

地すべり地における地形変動解析の事例

株式会社ダイヤコンサルタント ○岡崎 敬祐
 兵庫県 光都農林振興事務所 名畑 昌昭・赤 松 伸弥
 株式会社ダイヤコンサルタント 鏡原 聖史・濱 本 拓志
 伊東 陽希・日比野 共希

1. はじめに

近年では、航空レーザ計測の技術が発達し、広域での詳細な地形データが取得可能となってきた。兵庫県では、県内全域で多時期の航空レーザ計測による詳細な地形データ（以下、DEM: Digital Elevation Model と呼ぶ）を取得しており、斜面の危険地抽出や対策工計画等に有効に利用されている。

本稿では、この2時期（2010～2018年と2020～2021年）のレーザ計測で得られたDEMを用いて、平成30年7月豪雨（2018年）で土砂災害が発生した兵庫県宍粟市内の地すべり地に対して、地形変動解析を行い、地すべり土塊の変動状況について検討した。また、地すべりの地表面変位量からすべり面を推定し、推定したすべり面と現地調査結果との整合性について検証した事例を紹介する。

2. 調査地の概要

調査地は図1に示すように標高約757mの山地北東部に位置する東向き斜面である。溪流沿いに地すべり地が2箇所（溪流を挟んで南側がAブロック、北側がBブロック）確認され、地すべり地より上流部では不自然な緩斜面が広がり谷筋が不明瞭となる。集水面積は27ha程度で集水地形が明瞭であり、溪流沿いの地すべり土塊末端部は常に浸食され崖面を形成し不安定化している。災害発生時に明瞭に活動した地すべり土塊はAブロックで幅50m、長さ100m、Bブロックでは幅70m、長さ150m程度であり、地すべり頭部には高さ1m程度の崖面が認められた。

また、図2の通り、調査地の地質はペルム紀に形成されたとされる舞鶴層群の緑色岩類や夜久野岩類の斑レイ岩、変花崗岩等が分布しており、多様な地層が入り混じる複雑な地層構造を有している。

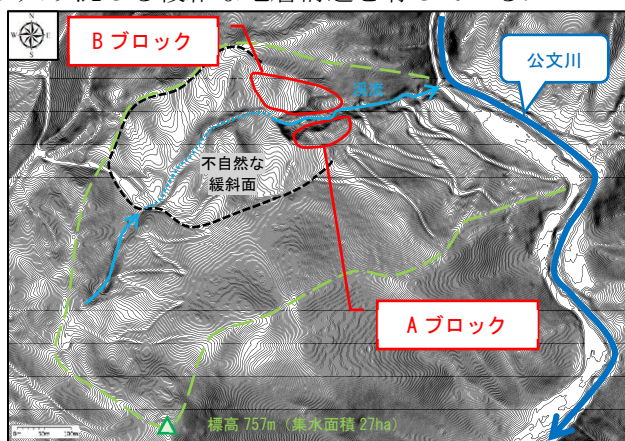


図1 調査地の崩壊後地形¹⁾

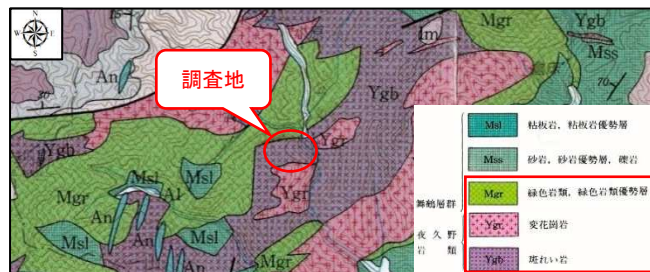


図2 調査地の地質²⁾

3. 地形変動解析

当該地すべり地に対して、2時期のDEMをもとに地形変動解析を行った。解析に使用したDEMのデータ諸元を表1に整理した。

地形変動解析では、2時期のDEMの標高差分に加えて、PIV法（Particle Imaging Velocimetry）を応用した数値地形画像マッチング手法³⁾により水平方向の変位量を求め、地すべり土塊の3次元的な移動軌跡（地表面変位ベクトル）について検討した。

