

衛星 SAR による地すべり斜面の動態観測結果の評価技術の高度化検討（その 1）

中電技術コンサルタント(株) 正会員 岩田 直樹, 正会員○鹿瀬 一希
西松建設(株) 正会員 高村 浩彰, 正会員 黒田 卓也
琉球大学 正会員 伊東 孝, 正会員 藍檀 オメル, 正会員 渡嘉敷 直彦
山口大学 正会員 清水 則一, 正会員 中島 伸一郎
(株)岩下建技コンサルタント 非会員 兼村 友也

1. はじめに

衛星 SAR は天候や昼夜に左右されず、現地に計測機器等を設置しないため、低コストで広範囲を把握できる可能性があり、斜面変状や地表面沈下などの観測に活用されつつある。しかし、観測される変位は衛星から地表を見た視線方向の変位であることや、変位以外の様々なノイズが含まれており微小な変状を検出することは困難であるなどの課題も多い。

そこで本検討では、沖縄本島中南部で地すべりが多発している地区を対象に、異なる方向（東側および西側）から観測された衛星 SAR データを用いて時系列干渉 SAR 解析（SBAS 解析）を行い、両者の結果を用いて斜面最急勾配方向の水平および上下変位の挙動を推定し、伸縮計による実測値と比較して SAR による解析結果の妥当性を検討した。

2. 対象地点の概要

対象地点は、図-1 に示す沖縄本島の中南部に位置する中城湾周辺の斜面であり、地形的に東南方向に傾斜する比高差約 100m の段丘地形が海岸線とほぼ平行に連続しており、地すべりブロックが多数存在している。この地域では、ほぼ全域にわたって島尻泥岩が分布し、風化により軟質・土壌化しやすいため表層から概ね 10～20m 以浅ですべりが発生している。

対象地点は、図-1 および図-2 に示す伸縮計が設置されている奥間地区とした。伸縮計は、勾配 20°前後の南東向き斜面に、3 台(S-1～S-3)を斜面方向に数珠つなぎに配置しており、S-1 は 2019 年 12 月から、S-2 と S-3 は 2021 年 9 月から計測を行っている。

3. 解析手法の概要と検討条件

本検討では、時系列干渉 SAR のうち、斜面全体の面的な時系列変位を評価できる SBAS (Small Baseline Subset algorithm) を用い、ENVI SARscape Ver.5.6.2 ソフトウェア (sarmap 社) により解析を行った。解析によって得られたディセンディング (南行軌道, 東側から観測) とアセンディング (北行軌道, 西側から観測) の時系列 LOS 変位を用いて次式により斜面方向の変位を推定する。推定に当たっては、斜面変動は斜面最急勾配方向への動きが主体で、それと直交する方向の変位は無視できると仮定し、図-3 に示す斜面最急勾配前面方向への水平変位 H と上下変位 V で表した。

$$H = (LOS_d \cdot \sin \phi_a - LOS_a \cdot \sin \phi_d) / \{ \cos(90 + \delta_d - \theta) \cdot \sin \phi_a \cdot \cos \phi_d - \cos(90 + \delta_a + \theta) \cdot \cos \phi_a \cdot \sin \phi_d \} \quad (1)$$

$$V = (LOS_a - H \cdot \cos(90 + \delta_d - \theta) \cdot \sin \phi_a) / \sin \phi_a \quad (2)$$



図-1 検討位置と SAR 解析範囲



図-2 奥間地区の地形と伸縮計設置位置

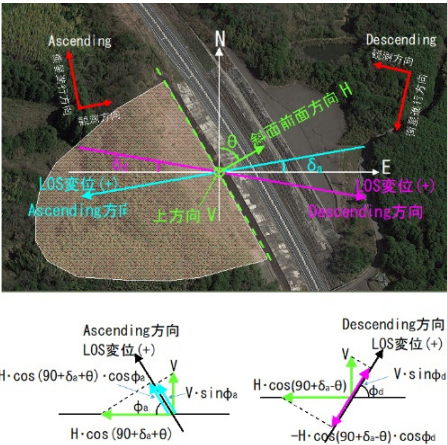


図-3 斜面方向の変位算定の概念図

キーワード 衛星 SAR, 時系列干渉 SAR 解析, 地すべり, モニタリング
連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐二丁目 3 番 30 号 解析ソリューション部 TEL 082-256-3416

衛星 SAR データは、陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」(ALOS-2, 宇宙航空研究開発機構: JAXA) に搭載された L バンド波長の合成開口レーダ (PALSAR-2) を用いた。アセンディングは 2014 年 9 月 26 日～2022 年 7 月 22 日 (計 24 シーン), ディセンディングは 2015 年 2 月 28 日～2022 年 6 月 11 日 (計 26 シーン) の SAR データを用いて解析を行った。なお, SAR 解析における評価単位 (ピクセル) は $10\text{m} \times 10\text{m}$ とした。斜面最急勾配方向は, 国土地理院の 5mDEM データを用いて SAR の評価点毎に標高を算定し, 該当する解析点とその周辺の評価点の標高より算定した。評価単位を 10m としていることから, 評価点の周囲 10m の平均的な斜面最急勾配とその方向になっている。

