

DInSAR と航空レーザ測量と GNSS を用いた稲子岳の地すべり調査

国立研究開発法人土木研究所 ○水野正樹

株式会社キタック

王 純祥

株式会社パスコ

三五大輔, 西川大亮, 平田育士

1. はじめに

地震等による地すべり性崩壊の前に「地すべり斜面の位置と変位状況と規模」を把握することを目指し、衛星 L バンド差分干渉 SAR (以下、DInSAR)、GNSS 測量、「航空レーザ測量データを用いた三次元の地形図」(以下、LP 地形図)を用いた地すべり調査の事例研究を行った。研究対象地域は、ALOS DInSAR 画像で抽出された地すべり変位候補箇所内の 1 つ、長野県小海町稲子岳¹⁾

(図-1)である。この稲子岳は、① 西暦 887 年 8 月の五畿七道の地震(南海-東海地震)で発生した大月川岩屑なだれ(約 3.5 億 m³)の発生源域(図-1)にあると指摘²⁾されている。② 西暦 887 年 8 月崩壊の推定土砂堆積域には多くの人家が存在³⁾する。③ 今後 30 年間の震度 6 弱以上の公表された発生確率が高い⁴⁾。この①②③の理由から、地震等により崩壊が発生した場合には被害が出る可能性があると考えて研究対象地域とした。なお、稲子岳の現地踏査では地すべり変位の有無が確認できなかった。

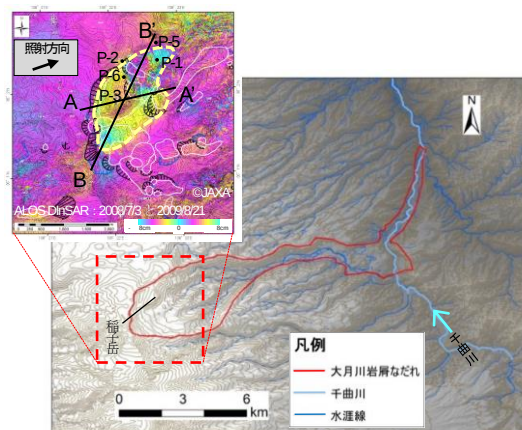


図-1 対象地域の位置(赤点線)と西暦 887 年大月川岩屑なだれ範囲²⁾(赤線)と ALOS DInSAR 画像

2. 調査解析

2.1 GNSS 測量

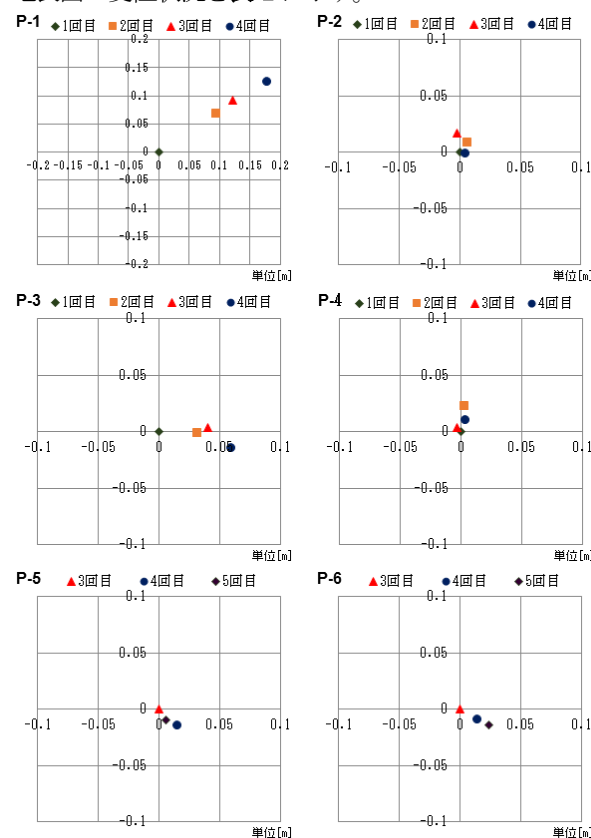
2.1.1 方法

GNSS 測量の測点は、ALOS DInSAR 画像で変位量の分布を予想し選定した P-1~P-4 の 4 測点で開始し、3 回目から P-5、P-6 の 2 測点を追加して 6 測点で実施した。P-1~P-6 の位置を図-1 に示す。なお P-4 は不動点として対象地域の外に設置した。測量は、電子基準点を既知点とした 1 級基準点測量相当の結合多角網を形成し、GNSS 測量によるスタティック方式により計 5 時期(2013/10/23、2014/10/29、2015/8/4、2016/8/23、2016/10/27)において、水平位置並びに標高を算出した。観測時間は、各測点で 30 秒間隔の連続 3 時間。各回とも同じ解析辺(P-1~P-4、P-5~P-6)で計測した。各測点について、GNSS 測量した各回の測量結果を比較し、変位量を算出した。そして有意な地表面変位かどうかを

