

Xバンド SAR 衛星による地表変位計測の精度評価に向けた基礎検討

鹿島建設(株) 正会員 ○平野裕之 露木健一郎 横田泰宏 伊達健介
(株) Synspecive 芝 雄正 木村詩織 Tapas Kumar Dey

1. はじめに

小型衛星からの、センシングデータが毎時更新される時代の到来を見据えて、建設分野でも SAR（合成開口レーダ）衛星を活用した構造物や地盤の変状を計測する試みが盛んに行われている。筆者らは、地上にコーナリフレクタ（CR）を設置して変位を与え、Xバンド SAR 衛星の変位計測値と比較して精度を評価する取り組みを行っている。本文ではデータ蓄積後に行う変位計測に向けて反射画像を分析したので報告する。

2. 衛星計測例と課題

SAR 衛星による地表変位計測は、衛星から地上に電波（マイクロ波）を照射し反射波の輝度や位相情報から変位を算出する。例えば着目エリアで長期間の衛星計測を行うと¹⁾、図-1 左図中の全ての点から地表面変位情報を取得し、右図のような時間変化グラフを得ることができる。衛星計測では広範囲の情報を時系列で評価できるため、建設プロジェクトの計画から施工、維持管理段階まで様々な活用が期待できる。

一方、建設プロジェクトへの適用にあたって、SAR 衛星計測の課題は計測周期と計測精度と言える。計測周期は、小型衛星コンステレーションの構築によって解決が図られており、計測精度は波長の短い X バンドの選択や解析手法の工夫などで改善が見られる一方で、例えば反射対象の違い（建物、道路、芝生など）や気象条件によって計測精度に差異が生じることも考えられる。

3. Xバンド SAR 衛星データを用いた精度検証

衛星計測は、衛星から送信される電波の種類によって計測精度が異なる。筆者らは、これまでに C バンド（波長約 6cm）や植生に強い L バンド（波長約 24cm）のデータを用いて分析を行ってきた²⁾。近年は、より高分解能な X バンド（波長約 3cm）を搭載した小型衛星の打上げが進んでいる。また、電波の反射率は対象物の材質や寸法・形状により異なる。そこで、大きさが異なるスチール製の CR や反射面となる底面の材質が異なる CR を製作・設置し、沈下を模擬して X バンド SAR データから得られる変位計測の精度検証を行うこととした。

(1) CR の製作

表-1 に製作した CR の概要を、図-2 にその外観をそれぞれ示す。四角板の CR は 1 面を 100cm 角の試料（モルタル/アスファルト/人工芝/土）とした。三角板の CR は三面ともスチール製で短辺の長さが 100cm、75cm、50cm、35cm である。CR は互いに 10m 以上の離隔をとって設置した。各 CR は高さ調整台に載せて測量により 1mm 以内の精度で高さを変更できるようにした。これらの他に、高さの基準用と草木の影響確認用

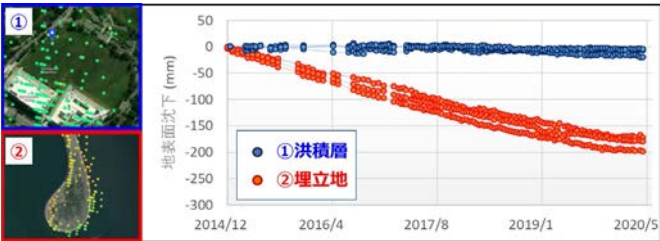


図-1 SAR 衛星（C バンド）による長期計測例

表-1 3 面 CR のレーダ断面積

コーナリフレクタ (CR) のタイプ	レーダ断面積 [dB m ²]	レーダ断面積 の比
三角板・三面 	$\sigma_T = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2}$	1
四角板・三面 	$\sigma_T = \frac{12\pi a^4}{\lambda^2}$	9

注) a : CR サイズ, λ : 波長

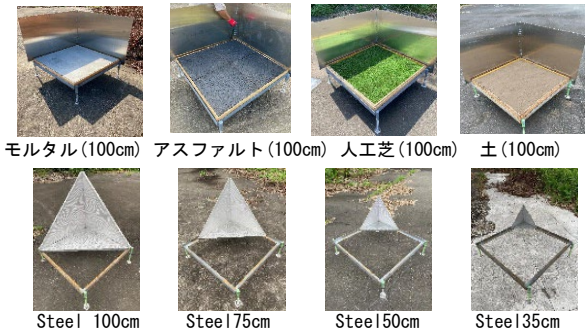


図-2 実験で設置した CR の外観

キーワード 衛星データ, リモートセンシング, PS 干渉 SAR, 広域監視・観測, モニタリング

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

に、サイズ 100cm の三角板三面 CR を 1 台ずつ調整台に載せずに地面に固定して設置した。

(2) 衛星と解析の概要

SAR 画像の取得は X バンド衛星 (DLR SAR 衛星コンステレーションの TerraSAR-X, PAZ および TanDEM-X) により行った。同じ軌道を通過する度に、地上の CR の高さを調整して、SAR 画像を取得し、複数の SAR 画像を用いる PS 干渉 SAR 解析により変位を算出して CR の測量値と比較する。この手法では Persistent Scatter (PS) と呼ばれる干渉度低下の影響が小さい部分を抽出し、SAR 画像に含まれた大気や軌道誤差に起因する誤差を推定・除去して、変位計測の精度を向上させる。そのため解析に使用する SAR 画像の枚数は多いほど良いとされている³⁾。