4. SAR 解析結果と実測値との比較

図-4 および図-5 は斜面前方への水平変位と上下変位の年平均変化量 (変位速度) 分布を示す。変位速度は, 変位の時系列データを最小二乗法により直線近似したときの傾きである。水平変位は斜面前方方向をプラス, 上下方向は沈下をマイナスとしている。伸縮計の南側では, 地形判読による地すべりブロックの動きが小さいのに対して, ブロック背後の急峻な斜面部で $20\text{mm}/\text{年}$ を超える水平変位と $10\text{mm}/\text{年}$ を超える沈下が生じている。現地踏査でも, 滑落崖背後の斜面で崩壊が進んでいることを確認しており, 現地状況とも整合した結果となっている。変動の大きい箇所が, 地形判読による地すべりブロックに沿って生じていることから, 提案手法により評価することで, 異なる向きの斜面に対して適正に面的な評価を行えていることが分かる。

伸縮計による実測値との比較に当たっては, 伸縮計の固定部と移動杭の位置するピクセルの時系列変位データを用いて, 固定部～移動杭の相対的な長さの変化を算定して比較した。図-6 に SAR 解析結果と実測値の比較を示す。S-1 および S-2 は実測結果と整合した結果となるが, S-3 は変状を捉えられていない。これは, S-1 および S-2 は, 伸縮計の延長がそれぞれ 12m , 17m であるのに対して, S-3 は滑落崖を跨いで 5m と短いためと考えられる。本検討では, SAR 解析結果のばらつきを小さくするために, $10\text{m} \times 10\text{m}$ のピクセル内の SAR データを平均化して解析している。このため, 隣接するピクセルで評価した場合, 変化を捉えづらくなった可能性が考えられる。

5. おわりに

本検討では, 異なる 2 方向の時系列干渉 SAR 解析結果を用いて, 斜面方向を考慮した変位挙動評価法を提案し, その妥当性を検討した。その結果, 現地状況や伸縮計による実測値と比較的整合した結果が得られた。今後は, 斜面方向が異なる他地区での検証を引き続き行い, 提案手法のモニタリングへの適用性を検討していく予定である。

謝辞: 本研究は, 中電技術コンサルタント(株), 西松建設(株), (株)岩下建技コンサルタント, 琉球大学, 山口大学の共同研究として実施した。山口大学と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との連携協力協定に基づき JAXA から提供された ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた。ここに記して関係者各位に謝意を表する。また本研究の実施にあたり, 貴重な資料をいただいた沖縄県中部土木事務所の各位に深く御礼申し上げます。

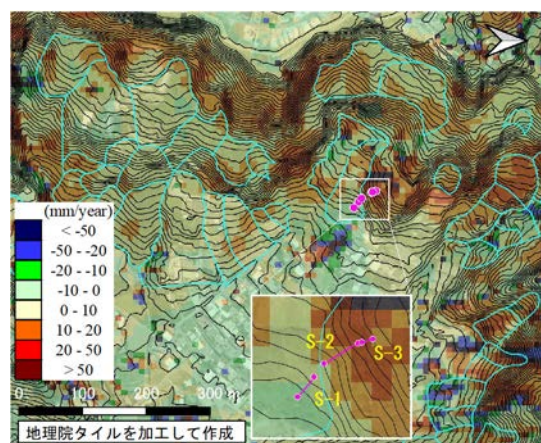


図-4 SAR による斜面前方への水平変位速度分布

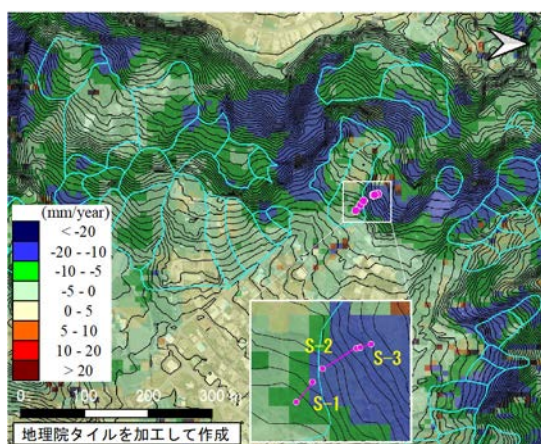


図-5 SAR による上下方向の変位速度分布

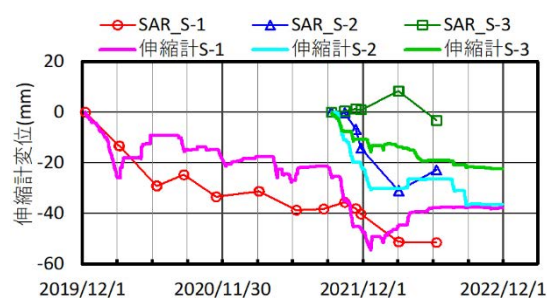


図-6 SAR 解析結果と伸縮計実測値との比較