判定した。GNSS 測量結果の差の標準偏差の 2 倍の範囲をとった場合、正規分布ではこれ以上の誤差が生じる可能性は約 5 % と小さい。そこでこの値を「推定最大誤差」とみなし、2 時期の GNSS 測量結果の差が推定最大誤差を超える場合に有意な地表面変位であると判定した。なお、GNSS 測量は一般的に水平方向よりも鉛直方向の精度が悪いことから、水平変位のみを用いて判定した。

2.1.2 GNSS 測量結果

水平方向について、P-1~P-6 のそれぞれ初回を原点として、GNSS 測量した 2 回目~5 回目の変位量と変位方向の計測結果を図-2 に示す。この結果から稲子岳山体の表-1、図-4 に示す P-1、P-3、P-6 の 3 測点で有意な地表面変位があると判定した。GNSS 測量による有意な各測点の地表面の変位状況を表-1 に示す。



※横軸 (X 軸) が東西方向、縦軸 (Y 軸) が南北方向を表す。

図-2 各計測点の変位量と変位方向 (単位: m)

表-1 稲子岳 GNSS 測量の各測点の地表面変位状況

測点	有意な地表面変位	地表面の変位状況
P-1	あり	1,035 日間で計測された変位量は 218mm
P-2	なし	1,035 日間で有意な変位は認められない
P-3	あり	1,035 日間で計測された変位量は 62mm
P-4	なし	(不動点) 有意な変位は認められない
P-5	なし	450 日間で有意な変位は認められない
P-6	あり	450 日間で計測された変位量は 28mm

2.2 地すべり変位土量の推定

稲子岳の地すべり変位土量を推定するため、図-4 に示す AA' 断面の位置でせん断強度低減法と震度法⁵⁾ の解析を地下水考慮で実施して、最大せん断ひずみ速度コンターを図-3 のとおり算出した。この図-3 における「最大せん断ひずみ速度の高い層 (断面方向)」は、地表面交点が DInSAR 変動縞境界と、形状が背後地形と概ね一致した為、すべり面の位置と推定した。さらに図-1 の DInSAR 画像に点線で示す変動縞を地すべり領域 (変位平面) と考えて、稲子岳全体が地すべり変位している場合の変位土量の推定値を約 2 億 m^3 と算定した。

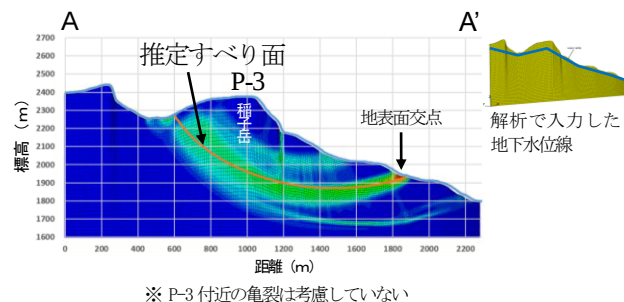


図-3 震度法による AA' 断面における最大せん断ひずみ速度コンターと推定すべり面

2.3 LP 地形図による微地形の確認

航空レーザ測量データ⁶⁾ を基に図-4 の LP 地形図を作成し稲子岳の微地形を判読した。その結果 P-3 付近の山体には開口亀裂を含む大小の亀裂の微地形が判読できた。

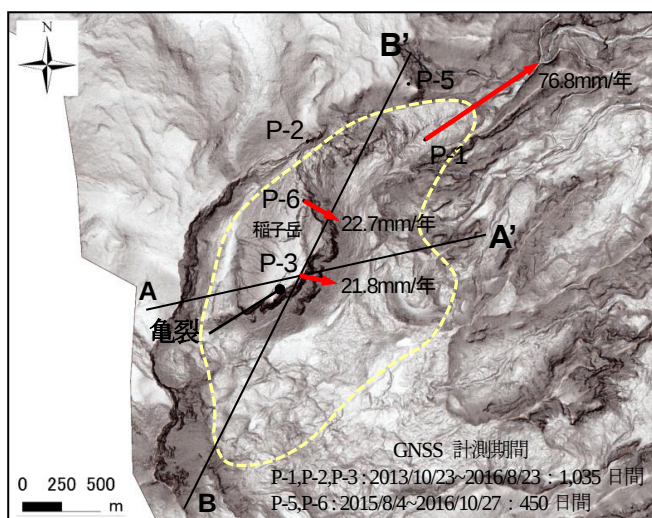


図-4 稲子岳の LP 地形図と GNSS 測量の水平方向変位と ALOS DInSAR 画像の変位領域 (点線)

