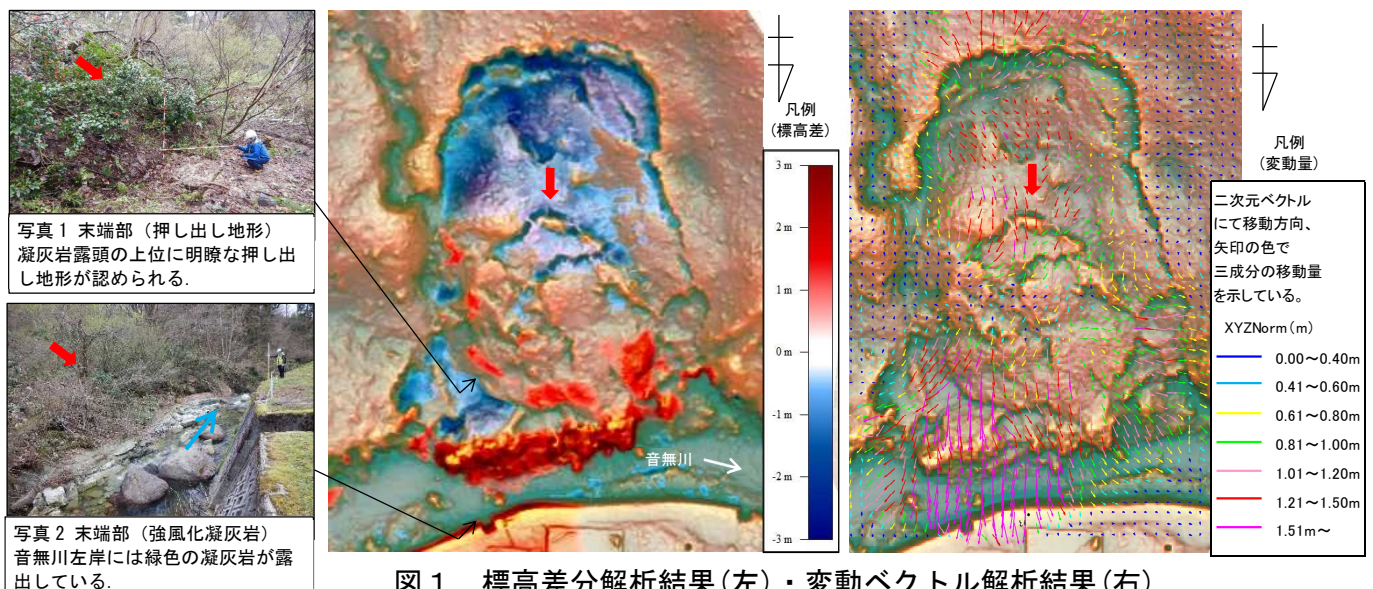
上記の課題に対し、まず地すべり滑動の前後に取得された点群データを用いた標高差解析を実施し、音無川左岸部の標高変化から地すべりブロックの末端を特定した。標高差分の大きさを色調の濃淡で表現した解析図を図1(左)に示す。

解析結果より、押し出し地形より下方の音無川左岸部では、崩壊の前後で顕著に標高が上昇している。このため、左岸に露出する強風化凝灰岩は地すべり滑動に伴い音無川流路に押し出された崩積土であり、すべり面は河床付近まで連続していると判断された。

(2) 変動ベクトル解析

崩壊前後の高密度な点群データが得られている場合には、2時期のデータを用いて点群の位置合わせ手法として実績のあるICP(Iterative Closest Point)手法等を用いた詳細な解析を行うことにより、3次元的な地すべりの移動を捉えることができる。本業務では、さらに点群の構成する面と面の距離を最小化することも考慮したCCICP(Classification and Combined ICP)手法^{*1*2}を適用した。

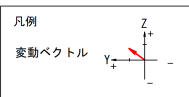
2時期の点群データより作成したDSM(Digital Surface model: 数値表層モデル)を元に、CCICP手法にて解析を行った結果を、図1(右)に示す。解析結果より、今回滑動した地すべりブロックは概ね南北方向に



移動しているが、中段から下部にかけては左右に開く方向にも変位が発生している。特に右側部では、沢地形に向かって表層部が崩壊している様子が読み取れる。また、主測線沿いのベクトルを断面図（図2）に投影すると、ブロック上部では引張・沈下方向、下部では圧縮、末端部では強風化凝灰岩の層理面に沿った方向に土塊が押し出された傾向が認められる。

本業務では、これらの解析結果を現地調査結果、動態観測結果等と合わせ、ボーリング調査地点の設定や地すべり発生機構の検討に活用した。

記号	層区分	土質
dt1	崩壊土	凝灰質粘土
dt2	旧崩壊土	凝灰質粘土
wVcr	移動層	強風化火山砕屑岩
wPTf	旧移動層	強風化軽石質凝灰岩
wTf (DL)		風化凝灰岩
Tf (CM)	基岩(不動層)	凝灰岩 (N値>50以上)



地すべりブロック (令和5年4月崩壊)

