

コーナーリフレクター設置効果と衛星 SAR データを活用した PSInSAR 解析による水路経過地斜面の変位計測

東電設計株式会社 正会員 ○安保秀範 非会員 葛平蘭

山口大学 非会員 大澤高浩

東京電力リニューアブルパワー株式会社 非会員 町田勝已, 櫻澤裕紀, 池本龍平

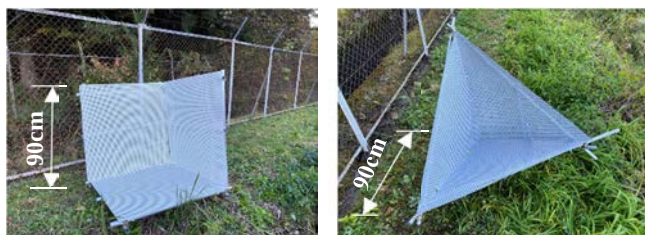
1. はじめに

水力発電所ダム湛水地や水路経過地の斜面の挙動監視などに、現場作業することなく広域での変位計測が可能な衛星 SAR データの活用について検討した。変位計測の精度を一定程度確保するため、時系列 SAR 解析の一手法である PSInSAR 解析¹⁾を適用した。PSInSAR 解析では同じ場所を同じ軌道・同じ観測角で観測したデータが多く必要となる。また、高い精度で時系列での変位が把握できる箇所は、恒久的な散乱点 (Permanent Scatter : PS) の箇所のみとなる。衛星 SAR データは高頻度 (12 日間隔) でデータが得られる Sentinel-1 を用いた。PS 点が得られるのは、人工構造物や植生のない岩主体の箇所などである。このため、変位を確認したい箇所に、コーナーリフレクター (CR) を製作・設置して、その箇所で精度の高い変位計測ができる PS 点が得られるかどうか検討した。

2. コーナーリフレクター設置効果

(a) コーナーリフレクター

CR は図-1 に示すとおり、1 辺 90cm の正方形メッシュ板を 3 面つなぎ合わせ四角形型と直角二等辺三角形をつなぎ合わせた三角形型をそれぞれ 2 基製作し、約 10m 間隔で互い違いに南行の衛星視線方向に設置した。



(a) 四角形型

(b) 三角形型

図-1 コーナーリフレクター

(b) 後方散乱係数とコヒーレンス

CR 設置箇所も含めた周辺の後方散乱係数は図-2 に示すとおりであり、設置箇所 4 か所で後方散乱係数は PS 点が得られている箇所と同程度以上の値が確認され

た。2022 年 11 月 12 日と 12 月 18 日のコヒーレンスは図-3 に示すとおりであり、CR 設置箇所では 0.4 以上の高い値となり、変位が精度よく把握できる可能性があることを示している。

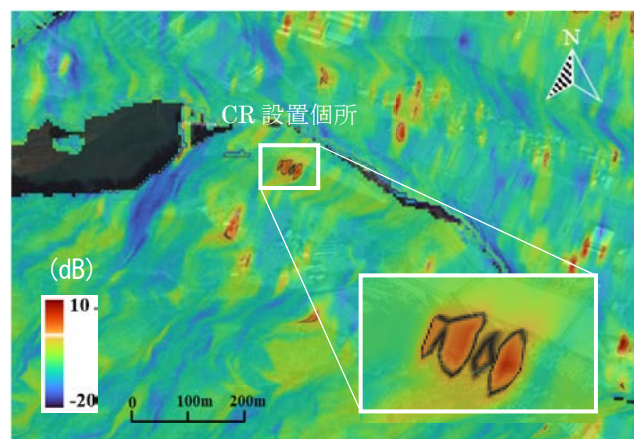


図-2 後方散乱係数 (CR 設置後, 2022 年 11 月 22 日)