2.4 変位分布の把握

L バンド ALOS-2 DInSAR 画像と GNSS 測量により地すべり変位の平面分布を推定した。DInSAR 画像は、ノイズを含む可能性があるが、図-5 に示す「沈下」、「東方へ変位」、「押し出し」領域の変位分布が現れた。これは、GNSS 測量の計測結果と概ね整合した。

3. 稲子岳の地すべり変位の考察

・図-5 の ALOS-2 DInSAR の変動縞がノイズで無く変位である場合、GNSS 測量の P-3、P-6 の変位方向から、稲子岳山体の動きは、概ね BB' の方向を軸に回転しながら、下流方向へ地すべり変位していることが考えられる。

・稲子岳で安定性が特に低いと考えられる次の 2 ヶ所の斜面を特定した。図-5 で測点 P-1 を含む北東側にある「押し出し」領域は DInSAR 画像の点線で囲まれた変位領域内で最も変位速度が速く、この斜面は安定性が特に低い地すべりブロック (土量数百万 m^3 程度と推定) と考えられる。図-4 の P-3 付近の LP 地形図から判読した山体亀裂の南東側 (谷側) のブロックは、図-5 の ALOS-2 DInSAR 画像で山体本体と比べて変位が異なっていたことから「二次すべり」を形成していると判断した。この「二次すべり」 (土量数百万 m^3 程度と推定) も斜面安定性が特に低く崩壊しやすい斜面と考えられる。

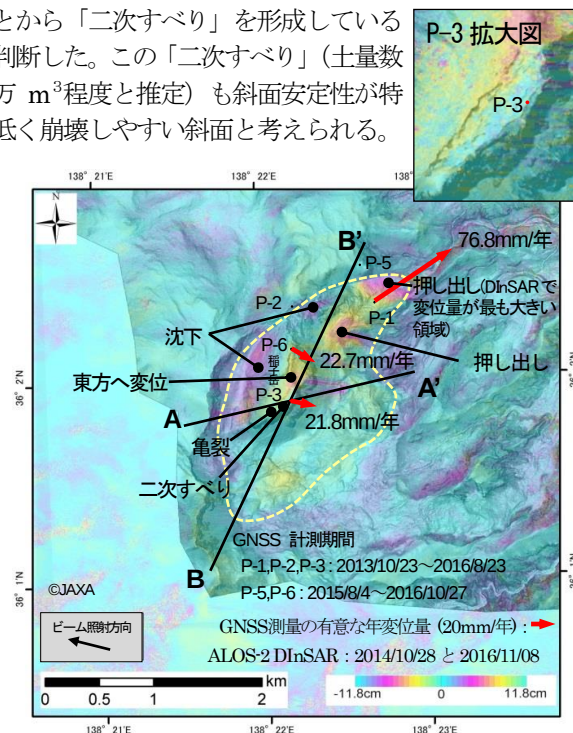


図-5 ALOS-2 DInSAR 画像と GNSS 測量と LP 地形図から推定した稲子岳山体の変位分布

4. おわりに

本稿では、DInSAR と GNSS 測量と LP 地形図を併用した地すべり調査の有効性について事例研究を行った。DInSAR 画像は、ノイズを含むが、変位領域と速度分布が画像に現れることから、地すべりの広域探索と地すべりブロックの面的な動きの把握が、低コストで可能となる。これに GNSS 測量と LP 地形図を併用することで、DInSAR 画像のノイズ判別、変位量の計測、微地形判読において精度が向上するとともに、地表変位有無の判別の信頼性が向上した。

<引用文献>

- 1) 小荒井ら (2014) : 地すべり性斜面変動の前兆を干渉 SAR と航空レーザ測量で捉える, 日本地球惑星科学連合大会, HDS29-05
- 2) 井上公夫ら (2012) : 日本の天然ダムと対応策 改訂版, 砂防フロンティア整備推進機構, p36
- 3) 総務省統計局 (2012) : 平成 22 年国勢調査小地域集計
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2017) : 全国地震動予測地図 2017 年版
- 5) (社) 日本道路協会 (2012) : 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- 6) 北陸地方整備局 松本砂防事務所 (2014) : 平成 25 年度信濃川上流域航空レーザ計測 (その 3) 業務