

衛星・航空リモートセンシングによる流域内微小斜面変動領域の抽出

国際航業株式会社 正会員 佐藤匠, 本田謙一 非会員 田口智大, 久保毅
国土交通省 北陸地方整備局 松本砂防事務所 非会員 佐藤史崇, 小口貴雄, 田知行志保, 田中聡, 森本勇太

1. はじめに

長野県北安曇郡小谷村に位置する姫川水系浦川流域では右支川・金山沢源頭部において明治 44 年に発生した山体崩壊(稗田山崩れ)が発生し, 現在もその残土の大規模地すべりや土砂流出が続いている¹⁾ほか, 浦川流域全域にわたり大規模崩壊の危険性が指摘されている斜面が多数存在している。

これらの斜面は長期的な微小変動によって徐々に不安定化しているものが多く, その変位速度は斜面によって異なるが数 cm/年以下の微小変動も含まれているものと考えられる。そのため本研究では L バンド衛星 SAR (ALOS-2) の時系列干渉解析および航空レーザ測量 DEM を用いた長期間地形変動解析を浦川流域に対して適用し, 広域から微小斜面変動箇所抽出および変動速度の評価を行った。

2. 対象領域・解析手法・データ諸元

2. 1. 解析対象領域

解析対象領域は長野県北部の小谷村西部に位置する姫川水系浦川流域である。

2. 2. 使用データ

衛星 SAR 解析は ALOS-2 の 2016 年から 2020 年で浦川上流域が観測された 5 軌道で計 36 シーンのデータを使用した。

航空レーザ DEM 解析は 2011 年・2016 年・2018 年・2020 年・2021 年の秋季に取得された 5 シーンを利用した。

2. 3. 解析手法

(1) 衛星 SAR: スタッキング解析+2.5 次元解析

スタッキング解析は, ペアごとの観測間隔から変動量 (mm) を変位速度 (mm/year) に直し, それを軌道ごとに複数ペアで平均化 (スタッキング) する手法である²⁾³⁾。地すべり変位は, 位相差が特定の方向 (変位方向) に集中することに対して, ノイズ成分は位相差がランダムな方向になることから, スタッキング解析結果ではノイズ成分が相殺され, 地すべり変位領域が明瞭になることが期待される。北行軌道 2 軌道, 南行軌道 3 軌道の計 5 軌道において, 全 121 ペアで干渉処理を行い, 各軌道の解析結果を用いてスタッキング解析を行った。このうち観測シーンが多くノイズも少ない北行軌道 No.1 と南行軌道 No.4 を用いて 2.5 次元解析²⁾³⁾を行い, 衛星視線方向から準東西・準上下変位量に変換した。

(2) 航空レーザ DEM: 地形変動解析

複数時期の DEM からそれぞれの時期の傾斜量画像を作成し, 部分的に抽出した矩形画像の位置を追跡することで局所的な斜面変位をベクトルで取得する「数値画像マッチング手法 (3D-GIV 解析)」⁴⁾⁵⁾により, 2021 年に対して 1 年・3 年・5 年・10 年間の地形変動解析を実施し, 2 時期間の斜面変位ベクトルを求めた。なお解析に用いた DEM の空間解像度は 1m であり, 地形変動解析では 1 ピクセルの 1/10=10cm の変位が検出限界となる。

3. 解析結果

3. 1. 衛星 SAR スタッキング+2.5 次元解析結果

スタッキング解析+2.5 次元解析によって得られた準東西・準上下変位速度から合成速度を求め, 浦川流域全域における微小変動斜面を抽出した結果, 金山沢源頭部の巨大ブロックを筆頭に, 金山沢・唐松沢・浦川本川に多数の斜面変動領域が検出された。ただし金山沢源頭部の年間変位量が 1m を超える変位領域では解析不能となったほか, 急峻な斜面域ではレイオーバー・シャドウといった SAR 観測原理上解析が困難な場所も発生しており, その領域についてはマスク処理による除去を行った。

衛星 SAR 解析の利点は ALOS-2 を利用した場合,

年間 3~4 回の定常的な観測が行われていること, 1 回のデータ取得コストが安価であること, 数 cm 以上の微小変位を広域で

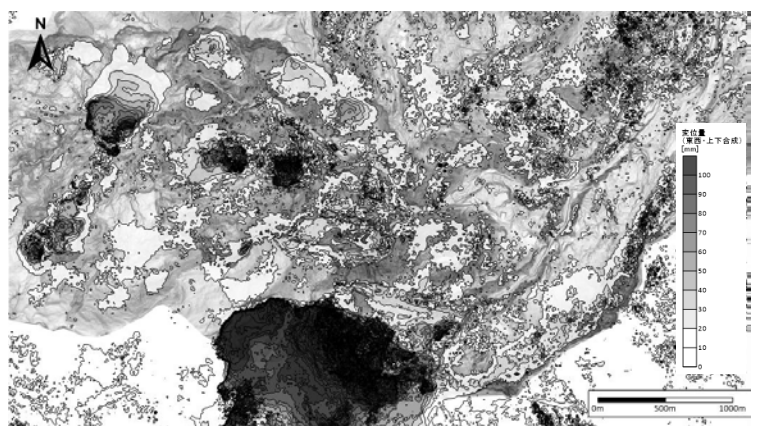


図 1. 衛星干渉 SAR 2.5 次元解析結果 (2016-2020 年)

キーワード: 斜面変動モニタリング, 衛星 SAR, 干渉 SAR 解析, 航空レーザ測量, 地形解析

連絡先: 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1 国際航業株式会社 TEL:042-307-7471

