

## 衛星による計測精度向上のための SAR 衛星マーカー開発の取り組み

中電技術コンサルタント(株) 非会員 高橋 裕徳, 正会員○岩田 直樹  
 (株)松田鉄工所 非会員 松田 充史  
 山口大学 非会員 長井 正彦  
 西松建設(株) 正会員 黒田 卓也, 非会員 鶴田 大毅

### 1. はじめに

近年, 人工衛星に搭載された合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) の観測データを用いた時系列干渉 SAR 解析による地盤や構造物の変動監視が注目されている。時系列干渉 SAR 解析は, 天候や昼夜に左右されず, 低コストで面的・広範囲に変動を把握できるといった特徴がある。

一方で, SAR による観測データにはマイクロ波が透過する大気屈折率の変化の影響や, 対象とする地表面のマイクロ波散乱特性の変化によるノイズが含まれるため, 解析結果が大きくばらつく等の課題も多い。

このノイズ低減のためには, マイクロ波を地表の影響を受けずに安定的に反射する地上ターゲット (SAR 衛星マーカー) の設置が有効であると考えられる。また, SAR 衛星マーカーはノイズ低減だけでなく, 設置地点の反射強度が増大することで, 観測データ上で詳細な位置の識別ができるようになる。

本稿では, SAR 衛星マーカーの実用化にむけて, SAR 衛星マーカーを実際に斜面に設置し, 現地反射強度の変化を確認するとともに, 時系列干渉 SAR 解析を実施し, 現地計測結果と比較検証した結果を報告する。

### 2. 実施概要

対象斜面は広島県三次市の市道沿いに位置する斜面 (幅約 70m, 長さ 50m, 高低差約 30m) である (図-1)。本斜面は 2018 年 7 月豪雨で斜面崩壊が発生し, その後斜面切取・対策用アンカーが施工されており, 対策前には動態観測も実施され, 雨が多い時期に変位が発生していた斜面である。本斜面では図-1 に示すように斜面崩壊領域が想定されており, この領域内外にそれぞれ 1 基ずつ SAR 衛星マーカー (1 辺 100cm (四分円型, 四角型), アルミニウム製) を設置した (図-2)。また, 現地計測として, 斜面変状跡 (クラック) を跨ぐように伸縮計 (OKIPPA : 西松建設株式会社) 2 基を設置した。反射強度の確認および時系列干渉 SAR 解析に

は C バンドの Sentinel-1 (欧州宇宙機関 : ESA) のデータ (計測期間 : 2021/5/25~2021/12/15 (計 17 シーン), Ascending) を用いた。時系列干渉 SAR 解析は PSI 法とし, 解析ソフトは ENVI SARscape (sarmap 社) を用いた。なお, 衛星データ処理に用いる DEM データは国土地理院にて公開されている 10m メッシュ<sup>1)</sup>を用いた。

### 3. 実施結果

#### (1) マーカー設置に伴う反射強度の変化

図-3 にマーカー設置後の反射強度画像を, 図-4 に反射強度の時系列変化を示す。マーカーを設置することで, 約 10~15dB 程度反射強度 (後方散乱係数) が増大していることがわかる。ただし, 図-3 より画像上のマーカー

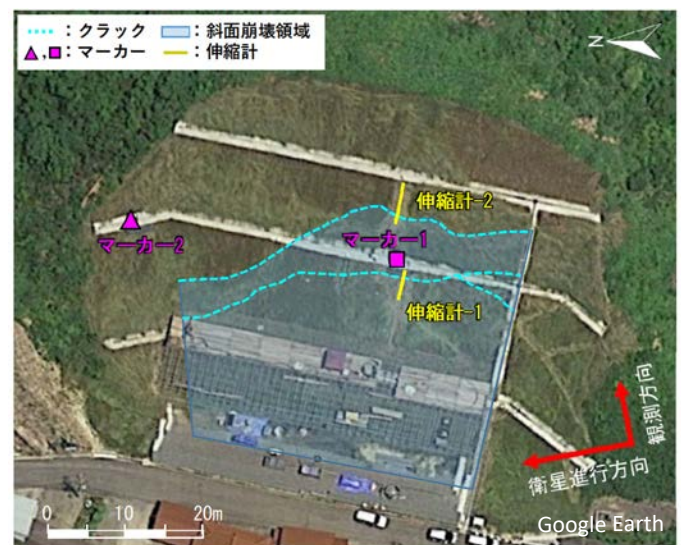


図-1 対象斜面平面図



(a) マーカー1 (中央) (b) マーカー2 (端部)

図-2 SAR 衛星マーカー

キーワード SAR 衛星マーカー, 干渉 SAR 解析, Sentinel-1, 地盤変動, 斜面崩壊

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 TEL082-256-3416

一位置と反射強度が最大となる箇所に1~2ピクセル程度のズレが生じている。図-5にマーカー設置後の全計測期間におけるマーカー位置と最大反射強度位置のズレの頻度を示す。ズレはおおよそ同一の方向であり、ピクセルサイズから約20m~30m程度のズレが発生していることがわかる。このズレは衛星の姿勢制御誤差や画像処理に用いたDEMデータと実際の地形との誤差によるものと考えられるが、衛星データを活用した変動監視を実施する際には、この位置ズレ補正を行う必要があることを示している。

