

衛星 SAR 画像を用いた地盤変位抽出の取組み

電源開発株式会社 正会員 ○庄路 友紀子, 高畠 正治
(株) J-POWER ビジネスサービス 非会員 鍋嶋 佳弘, 重岡 優希
山口大学 正会員 清水 則一

1. はじめに

近年, 衛星 SAR 画像を用いて地盤や斜面などの地表の変位分布を抽出する取組みが各方面で行われている。この技術は干渉 SAR と呼ばれ, 人工衛星に搭載された合成開口レーダ (SAR) から地表に向けて照射したマイクロ波の反射波の受信データを解析して広範囲にわたる地表の変位分布を求めるものである¹⁾。干渉 SAR の変位精度は, 解析で使用する衛星 SAR 画像の種類や処理手法の違い, 観測環境による誤差, 観測対象地表の状況など, 各要因の組合せに依存する。また, 結果についても変動有無の判定のみ, cm オーダー, mm オーダーまで様々な報告がされている²⁾。したがって, 干渉 SAR を適用する場合, 結果の適切な評価が重要であり, 正しく変位を抽出できているか判断することが課題である。そこで, 本稿では, 多時期の SAR 画像を用いることで高い精度で地表の変位分布を求めることができる時系列干渉 SAR 解析 (SBAS-DInSAR)³⁾を適用し, 得られた変位の精度を水準測量と比較することで確認した結果を報告する。

2. 時系列干渉 SAR 解析の概要

一般的に干渉 SAR では 2 時期の SAR 画像を使用して地表の変位を抽出するが, その解析結果には地表面変位量を得るための情報以外に電波や水蒸気などのノイズ, 衛星の軌道誤差, 植生等による地表の季節変化の影響などによる誤差が含まれている。そのため, 多時期の SAR 画像を用いることでこれらのノイズや誤差を低減し, 高い精度で地表の変位分布を求められる解析方法が提案されている。これを時系列干渉 SAR 解析と呼び, PSInSAR と SBAS-DInSAR の 2 種類の手法がある。PSInSAR 法は SAR 画像の中で強く安定した後方散乱を示す点 (PS 点) を抽出し, それらのピクセルのみで変位の推移を求める方法で, 人工構造物等の長期間変化しない物体の変位を把握する際に用いられる。一方, SBAS 法は衛星の基線長 (衛星軌道間の距離) および観測時期の間隔が比較的短い SAR の干渉画像を多数作成して, 地表の変位分布の時系列推移を求める手法で, 地盤や斜面などの変位を面的に捉える際に用いることが多い。本研究では SBAS 法を用いる。

3. SAR データと解析の条件

SAR データとして欧州宇宙機関(ESA)の Sentinel-1 を用いる。SBAS 法の変位計測精度を確認するために, 電源開発(株)管理の平地を対象に解析コード SARscape (sarmap 社) の SBAS 法を適用した。解析ケースの条件の概要を表-1 に示す。解析では, 衛星の基線長を 150m 以下とし, 観測時期の間隔は概ね 2 週間以内として, 比較的干渉性の良いデータを用いた。CASE-1 では北行軌道の右視線観測方向からの 2017 年 2 月~2018 年 6 月の SAR 画像を, CASE-2 では南行軌道の右視線観測方向からの 2017 年 2 月~2019 年 7 月の SAR 画像を使用し, 両ケースの結果を比較できるようにした。また, 地形縞を除去する際には, 国土地理院が配布する 5m メッシュの数値標高モデルを用いた。マルチルック数やノイズのフィルタ強度については感度分析でノイズや誤差の除去低減度合をみながら, 適切なパラメータを設定した。

表-1 解析ケースの概要

	CASE-1	CASE-2
観測方向	北行軌道	南行軌道
観測期間	2017/2/20 ~2018/6/15	2017/2/26 ~2019/7/10
使用した SAR画像数	40枚	62枚
マルチルック数	レンジ方向3×アジマス方向1 (分解能約15m)	
ノイズの フィルタ強度	Gold Stein Filter窓 64×64ピクセル	
コヒーレンスの 閾値	0.2	

キーワード 地表の変位分布計測, 時系列干渉 SAR 解析, SBAS 法

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 電源開発 (株) 茅ヶ崎研究所 TEL 0467-87-1211

