

紀伊山地における時系列 InSAR(SBAS)による地表変動斜面の抽出

国土防災技術株式会社 ○小川内良人・白井彩香・岡本勝男・龍見栄臣・横山修
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 山田啄也・青野友哉
 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 高原晃宙

1. はじめに

紀伊山地では、平成23年9月台風第12号の豪雨により大規模な深層崩壊が多発し、17箇所の天然ダムが形成された。このような深層崩壊による被害を軽減するためには、深層崩壊発生のおそれのある斜面を抽出し、保全対象の重要性を勘案した上で深層崩壊による被害発生を抑制する有効なハード対策とソフト対策とを組み合わせた事前防災対策が重要である。

紀伊山系砂防事務所では、広範囲に重力変形斜面に関する地形解析と空中電磁探査、重力変形斜面の地表踏査・水文調査等を実施している。これらの結果から、重力変形斜面の危険度(千木良, 2015)と電気伝導度、斜面の比高の関係より、深層崩壊発生のおそれのある斜面の抽出方法が提案されている(小竹ほか, 2020)。紀伊山地には多くの重力変形斜面が存在し、数百年サイクルで同時多発的な深層崩壊も発生している。紀伊山地は対象斜面内の箇所数が多く現地確認も困難な箇所もあり、重力変形斜面の変動状況や活動性について把握することは困難である。

紀伊山地でも崎山ほか(2019)により干渉 SAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar: InSAR)解析が実施されており、いくつかの箇所で斜面変動や変動量が解析でき、斜面変動モニタリングへの有効性が示されている。

本研究では、紀伊山地で干渉 SAR 解析を実施して、既往の地すべり判読箇所やこれまで崩壊発生のおそれの高い斜面として抽出されている箇所の変動状況や変動量から、斜面変動のモニタリング手法としての有効性や課題を検討した。

2. 時系列 InSAR(SBAS)解析方法

紀伊山地を対象に InSAR 解析の原理を利用して、面的に解析できる時系列解析(SBAS: Small Baseline Subsets method)を実施した。SBAS 解析は、LOS 変位量(LOS: 衛星から照射されるマイクロ波の方向 Line of Sight)を見ることができ、直感的に変動の有無を判断できる。

2014年~2024年間の各年1~2時期、計14時期のALOS-2データを利用してSBAS解析を実施し、時系列解析結果の変位の回帰式から変位の傾向を求めた。衛星の北行軌道と南行軌道について(図-1)、変動縞の色変化が濃い箇所を【明瞭な変動箇所】、それより薄い箇所を【不明瞭な変動箇所】として目視判読を行った(図-2)。SBAS解析結果と既往の地すべり判読箇所、深層崩壊発生のおそれの高い斜面として抽出された箇所について変動縞の有無を確認した。また、変動縞が表れた箇所について、変動域内の任意の点を選定して、LOS変位量解析から経年変化を解析した。また、2014年~2024年の間で航空レーザ測量データがある箇所では、2時期のデータを利用して差分解析を実施した。

3. 時系列 InSAR (SBAS) 解析結果

3.1 SBAS 解析結果

解析結果で表現された変動縞について目視判読を行った結果、変動箇所は403箇所が抽出され、その内、色変化が濃い明瞭な変動箇所は41箇所であった。41箇所の内訳は、防災科地すべり地形判読箇所が19箇所、重力変形斜面14箇所、崩壊7箇所、人工改変1箇所である。

また、紀伊山地で空中電磁探査と航空レーザ測量の両方が実施された範囲で、微地形判読により重力変形斜面が80箇所抽出され、この内、23箇所で行地踏査や水文調査を実施して、重力変形斜面の危険度(千木良, 2015)と電気伝導度、斜面の比高の関係より、深層崩壊発生のおそれの高い斜面として9箇所抽出している(小竹ほか, 2020)。これら9箇所を含む80箇所については、SBAS解析で不明瞭な変動が11箇所、明瞭な変動は2箇所であった。崩壊発生のおそれが高いとした9箇所の内、4箇所不明瞭な変動縞が表れ(図-3)、5箇所変動縞が表れなかった。変動縞が表れなかった箇所は、いずれも北向きと南向き斜面であった。その他では、崩壊発生のおそれの高いと判定した領域の境界線付近に位置している2箇所不明瞭な変動があり、崩壊発生のお

