

山間部における合成開口レーダ（SAR）による斜面変状計測

鹿島建設(株) 正会員 ○横田泰宏 伊達健介 川野健一 江口健治 森田真幸 松本 健太郎
(株)Synspective Pradeep Kambhampati Prakhar Misra 芝 雄正

1. はじめに

近年、様々な分野において衛星データの活用が盛んに行われている。筆者らは、建設分野における合成開口レーダ（SAR）を用いた地盤変状計測の適用性について検討を進めており、都市域や山間部での計測事例について知見を蓄えてきた。本報では、山間部の地すべり斜面において衛星計測を行い、地上に設置されている地盤伸縮計の計測データと衛星計測データを比較した結果について報告する。

2. SAR 衛星データ概要

表－1 は現在利用できる代表的な SAR 衛星の種類とそれぞれの仕様を取りまとめた一覧図である。都市域ではマイクロ波のうち、波長が短く、高分解能な X バンド帯や C バンド帯の衛星データが使用されることが多いが、植生が生い茂る山間部では、マイクロ波が透過しないため計測が困難となる。一方、本報で活用した L バンド帯のマイクロ波は、波長が長いため分解能が低下するが、山間部でもデータを取得しやすい特長がある。一般的に、地盤変状の把握を目的として差分干渉 SAR 解析が実施されるが、最近では今まで以上に高精度に地盤の変状を評価できる手法として、PS 干渉 SAR 解析と呼ばれる手法が適用されるケースが増加している。PS 干渉 SAR 解析では、PS（Persistent Scatter）点としてノイズ量の少ないピクセルを計測が可能なポイントとして抽出し、その地点での位相の変化を計算して地盤変動量を分析する¹⁾。図－1 は同じ山間部において C バンド帯と L バンド帯のマイクロ波を用いて衛星データを取得し、PS 干渉 SAR 解析を実施した結果である。この結果をみると、計測可能なポイント数に明らかな違いがあることが分かり、計測点密度には 10 倍以上の差異があることが確認された。

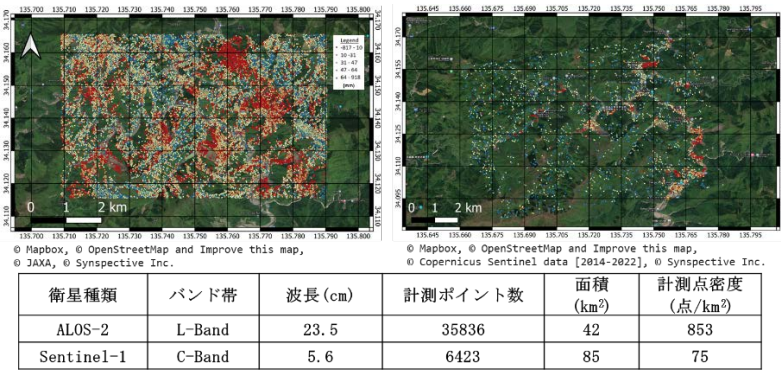
3. 地すべり跡地における SAR 衛星計測

(1) 現場概要

今回、検討の対象とした斜面は過去に発生した地すべり跡地であり、地盤伸縮計や水位観測孔などを活用した様々な計測が行われていた。図－2 は、斜面情報および地盤伸縮計の設置イメージである。同斜面は北西の方角に向かって傾斜しており、その傾斜角は約 25 度であった。地盤伸縮計は主に地すべり跡地の頭頂部に設置されていた。衛星データには、2019 年から 2021 年までに L バンド SAR（ALOS-2）で取得されたデータを活用した。これらのデータと現場に設置された地盤伸縮計データを比較することで、山間部における L バンド帯の衛星データの斜面計測における計測能力を確認した。

表－1 代表的な SAR 衛星

	Xバンド帯	Cバンド帯	Lバンド帯
電磁波の波長	3cm（短）	6cm（中）	24cm（長）
検出可能な変位 （範囲/分解能）	狭域/高	中程度	広域/低
データ取得の 容易性	植生地帯は 困難	植生地帯は 困難な ことが多い	植生地帯でも 可能
代表的な衛星	TerraSAR-X	Sentinel-1	ALOS-2
データ計測周期	定期観測 （11日毎）	定期観測 （12日毎）	定期観測 （4回/年）
費用	有料	無料	有料



図－1 山間部での計測点数比較（左：L バンド帯、右：C バンド帯）

キーワード 衛星，リモートセンシング，合成開口レーダ，差分干渉 SAR，斜面計測

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2 丁目 19－1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

(2) 計測結果および考察

PS 干渉 SAR 解析から得られる地盤変動量は、衛星から地表を見たときの視線方向 (LOS: Line of Sight) の変位 D_{LOS} であるため、地盤伸縮計と比較する前処理として次式を用いて斜面方向に沿った変位量 D_{SLOPE} に変換した。

$$D_{SLOPE} = D_{LOS} / C \quad (1)$$

$$C = \eta_{los} \times \eta_{slope} \quad (2)$$

$$\eta_{los} = [\sin \theta \cdot \sin \alpha, -\cos \theta \cdot \sin \alpha, \cos \theta] \quad (3)$$

$$\eta_{slope} = [-\cos A \cdot \cos S, -\sin A \cdot \cos S, \sin S] \quad (4)$$