なお、2時期間のDEMは取得した時期が異なっていることもあり、点群データの水平ずれが存在している。地形変動解析に当たっては、斜面方位毎の標高差分誤差を集計し、異方性解析⁴⁾により統計的な位置ずれ量を求めて差し戻し、位置補正を行っている。

DEMは標高値が格子状に整理した配列データであるが、標高差分だけでは、高さ方向の変化しか得られない。そこで、水平方向の変化を調べる指標としてDEMから傾斜量を表現した数値地形画像を作成し活用した。自然斜面は谷や尾根、斜面地等の地形的特徴が均一であることが少なく、その特徴を利用して、小領域内における数値地形画像の傾斜量濃淡分布の変化を読み取り、地形の水平移動方向や変位量の推定を行った。具体的には、解析範囲内で任意の小領域（解析間隔10m、検査領域64×64pixel、走査領域104×104pixel）を設定し、2時期の数値地形画像の濃淡分布の相関係数が最も高い画像同士を紐づけて、中心座標がどの方向へ移動しているかを演算した。

地形変動解析結果図を図3に示す。図3の地表面変位ベクトルは両ブロックとも頭部付近で1時期目の地形よりも標高値が低くなる結果が得られた。Bブロックの方は変位が明瞭であり、谷側に向かって動いていることが分かった。一方で、AブロックはBブロックよりも変位が不明瞭であったが、地すべりの長軸方向への動きが見られた。水平方向の変位量としては、Aブロックが20～30cm程度、Bブロックが30～40cm程度動いており、地すべりの変動状況について

て解析的に求めることができた。

表 1 DEM データの諸元

	取得時期等
1 時期目	2010～2018 年度に取得した 兵庫県が公開する航空レーザ計測成果 ⁵⁾
2 時期目	2020～2021 年度に取得した 兵庫県宍粟市のレーザ計測成果 ¹⁾

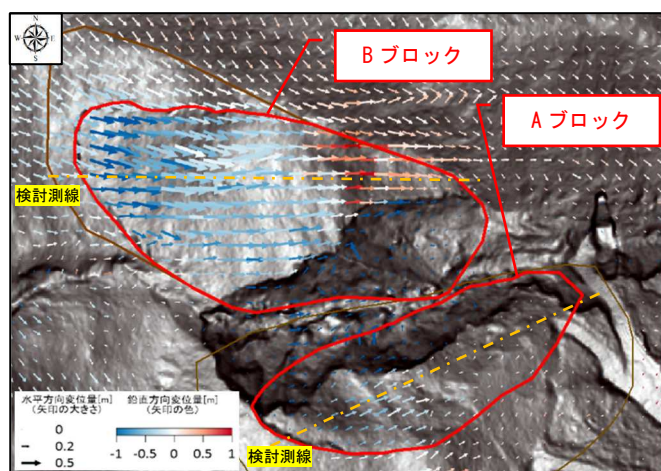


図 3 地形変動解析結果

4. 地形変動解析に基づくすべり面の推定

数値地形画像マッチング手法から得られた地表面変位ベクトルを用いて、地すべり土塊のすべり面形状について推定した。なお、地すべり土塊のすべり面形状の推定には多角形平行法⁶⁾を用いた。

地すべりブロック上の任意の断面において、亀裂等の地形情報から土塊上端を決め、そこから地表面変位ベクトルと平行な線を引き、隣接する解析点直下との交点を求める。この作業を繰り返し行い、地表面変位から地すべりのすべり面形状を推定した。

図 4 に A ブロックならびに B ブロックのすべり面推定結果を示す。なお、図 4 に示す断面図は地すべりブロックの移動方向に測線を設定し作成した。推定の結果、A ブロックでは GL-5.0m 付近、B ブロックでは GL-20m 付近にすべり面が推定された。