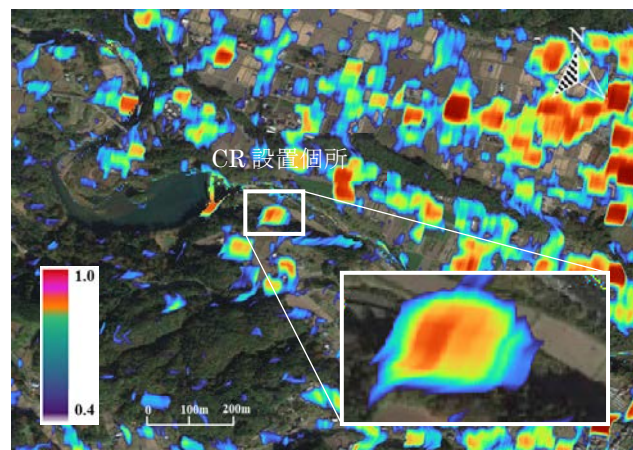


図-3 コヒーレンス (2022 年 11 月 22 日 - 12 月 18 日)

3. PSInSAR 解析

PSInSAR 解析はスタンフォード大学において Andrew Hooper らが開発した StaMPS/MTI を用いた。衛星 SAR データは、欧州宇宙機関 (ESA) が 2014 年、2016 年に打上げた 2 機の衛星からなる 5m×20m の空間分解能で C バンド (波長 : 5.6cm) の Sentinel-1 を用いた。DEM は国土地理院の 5m×5m メッシュの数値標高モデルに基づいて作成した。

キーワード 衛星 SAR, Sentinel-1, PSInSAR 解析, 斜面変位計測, コーナーリフレクター

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX グランスクエア 9F 東電設計株式会社 TEL 03-6372-5135

(a) コーナーリフレクター設置前（約 5 年間）

表-1 に示す Sentinel-1 SAR データ（南行軌道）を用いた PSInSAR 解析結果（約 5 年間の衛星視線方向の変位）は図-4 に示すとおりであり、都市部の人工構造物が多くなる箇所では PS 点は多く得られるが、山岳地帯で植生がある箇所などでは PS 点は得られない。

水力発電所水路経過地斜面の周辺の PSInSAR 解析結果は図-5 に示すとおりであり、水路近傍は植生があり PS 点は得られず、家屋、ダムなどの箇所では PS 点 が得られている箇所がある。

表-1 CR 設置前の Sentinel-1 SAR データ

軌道	期間	シーン数	PS 点数
南行	2017/5/7～2021/12/24	140	33,330
北行	2017/4/1～2021/12/12	135	39,068