ここで、 C は変位量の変換係数である。また A は斜面の向き、 S は斜面の傾斜角を示し、図-3 のように θ は衛星の進行方位を、 α はマイクロ波の入射角をそれぞれ示している。

次に、斜面方向の変位を用いて、図-4 に示すように伸縮計の上下をゾーニングし、各ゾーンの平均変位量を算出した。最後に、上下の差分変位を計算した結果と地盤伸縮計のデータを比較した (図-5)。同図では、参考までに地盤伸縮計を設置していない場所のデータも同様な計算処理を行って経時的なデータを表示している。この結果、斜面の頭部に当たるゾーン E において、他と異なる変位が観測されていることが見てとれる。つまり、広域な斜面を対象として衛星計測を実施した場合、変位の方向の換算やゾーニングを適切に行うことによって、地盤変位が生じている範囲を検出できる可能性が確認できた。当現場では、地盤変位が生じている範囲を事前に把握できていたため、予め地盤伸縮計が設置されていたが、その計測結果と比較することで、衛星計測により推定された変位量の信頼性が高いことを確認できた。

4. おわりに

伸縮計などの実測データと衛星データを比較した結果はいまだ少なく、本検討を通じて実際の現場にて有意義な検証結果が得られたと考えている。今後は、他地点の斜面計測へ展開を図り、広域な斜面変位状況や危険度の評価、計測機器の設置位置の提案などに活用していく所存である。本研究の遂行にあたり、貴重なご助言を賜り、伸縮計のデータを活用させていただいた国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所の皆様に深く感謝申し上げます。

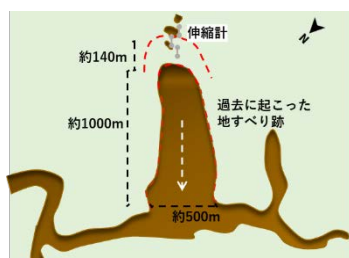


図-2 計測対象の斜面と地盤伸縮計の設置位置

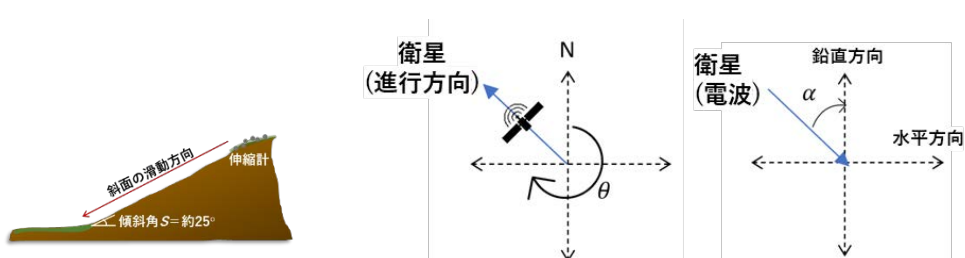


図-3 斜面方向変位への換算に必要なパラメータ

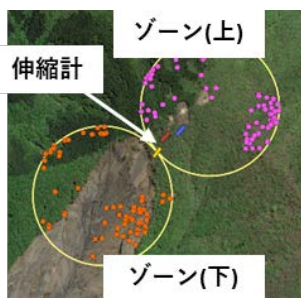


図-4 地盤伸縮計近傍のゾーニング例

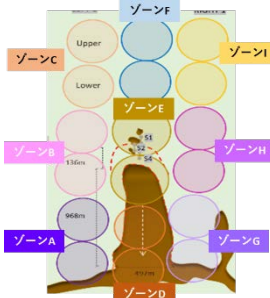
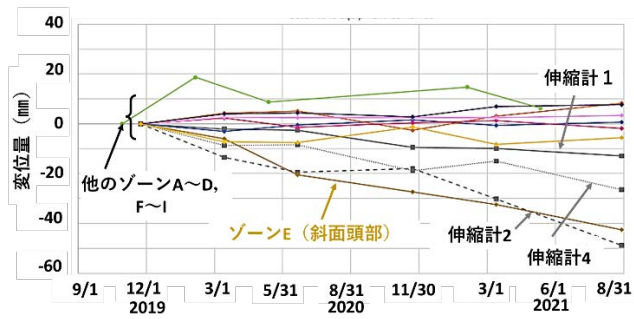


図-5 各ゾーンにおける斜面方向変位と地盤伸縮計の比較



参考文献

- 1) 石塚師也, 松岡俊文: ALOS/PALSAR データを用いた PS 干渉 SAR 解析の精度評価—千葉県九十九里地域の地表変動を例として, Journal of The Remote sensing Society of Japan, Vol.36, No.4, 2016.