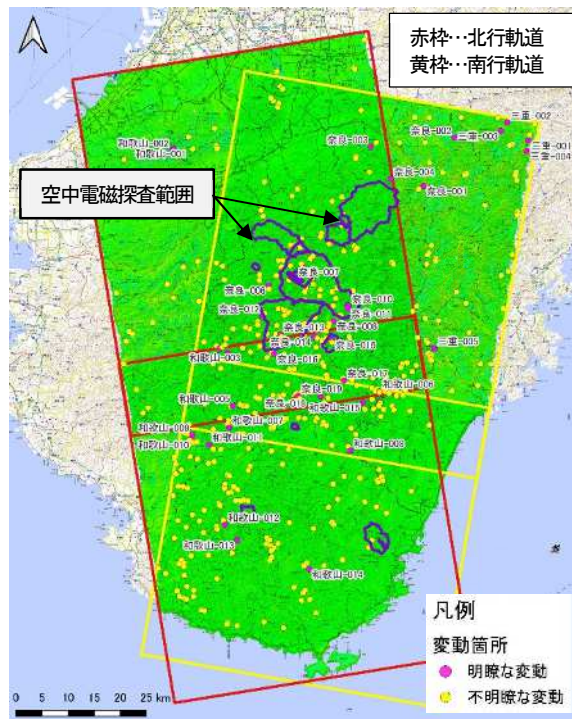


図-1 調査位置図・解析結果

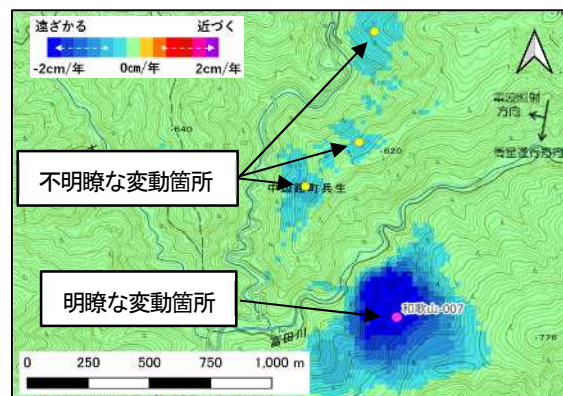


図-2 SBAS 解析結果の変動縞の目視判定例

それが低い箇所では変動縞は表れなかった。

変動の無かった南北方向の斜面の箇所には、現地の道路や擁壁に変状が生じている箇所もあるので、変位があっても InSAR 解析の特性から検出されていない可能性がある。また、変動縞が表れている範囲は、尾根部から中腹にかけての範囲で、谷底の斜面脚部には変動が表れていない場合がほとんどで、このような地形条件の場所でも検出されていない可能性がある。

3.2 LOS 変位量解析結果

SBAS 解析結果の目視判読で明瞭な変動として抽出された 41 箇所および空中電磁探査実施範囲の微地形判読で抽出した重力変形斜面で変動があった 11 箇所について、変動域内の任意の点を選定して LOS 変位量解析を実施した (図-4)。

いずれの箇所において、10 年間に継続した沈下傾向が確認された。10 年間の変動量は、箇所ごとに変動量の大小があり、約 50mm~230mm の沈下量を示した。紀伊山地で実施されている重力変形斜面の動態観測では、変動量が年間数 cm 以内の小さい値が得られているので、数 cm の変動量が検出できる InSAR 解析は、斜面監視モニタリングに有効と考えられる。一方、航空レーザ測量データを利用した差分解析では数 cm 程度の変位量は解析できないが、南北方向の斜面形状の微地形判読、斜面脚部の崩壊発生など、変動量が大きい領域の抽出に適しており、InSAR 解析を補完できる可能性がある。

3.3 時系列 InSAR (SBAS) 解析結果まとめ

SBAS 解析結果について目視判読を行った結果、色変化が濃い明瞭な変動箇所は 41 箇所でありいずれも斜面変動箇所であった。崩壊発生のおそれの高い 9 箇所の内、不明瞭な変動が確認されたのは 4 箇所、変動が表れなかった箇所はいずれも南北方向の斜面の向きであった。

崩壊発生のおそれの高い斜面の評価法は、広範囲に微地形判読を行い現地調査にかなりの時間と労力が必要とする。一方、今回の SBAS 解析では、地すべり地形や重力変形斜面で変動が確認できたことから、広域的な絞り込みには SBAS 解析が有効であることが示唆された。

