

SAR 衛星を用いた井筒のせん断破壊により機能を喪失した集水井の検出

新潟大学大学院総合学術研究科 学生会員 ○ 池田弘毅

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 柴野一真

新潟大学自然科学系（農学部） 正会員 稲葉一成 鈴木哲也

1. はじめに

集水井は地すべり地の地下水を排除する施設である。機能診断には入坑調査が要り、安全確認が難しく費用もかかる¹⁾。筆者らは、令和6年能登半島地震で被災した集水井を対象に、UAV-LiDARによる非接触の損傷検出手法を検討している²⁾。しかし、地震直後の斜面は不安定で、多数の集水井の現地点検には時間を要する。

合成開口レーダ (SAR) 衛星は、天候と昼夜によらず同じ地点を繰り返し観測できる。地震前後の後方散乱係数の差は、建物被害の把握に用いられてきた³⁾。集水井は直径が3.5 m程度で画素 (10 m) より小さく、積雪と植生による季節変動の大きい斜面にあるため、地震前後の差だけでは損傷の影響を季節変動から分離できない。そこで本研究では、井筒がせん断破壊した集水井を対象に、地震前の後方散乱係数の時系列から地震後の値を予測した。その予測誤差を健全集水井と比較し、損傷の検出を試みた。

2. 対象構造物および解析方法

2.1. 対象集水井

対象は、能登半島地震の被災地にある集水井9基である。井筒のせん断破壊が現地で確認された1基 (図-1) を損傷集水井、確認されていない8基を健全集水井とした。

2.2. 解析方法

解析方法のフローを図-2に示す。衛星データには Sentinel-1⁴⁾のGRD画像を用いた。SARは、後方散乱したマイクロ波の強さを後方散乱係数として観測する。偏波VVは垂直偏波で送受信した成分、偏波VHは垂直偏波で送信して水平偏波で受信した成分である。一般に、偏波VVは地表面や構造物からの散乱の変化に、偏波VHは植生内部での体積散乱の変化に感度が高い。2017年2月から2026年9月までの



図-1 せん断破壊した集水井

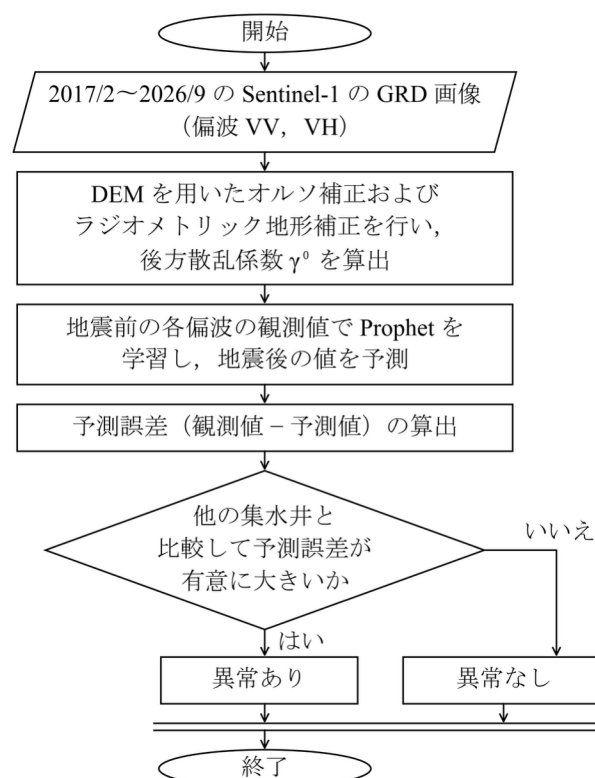


図-2 衛星を用いた集水井の異常判定フロー

南行軌道 286 シーンを取得し、Copernicus DEM (30 m) を用いてオルソ補正した。さらに、斜面の向きによる照射面積の違いを補正するラジオメトリック地形補正を施し、後方散乱係数 γ^0 とした。集水井の座標を含む1画素の値を観測日ごとに抽出した。

時系列モデル (Prophet) は、時刻 t の後方散乱係数 $y(t)$ を、傾向 $g(t)$ と1年を周期とする変動 (年周期)

$s(t)$ の和で次式のように表す.

$$y(t) = g(t) + s(t) + \varepsilon(t), \tag{1}$$

ここに, $\varepsilon(t)$ は誤差である. 集水井ごと, 偏波ごとに, 地震前 (2023 年 12 月まで) の観測値を用いてモデルを学習し, 地震後の後方散乱係数を予測した. 観測値と予測値の差を予測誤差とし, 地震後 (2024 年 1 月 ~ 2026 年 9 月) の中央値を, 損傷に伴う異常の指標とした.