また、調査地では、両地すべりブロック内でボーリング調査ならびにパイプ歪計や地下水位計等の現地観測⁷⁾が行われており、現地調査結果から想定されているすべり面と地形変動解析から推定したすべり面の整合について検証した。現地調査結果から想定されているすべり面は A ブロックで GL-20m 付近、B ブロックで GL-15m 付近であった。この結果から、B ブロックは地形変動解析で推定したすべり面の深度や範囲と近似しており、整合的な結果が得られたものと解釈できる。一方で、A ブロックでは、推定すべり面が現地調査結果よりも浅い結果となった。A ブロックは 2 時期の差分による変位量が B ブロックよりも小さく、解析上では土塊内の変位センスとして鉛直方向より水平方向の変位が卓越したため、推定すべり面が浅くなったと考えられる。本手法は差分による変動状況に依存した推定となるため、A ブロック

のように変動状況が小さくなればすべり面の推定誤差が大きくなることが示唆される。また、A ブロックは地質調査結果から破碎帯の影響でかなり深部まで風化していることが判明しており、このような特異性は考慮できていないことも推定値と実測値の違いとして出ていると推察される。

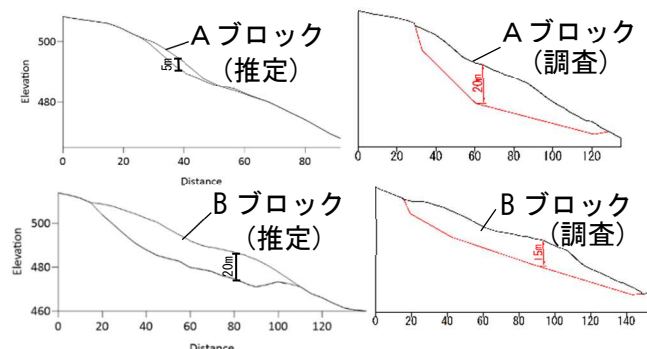


図 4 すべり面の推定結果と対比

5. おわりに

以上の検討より、高分解能・高精度の航空レーザ計測から作成した 2 時期の詳細な地形情報を用いると、机上で地すべりの変動状態やすべり面深度を概略的に推定することが可能であった。

地すべりの条件によっては、実際のすべり面よりも浅くなる場合があるため、現地調査を行う際の基礎資料としての活用が望ましいと考える。今後も様々な地すべり地に対して本手法を活用し、適用性や有効な活用手法について更なる検討を行いたい。

謝辞

本検討は、兵庫県光都農林振興事務所ならびに国際航業株式会社の佐藤匠氏、本間信一氏に多大なるご協力を賜った。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 兵庫県：G 空間情報センター2010 年度～2018 年度兵庫県全域数値地形図，<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2010-2018-hyogo-geo-dem>（令和 5 年 4 月確認）。
- 2) 兵庫県土木地質図編纂委員会，兵庫の地質，1996。
- 3) Sakae Mukoyam: Estimation of ground deformation caused by the Earthquake (M7.2) in Japan, 2008, from the Geomorphic Image Analysis of high resolution LiDAR DEMs, Journal of Mountain Science, Vol. 8, No. 2, pp. 239-245, 2010.
- 4) 小林容子：レーザ差分解析精度向上に向けた DEM 水平位置補正および差分対象範囲の検討，第 33 回測量調査技術発表会 技術発表・特別講演要旨集，pp. 12-24, 2011.
- 5) 兵庫県光都農林振興事務所：31 山重（緊）測第 1 号成果，2021.
- 6) 独立行政法人土木研究所他：地すべり線の形状推定法，2013.
- 7) 伊東ら：大規模山体崩壊地内で発生した斜面変形，日本応用地質学会研究発表会論文，2022.