広域を面的に監視できる SBAS 解析は、cm レベルの地盤変動を数 m から数 10m グリッドの地上分解能で検出でき、時系列の変動量を解析することでより高精度な地盤変動のモニタリングが可能である。特に重力変形斜面は年間の変動量が小さく尾根部に変形が生じるため、SBAS 解析の特性と合致しており、モニタリング手法として有効なことが示唆される。LOS 解析では、対象箇所ごとに斜面変動の経年変化が把握でき、詳細調査の優先度決定や長期的な斜面変動モニタリングにも有効である。

4. おわりに

本研究では、紀伊山地で時系列 InSAR (SBAS) 解析を実施した。既往の地すべり判読箇所や崩壊発生のおそれが高い箇所で SBAS による変動が確認された。崩壊発生のおそれが高い斜面の内、変動が無かった箇所はいずれも南北方向の斜面であった。また、谷底の斜面脚部の変動が表れない場合が多かった。これは SBAS の解析特性による影響と考えられる。

InSAR 解析には、方位による検出能力差や地形の影響、観測周期等の課題がある。これらの得失を十分把握した上で用いる必要がある。また SBAS で検出された変動は今回のデータだけの可能性もあり、継続した解析により同じ箇所でも変動が検出される場合は変動の可能性が高くなると考えられる。

InSAR 解析は地形条件でも解析結果が影響されるため、航空レーザ測量結果を用いた微地形判読や差分解析との組み合わせにより、変動斜面の検出漏れを補完できる場合もあり、航空レーザ測量データの定期的なデータ取得も必要である。

【引用文献】

- 千木良雅弘 (2015) : 深層崩壊の場所の予測と今後の研究展開について, 応用地質, 56 巻, 5 号, p.200-209
- 小竹利明ほか (2020) : 紀伊山地における重力変形斜面と水質の関係, 2020 年度砂防学会研究発表会概要集, p.393-394
- 崎山明紀ほか (2019) : 干渉 SAR 解析による崩壊危険斜面抽出法とその適用範囲について, 河川技術論文集, Vol.25, p. 693-698

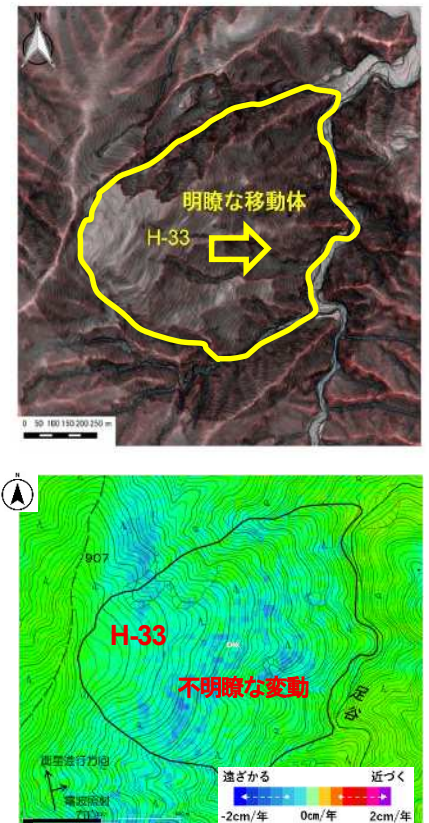


図-3 SBAS 解析結果 (北行軌道)

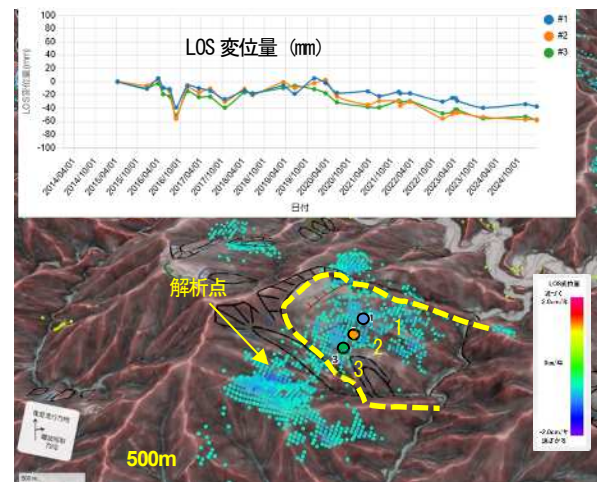


図-4 LOS 変位量解析結果の例