

金山沢源頭部の土砂移動とその面的なモニタリングについて

国土交通省 北陸地方整備局 松本砂防事務所 石田哲也 浅野未来
国際航業株式会社 ○佐藤匠 久保毅 西村智博 室井翔太 向山栄

1. はじめに

姫川水系浦川流域の金山沢源頭部では、明治 44 年の稗田山大崩壊をはじめ大規模な土砂移動が繰り返し発生し、近年も降雨や融雪より斜面移動や土石流が頻発している。今後の土砂移動予測のために、斜面移動状況を継続的に把握することが求められるが、変動範囲が広範であること、変動量が極めて大きいこと、豪雪地帯であること等から、一般的に用いられる現地計測手法（伸縮計、孔内傾斜計、GPS 等）を安全に運用することが難しい。そのため、変動斜面内に立ち入らずに、斜面移動を遠方から面的に把握できる手法を利用することが望ましい。

本報告では、同地区に対し複数の遠隔モニタリング手法によって過去から現在に至るまで長期的・面的に把握した事例について示す。

2. 斜面変動の面的把握手法

本検討では変動斜面内の取り付けが不要な 4 種の遠隔観測手法により金山沢源頭部の変状を把握した。

(1) 航空レーザ DEM 解析・判読

融雪・出水により斜面変動・土砂流出が発生していることから、融雪後（2017 年 6 月上旬）・出水後（同 7 月下旬）・積雪前（同 9 月末）に航空レーザ測量を実施した。加えて、2015・2016 年に実施された測量成果も収集し、5 時期の航空レーザ DEM を用いて 3 つの解析による斜面変動評価を行った。

(i) DEM 差分解析

連続する 2 時期の DEM の差分演算により、地表面の鉛直方向の増減量を求め、斜面崩壊・土砂流出等の土砂移動状況を把握した。

(ii) 変動ベクトル解析 (3D-GIV) ¹⁾

各時期の DEM から作成した傾斜量図を用いて、パターンマッチングによる画像解析によって、地すべり等の表面形状を保持したままの斜面移動に関する変動ベクトル（変位方向・変位量）を算出した。

(iii) 変動斜面微地形判読

各時期の DEM から作成した傾斜量図を用いて微地形判読を行い、個々のブロックの形態や内部の変形状況について把握した。

(2) 定点カメラ画像解析

金山沢源頭部の変動ブロックを取り囲むように 4 か所に定点カメラを設置し、日中 1 時間おきに撮影した画像を用いて、画像解析 (PIV) により斜面内の変動ベクトルを算出した。

(3) 空中写真測量 DEM 解析

航空レーザ測量が行われていない 2007 年以前について、1999 年、2004 年に撮影された空中写真から空中三角測量によって DEM を作成し、DEM 差分解析により 1999 年以降の土砂動態を評価した。

(4) 干渉 SAR 解析結果の分析

SAR 衛星「ALOS」および「ALOS-2」によって観測されたデータに基づく干渉 SAR 解析結果を収集し、干渉縞の分布状況から 2007 年以降の変動斜面の領域と変位量の評価を行った。なお、干渉 SAR 解析結果は国土地理院および国土技術政策総合研究所・土砂災害研究室より貸与されたものを利用した。

3. 各手法による斜面変動の評価

以下に各手法により得られた結果を示す。

(1) 航空レーザ DEM 解析・判読

2017 年 6 月上旬から 7 月下旬にかけて、源頭部 D・E ブロック接続部で 10 万 m³ 程度の斜面崩壊が発生・崩土が流出し、溪床に堆積した。これは 6 月末から 7 月初旬の梅雨前線による豪雨により発生した現象と考えられる。

この現象を引き金に、D ブロック末端に接していた C ブロック末端の変動が活発化したことが以降の DEM 解析および判読により確認された。

また、A ブロックおよび B ブロックで水平変動量 1m~5m/年の継続した変状が確認されている。

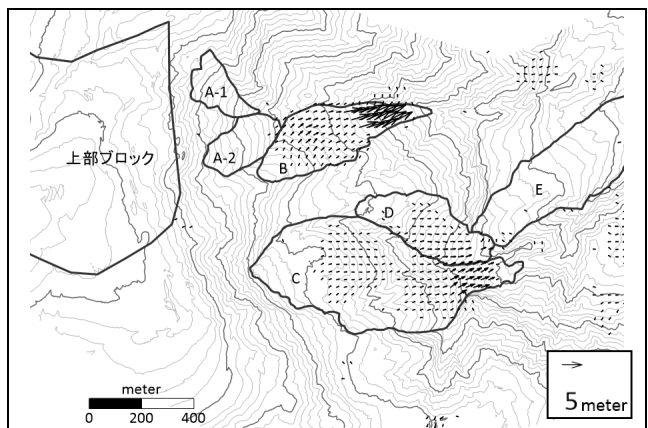


図 1. 3D-GIV 解析結果 (2017/7/20-2017/9/30)