検出可能であること、多量のデータを用いた時系列解析や2.5次元解析のような応用解析が可能となること等が挙げられる。

一方、課題としては2.5次元解析で得られる変位は準東西・準上下方向に限定して算出可能であるため、南北方向の変位量については不明であり、斜面の変位領域の把握自体はある程度可能となるが、斜面の正しい変位方向が分からない点と変位方向によっては感度が鈍る点が挙げられる。また、前述のSAR観測原理に基づく急斜面を中心とした解析不能領域(レイオーバー・シャドウ)が発生している点にも注意が必要である。

3.2. 航空レーザDEMによる地形変動解析

1年間隔の地形変動解析では年間変位量10cm以上の大きな変位について斜面変位ベクトルが検出されたが、解析期間が3年・5年・10年と解析間隔年数が増えるごとに検出される斜面変位ベクトルの変位量が増大するとともに、検出される斜面領域が拡大し、より微小な変位斜面が検出されるようになった。一方、長期間解析になると元々の斜面変位量が大きい場所において2時期間の斜面形状が大きく変化したことにより画像マッチングが適用できなくなり、斜面変位ベクトルが消失する場所も確認された。ただしこのような大変位領域は単純な標高差解析で把握が可能である。

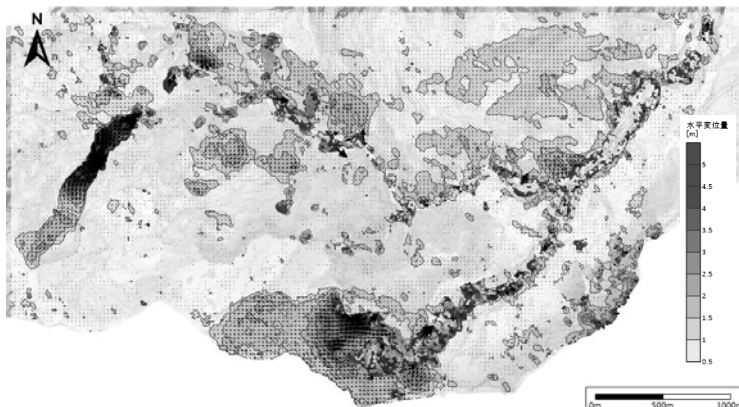


図2. 航空レーザ測量DEM地形変動解析結果(2011-2021)

航空レーザDEM地形変動解析の利点としては斜面の変位量が一定(約10cm)以上であれば、変位量や変位方向・地形の急峻さによる特異性はなく安定して解析ができる点が挙げられる。また長期間の解析を実施することにより年間数cm以上の斜面変位が検出できることが確認された。

一方、課題としては1回あたりの計測が高コストのため高頻度の観測ができない点、検知感度が2時期の間で10cm以上に制限される点、長期間隔解析の場合は時系列変位が不明になる点が挙げられる。

3.3. 衛星SAR解析および航空レーザDEM解析結果の統合分析

衛星SAR解析と航空レーザDEM地形変動解析で得られた斜面変位領域を重ね合わせた結果、衛星SAR解析における20mm/年以上の変動領域と航空レーザDEM地形変動解析における40cm/10年(=40mm/年)の変動領域が概ね一致する結果となった。いずれの解析においてもより細かい変位量が算出されたが、前述の値よりも小さい変位量の分布は流域のほぼ全域にわたって発生しており、計測ノイズとの差が不明瞭であることから評価対象から除外している。

衛星SAR解析では微小な変位領域の検出に加えて、高頻度データを生かした時系列での変位状況把握も可能であり、大規模降雨や地震などのイベントに対する変位状況に優れた効果を発揮することが確認された。

一方、航空レーザDEM地形変動解析ではSARのような変位方向の検出感度に偏りがないことから各斜面の変位動向を詳細に分析することが可能となることに加えて、斜面崩落・崩壊・土砂流出のような激しい土砂移動現象も同時に把握できることから、土砂移動現象の規模やメカニズムの分析に効果的な手法である。これら2つのデータ観測および解析方法の異なる結果から共通の斜面が変動領域として抽出されることにより抽出結果の信頼性が高められると同時に、それぞれの長所(利点)がもう一方の手法の短所(課題)を補うことが可能となり、より精度高く詳細な分析を行うことが可能となった。

4. まとめ

本研究では、衛星SARおよび航空レーザ測量のデータを用いた応用解析によって、浦川流域内の微小変動斜面を検出し、それぞれの特性・利点・課題の整理を行うとともに相互補完的な利用方法を導き出した。今後は、これらの検討結果をベースに解析の高度化を行い、時系列変動の推移と対応するイベントについて分析を続ける予定である。

参考文献

- 1) 久保毅, 岩田幸泰, 城ヶ崎正人, 渡邊剛, 田端泰三, 内田太郎, 里深好文: 1911年稗田山崩れによる河道閉塞形成過程の再現計算, 砂防学会誌, Vol. 69, No.5, pp.35-42, 2017.
- 2) 佐藤渉, 虫明成生, 佐藤匠, 山口恭子, 浅田典親, 本田謙一, 引地慶多, 佐藤弘行, 清水則一: 衛星SARデータのスタッキング解析による貯水池周辺斜面の変動抽出, 2019年度土木学会全国大会 第74回年次学術講演会概要集, CS9-30.
- 3) 国土交通省国土地理院, 干涉SARの応用, <https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar.application.html>
- 4) 西井稜子, 石井靖雄, 佐藤匠, 本間信一: 複数時期の航空レーザ測量データを用いた変動斜面末端部とすべり面発達の推定, 日本地すべり学会誌, Vol. 56, No.2, pp.87-94, 2019.
- 5) 高見智之, 向山栄, 本間信一, 佐藤匠: 多時期LiDAR-DEMを活用した斜面変動解析と評価, 日本地すべり学会誌, Vol. 56, No.6, pp.295-305, 2019.