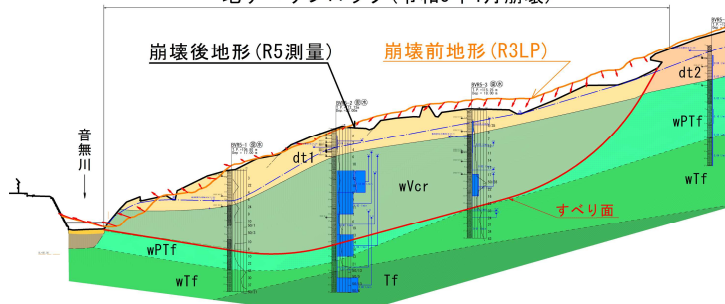


図2 地すべり主測線断面図 (変動ベクトル投影)

4. 地すべり滑動状況

防災以降の地すべり滑動状況を監視するため、地表伸縮計を設置し、変動状況を継続的に観測した。設置から令和5年8月上旬までの観測結果を図3に示す。

図3のグラフより、6月以降、まとまった降雨に応答した地表伸縮計の変位が観測されている。特に、6月28日の降雨（降雨量96mm/日）の翌日には大きな変位（変位量40.3mm/日）が観測されており、その後も変位量の累積が認められる。また現地では、降雨の前後に地すべり末端部の強風化凝灰岩が音無川の増水により侵食されている状況が観察された（図3）。

末端部の侵食による地すべりの不安定化と地表面変

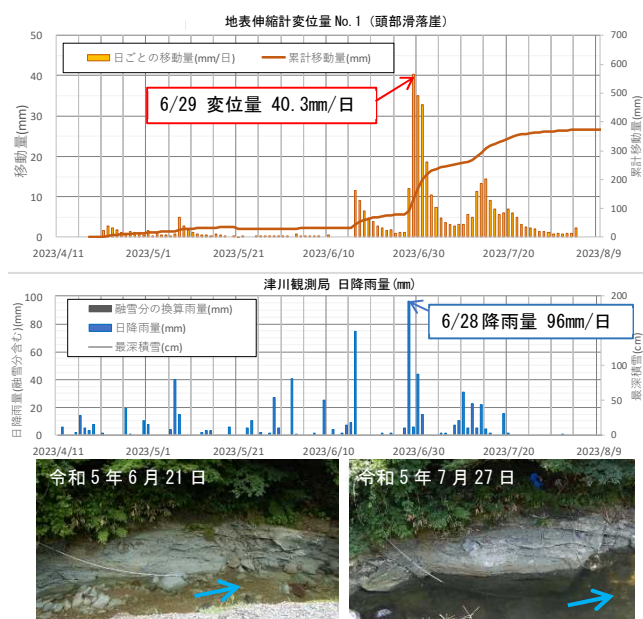


図3 地表伸縮計観測結果

位の過程はこれまでの解析結果と整合的であり、当該地すべりは、今後も同様の降雨や融雪によりこのような現象を繰り返していく可能性が高い。以上より、対策を実施し地すべりを安定化させることが必要である。

5. 地すべり対策工

地すべり対策工の検討は、抑制工により地すべりの安定化を図ることが一般的である。ただし、当該地すべりにおいては、二次ブロックのすべり面深度や帯水層の分布状況、排水先となる河川との標高差から、地下水排除効果の高い集水井の配置が困難であった。また、今回崩壊した地すべりブロックは背後により大きなブロックが想定され、一方の末端部は河川に接している状況から、頭部排土工や押さえ盛土工等の工法を選定することができない。

以上より、当該地すべりに対しては、横孔ボーリング工による地下水位の低下に加え、抑止工による地すべり推力への抵抗、護岸工や土留め工による末端部の侵食防止等を併用して安定化を図ることとし、対策施設の設計を行った。なお、抑止工は比較検討により、杭工を選定した（図4）。

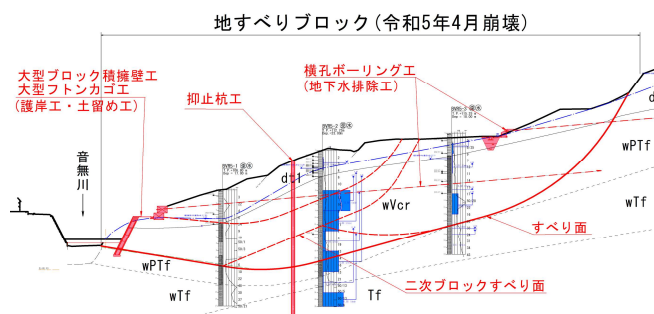


図4 対策工標準断面図

6. おわりに

本業務では、崩壊前後の点群データを用いて地すべりの標高差分析および変動ベクトル解析を行い、その結果を調査地点の選定や機構解析に活用した。今回の地すべりは、原形を保ったまま土塊が移動していたため点群の位置合わせによる変動ベクトル解析が効果的であり、精度のよい解析結果を得ることができた。一方、流動性の高い土石流等での解析では、位置合わせが困難であり同様の手法では土塊の3次元的な移動を把握できない可能性がある。今後も、解析手法の現場条件における適用性に留意したうえで、迅速かつ精度の高い地すべり解析を進めていきたい。

参考文献

- *1: S. Takai, H. Date, S. Kanai, Y. Niina, K. Oda, and T. Ikeda (2013): Accurate registration of MMS pointclouds of urban areas using trajectory, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-5/W2, pp. 277-282
- *2: 特許第 6817721 号, 地形変化解析手法, 令和 3 年 1 月 4 日 登録, アジア航測株式会社
- *3: 高山ほか (2018): 2 時期の航空レーザ計測点群データによる ICP 手法を用いた変動ベクトル解析, H30 応用地質学会