損傷集水井の予測誤差の中央値を, 健全集水井 8 基の分布と Crawford-Howell の検定で比較した. 有意水準は 5 %である.

3. 結果および考察

VV の後方散乱係数の時系列を図-3 に示す. 損傷集水井の観測値は, 地震前の月別中央値で 2.7 dB の幅の季節変動を示し, 地震後は Prophet の予測値を上回った (図-3(a)). 予測誤差の四半期中央値は, 地震直後の 2024 年 1~3 月期に 2.5 dB となり, 2026 年 9 月までの 11 四半期のうち 10 四半期で正の値を示した (図-3(b)). 地震後の予測誤差の中央値は, 損傷集水井では 1.59 dB であった. 一方, 健全集水井 8 基では-0.36~0.77 dB にとどまった.

Crawford-Howell の検定の結果, 損傷集水井の予測誤差の中央値は, $t(7) = 3.27$, $p = 0.014$ で健全集水井 8 基の分布から有意に外れた (表-1). 偏波 VV は地表面や構造物からの散乱に感度が高く, 構造物の変状を捉えやすい. 損傷集水井における偏波 VV の増加は, 井筒の変形に伴う散乱の増加が示唆される. 一方, 植生の体積散乱に感度が高い偏波 VH では, 損傷集水井と健全集水井に差が認められなかった ($p = 0.915$). 健全集水井 8 基には同様の上昇が無いことから, 偏波 VV の上昇は, 植生や積雪の変化ではなく, 集水井の変化によるものと考えられる.

4. おわりに

井筒がせん断破壊した集水井では, 偏波 VV の後方散乱係数が地震後に予測値を上回り, 予測誤差の中央値 (1.59 dB) は健全集水井 8 基の分布から有意に外れた. 今後は, 他の被災した集水井に本手法を適用して再現性を確認するとともに, 分解能の高い

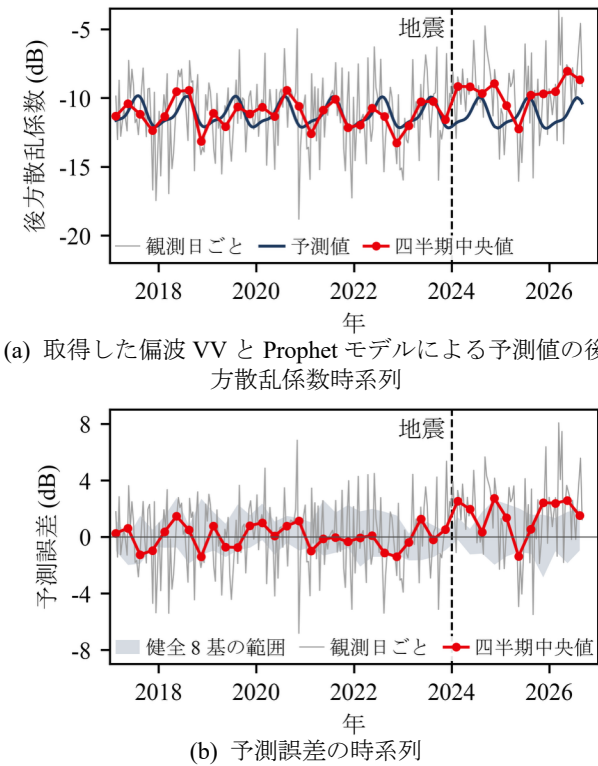


図-3 損傷集水井における偏波 VV の時系列

表-1 損傷集水井と健全集水井の予測誤差の比較

区分	地震後の予測誤差の 中央値 (dB)	p 値
損傷集水井 (n=1)	1.59	0.014
健全集水井 (n=8)	-0.36~0.77	-

SAR 衛星を用いて検討する.

謝辞 本研究は, 2026 年度 (公社)日本地すべり学会新潟支部 学生・院生対象研究助成を受けたものである. ここに記して 感謝申し上げる.

参考文献

1) 農林水産省: 【参考資料】 集水井の調査・診断マニュアル (2018), <https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/kanmin/attach/pdf/kanryou-147.pdf> (参照 2026 年 10 月 13 日)

2) Shibano, K. and Suzuki, T.: Non-Contact damage detection of drainage wells during the Mj7.6 Noto Peninsula earthquake by UAV-LiDAR technique, Measurement, Vol.253, 117610, 2025.

3) Matsuoka, M. and Yamazaki, F.: Use of satellite SAR intensity imagery for detecting building areas damaged due to earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.20, No.3, pp.975-994, 2004.

4) Torres, R. et al.: GMES Sentinel-1 mission, Remote Sensing of Environment, Vol.120, pp.9-24, 2012.