また、図-4に示すとおり、マーカー2(端部)において2観測日ほど反射強度が一時的に低下しているが、これはマーカー内への溜水によるものである。SAR衛星マーカーの実用化にあたっては、反射強度を低下させない雨水排水機構についても検討する必要がある。

## (2) 時系列干渉SAR解析結果

図-6に時系列干渉SAR解析から得られたマーカー位置のLOS変位と伸縮計の計測結果を比較したグラフを示す。図より、マーカー1とマーカー2の絶対LOS変位は同様な沈下傾向を示している。しかし、斜面崩壊領域外にあるマーカー2は変状がないと考えられる。そこで、この沈下傾向は何らかのノイズ等の影響によるものと考え、マーカー1からマーカー2の時系列変位を引いた相対LOS変位を伸縮計の計測結果と比較した。図より、変位の絶対値にバラツキはあるものの、マーカーの変位挙動と伸縮計の挙動が整合する結果となった。

このことから、マーカーを変状発生領域内に設置するだけでなく、領域外の不動箇所にも設置し、これを解析の基準点として活用することで、計測精度の向上を図ることができると考えられる。

## 7. おわりに

本検討より、SAR衛星による計測データは位置ズレが生じており、変動監視の際には位置補正が必要となることを示した。またマーカーを変状発生領域内外に設置し、不動箇所のマーカーを解析の基準点とすることで計測精度の向上が期待できることを示した。

**謝辞:** 本研究はやまぐち産業イノベーション促進事業の助成を受けて実施しました。また、SAR衛星マーカーの設置にあたっては三次市よりフィールドをご提供頂きました。ここに記して感謝いたします。

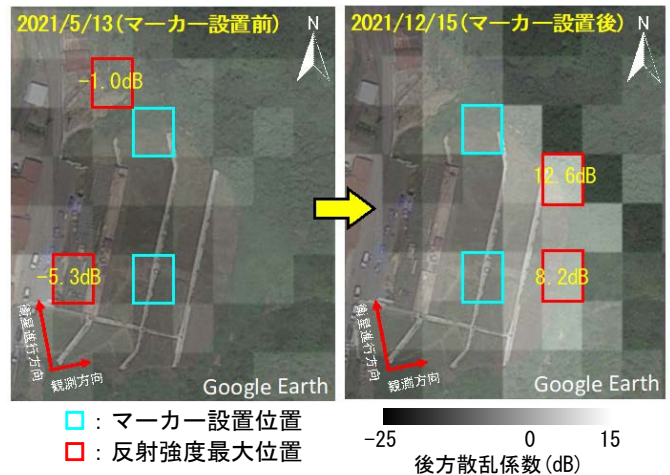


図-3 SAR マーカー設置前後計測結果  
(反射強度画像, 1ピクセル 15×15m)

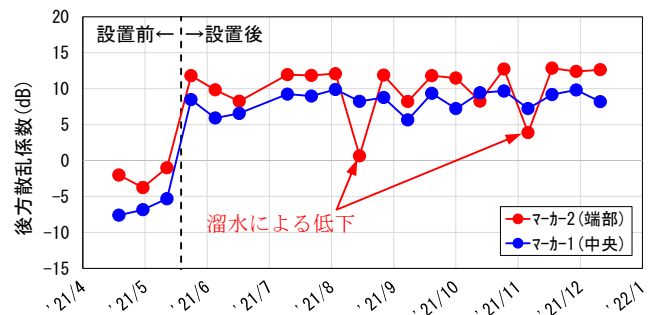
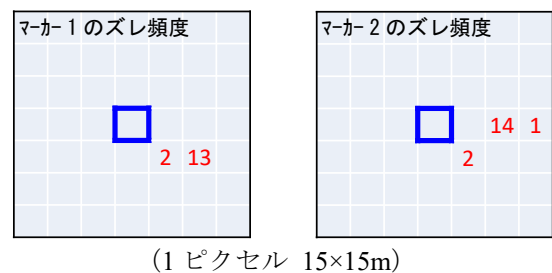


図-4 反射強度の時系列変化



※: マーカー1については2回の反射強度低下日を除く  
図-5 マーカー位置のズレた場所と頻度の関係

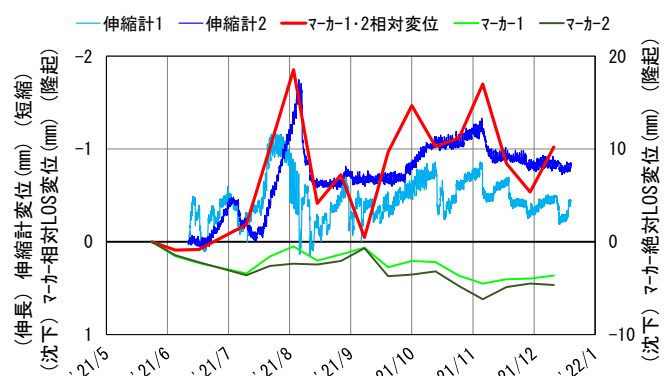


図-6 マーカー位置と伸縮計の時系列変位挙動の比較

## 参考文献

- 1) 国土院 HP: 基盤地図情報ダウンロードサービス  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>