(2) 定点カメラ画像解析

定点カメラから取得された画像による PIV 解析では、E ブロック側岸斜面、E ブロック下部の巨石、C ブロック末端斜面の継続的な変位が確認された。設置した定点カメラから対象斜面までの距離は C ブロック末端で 900m 程度であるが、カメラの撮影解像度が高いことから斜面変動が明瞭に検出された。

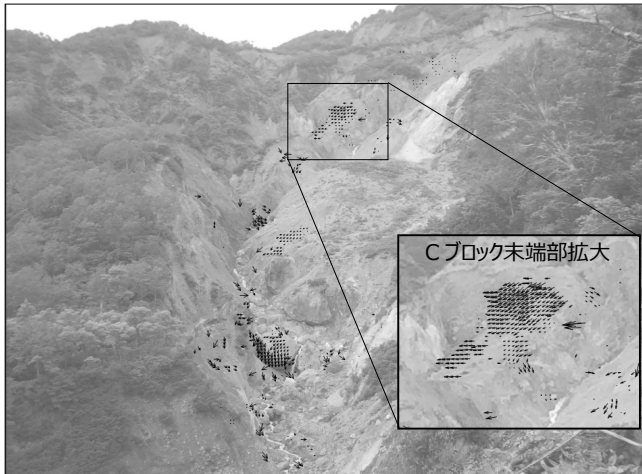


図 2. 定点カメラ画像 PIV 解析結果 (2017/7/20-9/16)

また、地表がかく乱された場所は画像の相関（＝類似性）が失われ PIV 解析で変位量が評価できなかったが、この相関低下領域を把握することで、地表面のかく乱を伴う土砂動態を抽出することができた。

(3) 空中写真測量 DEM 解析

1999 年・2004 年の空中写真による DEM と、2006 年の航空レーザ DEM の 3 時期の差分解析により、B ブロックの滑動、C ブロック末端の侵食、E ブロック下部の滑動状況が確認された。

(4) 干渉 SAR 解析結果の分析

ALOS/PALSAR (2007 年～2009 年) および ALOS-2 干渉 SAR 解析結果 (2014 年～2016 年) を分析した結果、金山沢源頭部の滑落崖から西側 (滑落崖上方) に広く存在する上部ブロックが継続して東向きに年間数 cm 移動していることが確認された。

なお、この傾向は航空レーザ DEM を用いた変動ベクトル解析でも確認されたほか、現地踏査でも斜面上部のクラック拡大が確認されている。

4. 各手法の効果および運用上の留意点

(1) 航空レーザ DEM 解析・判読

航空レーザ測量で取得される DEM は場所によらず均質・高分解能なデータであることから、差分解析・変動ベクトル解析・地形判読など複数の手法に用いることが可能である。これによりさまざまな観

点から土砂移動現象を評価・把握することが可能となるが、データ取得にかかるコスト・時間が大きいため、高頻度を実施することは通常困難である。

(2) 定点カメラ画像解析

本研究の中で試行した定点カメラによる画像解析は、視界が確保され安定した地盤であれば容易に設置可能であり、携帯回線を利用して画像が遠隔取得できることから、任意のタイミングで高頻度に解析を実行することが可能である。また 1km 弱の遠隔地の斜面変動も確認できたことから、土石流の多発する荒廃域に立ち入らずに安全に監視が可能であることが実証された。一方、夜間や濃霧下では解析不能となり、太陽光による強い影の発生なども解析に悪影響を与えることから、毎日毎時解析ができるとは限らない点に注意が必要となる。

(3) 空中写真測量 DEM 解析

空中写真測量によって取得した DEM からは差分解析により過去の大規模土砂移動状況が把握でき、顕著な土砂移動現象と雨・融雪等との対応関係の評価が可能となる等、一定の有用性が確認された。ただし標高・位置精度は粗く、変動ベクトル解析のような高度な解析は困難であった。

(4) 干渉 SAR 解析結果の分析

干渉 SAR 解析では上部ブロックで年間数 cm の微小変動が継続していることが確認された。変動量が 10～20cm 以下の微小な変動は航空レーザ測量でも把握することが困難であるため、動いているかどうか判断に苦慮するような地域を評価する上では有効な手段であると考えられる。一方、源頭部内のように変動量数十 cm/年以上の場所では干渉解析は適用困難となるため、航空レーザ DEM 解析との組み合わせによる利用が最も効果を発揮すると考えられる。

5. おわりに

金山沢源頭部を対象に複数の面的モニタリング手法を適用し、長期・短期の斜面変状・土砂移動状況の把握を行った。それぞれの計測感度・特性は異なることから、各手法を組み合わせることにより安全に広域を監視することが可能であると考えられる。

【参考文献】

- 1) Sakae Mukoyama : 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, 2011