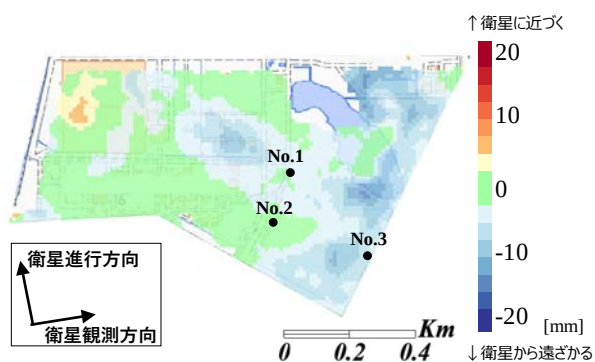


図-1 CASE-1(北行軌道)で求めた
2017年2月～2018年6月の変位分布

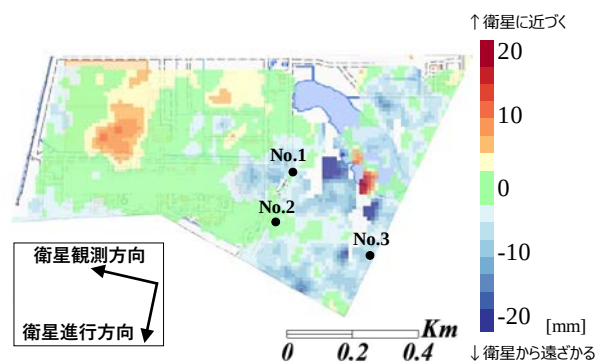
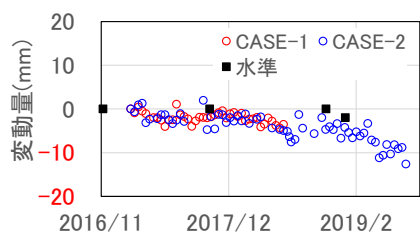
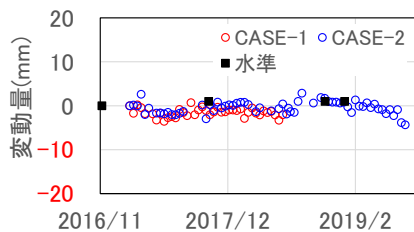


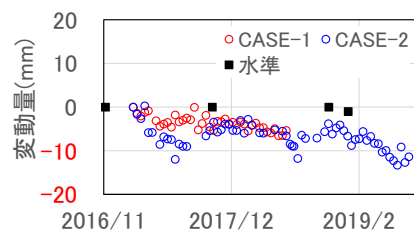
図-2 CASE-2(南行軌道)で求めた
2017年2月～2018年7月の変位分布



(a) 測点 No.1



(b) 測点 No.2



(c) 測点 No.3

図-3 CASE-1,2 で求めた変位の時系列変化と水準測量結果の比較

CASE-1(北行軌道)で求めた2017年2月～2018年6月の地表の変位分布を図-1に、CASE-2(南行軌道)で求めた2017年2月～2018年7月の地表の変位分布を図-2に示す。これらの結果は衛星からの視線方向変位を示している。図-1, 2の結果を比較すると、CASE-1, 2ともに変動箇所は概ね一致していることが確認できる。また、敷地の東側では、CASE-1,2ともに衛星から遠ざかる方向に変動、つまり(現場は平地で水平方向変位は無視できるため)地盤沈下を示す変動が確認でき、その変動量は5～15mmであった。

4. 水準測量との比較

3. で求めたSBAS解析の結果の精度を確認するために、図-1,2に示す測点No.1～3においてCASE-1,2で求めたSBAS解析結果と水準測量結果を比較した(図-3)。このとき、実際の変位は鉛直方向のみと仮定して、SBAS解析で得られた視線方向変位を鉛直方向変位に変換した。図-3から測点No.1と測点No.2では、CASE-1, 2で求めた変位は水準測量結果とよく一致していることが確認できる。また、測点No.3ではCASE-1, 2で求めた変位と水準測量結果との差は最大でも10mm程度である。DInSARの本来持つ誤差やSentinel-1データを用いたCASE-1,2の結果は15m四方の範囲で生じた平均的な変位であるのに対し、水準測量は点計測であるという違い等を考慮するとおおむね妥当な結果と考えられる。

5. まとめと考察

本稿では、時系列干渉SAR解析の変位計測精度を確認するために、多時期のSAR画像を用いて時系列干渉SAR(SBAS)解析を行い、得られた結果と水準測量結果を比較した。両結果の差は最大でも10mm程度以内であった。干渉SAR解析は地表にセンサーを設置することなく広域変位分布を時系列で求めることができる利点があり、実用的な変位計測手法としての特徴と限界を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 清水則一:宇宙技術とのコラボレーションによる”時空間切れ目のない”地盤モニタリング, 地盤工学会誌, 67-3(734), pp.12-15, 2019.
- 2) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)ホームページ: https://www.jst.go.jp/sip/k07_kadai_dl.html
- 3) Berardino P, Fornaro G, Lanari R, Sansosti E: A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 40:2375–2383, 2002.