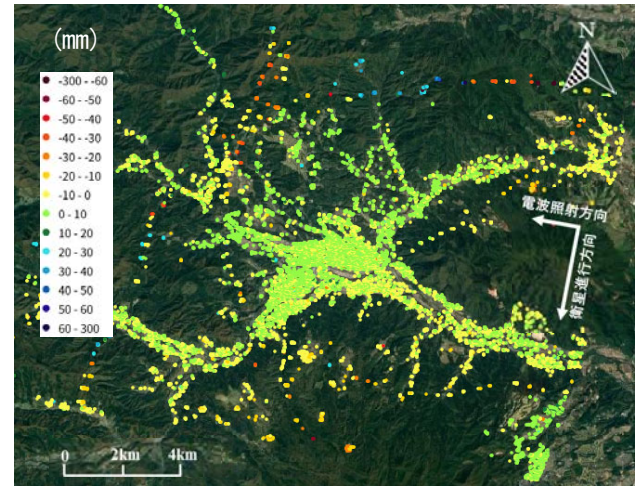


図-4 PSInSAR 解析結果（解析範囲全体，南行軌道）

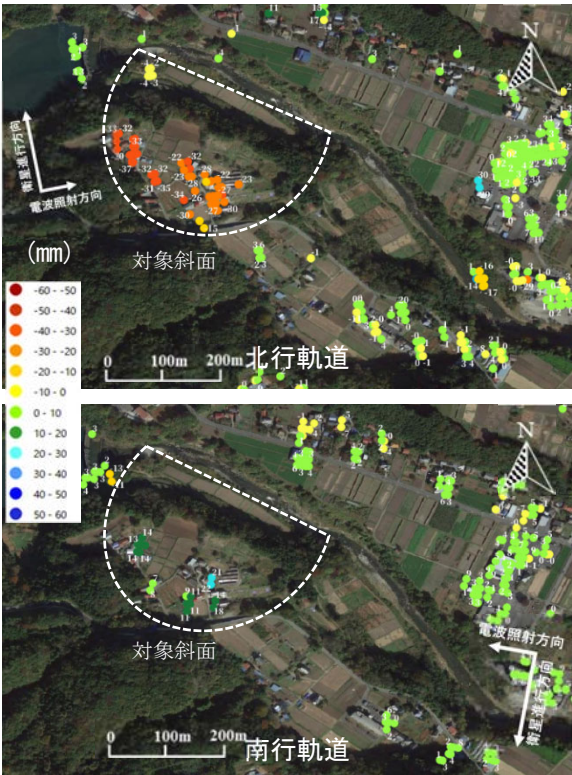


図-5 PSInSAR 解析結果（対象斜面周辺）

変位が確認できた箇所では、北行軌道の変位は衛星から遠ざかっており、南行軌道では近づいており、斜面のすべりの方向と整合している。北行軌道では約 5 年間で最大でも-40mm 程度（-8mm/年程度）、南行軌道では最大でも 15mm 程度（3mm/年程度）の変位であり、変位量は小さく、水路近傍の測量、水路中心線測量の変位と整合する変位計測結果となった。

(b) コーナーリフレクター設置後（約 4 カ月間）

表-2 に示す CR 設置後の Sentinel-1 SAR データ（南行軌道）を用いて PSInSAR 解析を実施し、対象斜面周辺の PS 点を、CR 設置前約 5 年間の PS 点と合わせて図-6 に示す。CR 設置後のシーン数が 11 と少ないため、CR 設置前の 140 の場合と比べれば PS 点 が得られやすくなっているが、4 基 CR を設置した箇所では、PS 点 が得られた。

表-2 CR 設置後の Sentinel-1 SAR データ

軌道	期間	シーン数	PS 点数
南行	2022/11/12～2023/3/12	11	119,929

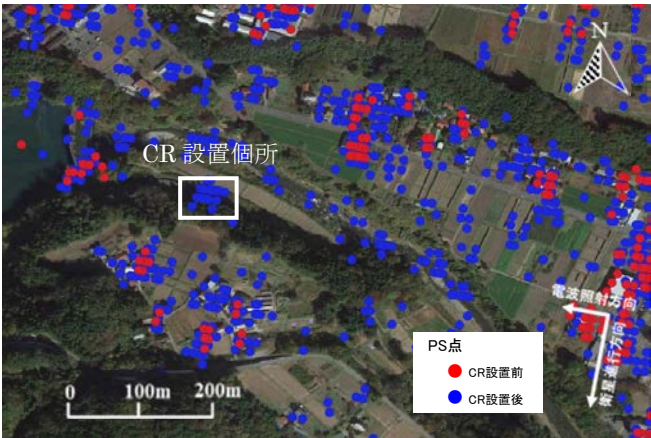


図-6 PS 点（対象斜面周辺，南行軌道）

4. まとめ

水力発電所水路経過地斜面について、約 5 年間の Sentinel-1 SAR データを用いて PSInSAR 解析を実施することにより、人工構造物などがある PS 点で 12 日間隔での変位計測ができ、計測結果は水路近傍の測量、水路中心線測量の変位と整合していることを確認した。

水路近傍では PS 点 が得られないことから、CR を設置して恒久散乱点にすることで、高い精度での変位計測ができる可能性があることを示した。

参考文献

1) Hidenori Abo, Takahiro Osawa, Pinglan Ge, Akira Takahashi and Katsutoshi Yamagishi : Deformation Monitoring of Large-Scale Rockfill Dam Applying Persistent Scatterer Interferometry(PSI) Using Sentinel-1 SAR Data, 2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, 2021.