(3) CR の反射強度

図-3 に撮像で得られた X バンド SAR 画像 (VV 単偏波の振幅値画像) の例を示す。電波の反射強度が強いほど白色となる合計 10 台の CR の像を画像中に確認できる。各 CR と周辺部の反射強度比である SCR 値 (Signal Clutter Ratio) の推移を図-4 と図-5 に示す。このときの地上の気温や降水量は図-6 のとおり、CR 反射率との関連性は認められなかった。

図-7 に SCR 値の平均と変動係数 (標準偏差を平均値で除した値) を示す。平均値に関して、四角板三面 CR の SCR 平均値が三角板三面 CR よりも低いこと、三角板三面 CR の SCR 平均値が CR サイズに依存すること、などが確認された。前者の理由は四角板三面 CR の 1 面が低反射率の材質であったためと考えられる。SCR 値のばらつきを示す変動係数に関しては、モルタルと土が低く、アスファルトと人工芝が高いことが確認された。これらの傾向は試料の比誘電率や表面の凹凸の影響によるものと考えられる。

(4) 変位計測について

SAR 画像をさらに蓄積して PS 干渉 SAR 解析を行い変位の精度を評価していく予定である。

4. おわりに

衛星計測の特徴や精度に関して様々な知見を収集し衛星計測を建設分野に活用できれば、地表面沈下や斜面変状の広域監視・観測に役立てられる。他のセンシング技術とも組み合わせるなどして、モニタリングの精度向上につなげたい。

参考文献

- 1) Yokota Y., Date K., Choo M. A., Yeo C. H., Kam P. & Misra P. (2022). Application of Satellite Sensing Data to Ground Monitoring. Proceedings of the 11th International Symposium on Field Monitoring in Geotechnics (in press).
- 2) 横田ら：山間部における合成開口レーダ (SAR) による斜面変状計測，土木学会第 78 回年次学術講演会集，投稿中，2023.
- 3) Morishita, Y., M.Lazecky, T.J.Wright, J.R.Weiss, J.Elliott & A.Hooper (2020). LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor. Remote Sensing, 12 (3). 424.

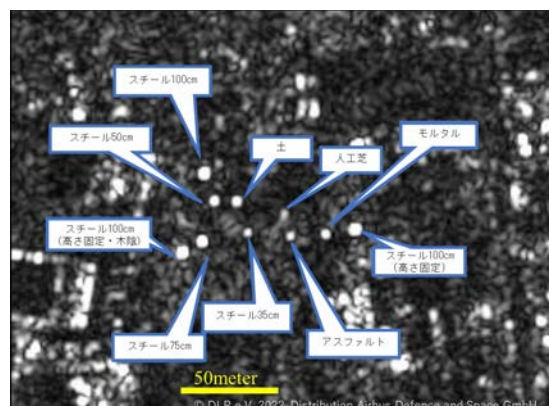


図-3 X バンド SAR 画像の例 (反射強度)

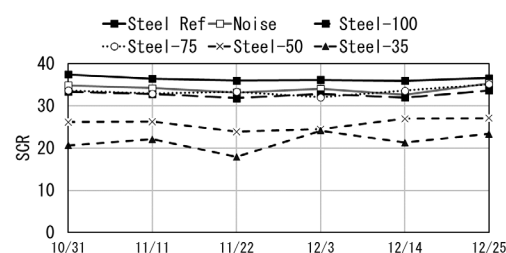


図-4 三角板三面 CR の SCR 値の推移

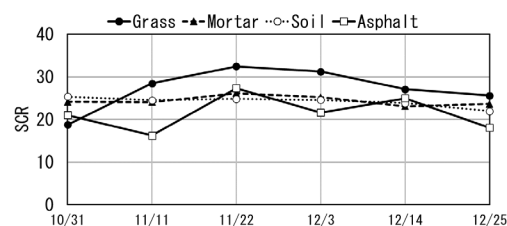


図-5 四角板三面 CR の SCR 値の推移



図-6 気温と 1 日の降水量 (気象庁値)

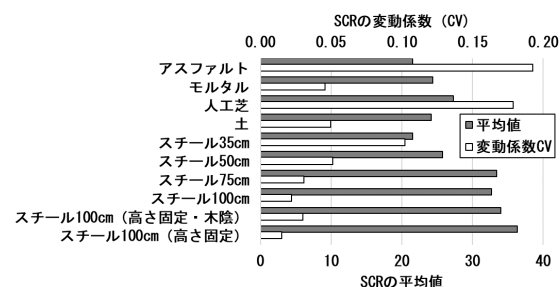


図-7 画像の CR 像の反射強度分析