

ALOS-2を用いたフィルダム堤体の変位モニタリングに関する検討

国際航業株式会社 正会員 ○虫明成生, 本田謙一, 佐藤渉 非会員 佐藤匠, 引地慶多
国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 佐藤弘行
山口大学 正会員 清水則一

1. はじめに

社会資本の老朽化対策や防災の観点から, 社会資本の戦略的な整備や維持管理について, 様々な政策や技術開発が実施されており, 本研究で対象としているダムについても効率的・効果的な維持管理が求められている。筆者らはこれまでロックフィルダム堤体を主な対象として, 効率的・効果的な維持管理のための変位モニタリング手法の開発を目的として, 日本が打上・運用を行っている SAR 衛星の ALOS/PALSAR(以下, 「ALOS」)を利用した干渉 SAR 解析・時系列干渉 SAR 解析(以下, 「解析」)により, ダムの微小な変位の検出や時系列的なモニタリング方法の検討を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。

本研究では, ALOS の後継機である ALOS-2/PALSAR-2(以下, 「ALOS-2」)を用いて干渉 SAR 解析を実施する際のパラメータを検討し, さらに時系列干渉 SAR 解析による変位計測精度の検証を行った。

2. 検討対象ダムと使用したデータ等

(1) 検討対象ダムと解析に使用したデータ

既報¹⁾の検討対象を含む全国のロックフィルダム 19 基を対象とした。解析に利用した SAR データは ALOS-2 の 2014 年 8 月から 2016 年 9 月までの約 2 年間の観測データ(高分解能モード, 空間分解能 3m, 観測偏波 HH)である。解析は各ダムで北行・南行の観測軌道毎に実施し, 19 ダムで計 28 軌道の解析を行った。それぞれの観測軌道のシーン数は 5 シーンから 15 シーンであった。また, 解析において地形縞の除去に必要な数値地形モデル(DEM)は, 航空機レーザスキャナで取得・作成されたデータを利用した。なお, 航空機レーザスキャナによる DEM データが利用出来ない場合は, ダム堤体の竣工図などから堤体形状を復元して利用した。

(2) 精度検証用データ

精度検証は, 解析により得られた変位量と, 各ダム堤体で計測されている GPS または光波測量による変位量(以下, 「実測データ」)を比較して行った。なお, 解析によって得られる変位量は衛星の視線方向の変位量であるため, 実測データを衛星視線方向変位に変換して, 解析と実測データの二乗平均平方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)を算出して行った。なお, 実測データのうち光波測量については年数回の計測しか行っていないため, SAR の観測時期に合わせて線形補間を行った。

3. 解析結果

(1) ALOS-2 に適した干渉 SAR 解析パラメータの検討

使用した ALOS-2 データの分解能は 3m と ALOS(10m)よりも高く, 衛星の軌道保持や位置把握の精度が向上しているため, 高精度の変位計測が期待できる。一方で, ALOS で用いたマルチルック数などのロックフィルダムを対象とした干渉 SAR 解析による変位計測に適したパラメータについては, ALOS-2 のデータの特徴に合わせて設定を行う必要があると考えられる。このため, 既報¹⁾と同様に, 干渉 SAR 解析によるロックフィルダムの変位計測に適した ALOS-2 のマルチルック数とノイズフィルタ強度を検討した。検討は 2 基のロックフィルダムを対象とし, 複数のマルチルック数とノイズフィルタの窓サイズを組合せたパラメータを用いて干渉 SAR 解析を行い, 実測データと比較して計測精度を検証することで, 適切な解析パラメータの同定を行った。

本検討では観測対象期間が約 2 年とやや短期間で, 各ダムにおける累積変位は大きくはなかったため, 見かけ上, ノイズフィルタ強度を強くするほど精度が向上する傾向が見られた。しかし, 強いフィルタは局所的な変位を見逃してしまう可能性が高くなる。そこで, 空間分解能を落とさず, 変位計測精度が高かつ安定する結果が得られたパラメータを表-1 に示す。なお, 既報¹⁾で得られた ALOS におけるパラメータを併せて示す。

(2) 検討対象ダムにおける時系列干渉 SAR 解析の変位計測精度の検証

設定したパラメータを用いて干渉 SAR 解析を行い, さらに SBAS 法(Small Baseline Subset algorithm)による時系列干渉 SAR 解析を実施して, 各ダムにおける変位計測を行った。なお, 解析は干渉性が悪化すると考えられる積雪期の観測データを除外して実施した。

各ダム・各軌道での精度検証結果を図-1 に, 時系列干渉 SAR 解析による変位分布図と時系列変位グラフの例を図-2 に示す。なお, 図-1 の数字は検討対象としたダムの番号を, アルファベットの A は北行軌道(Ascending), D は南行軌道(Descending)

表-1 ALOS-2 に適した解析パラメータ

衛星	ALOS	ALOS-2
マルチルック数	3pix × 1pix ^{※1} (10m) ^{※2}	2pix × 2pix ^{※1} (5m) ^{※2}
ノイズフィルタ	32pix × 32pix Goldstein filter	32pix × 32pix Goldstein filter

※1: レンジ方向 × アジマス方向 ※2: 画素の大きさ

キーワード: ロックフィルダム, 変位計測, ALOS-2, 解析パラメータ, 干渉 SAR 解析, 時系列干渉 SAR 解析

連絡先: 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1 国際航業株式会社 TEL:042-307-7211

を示す。図-1を見ると、干渉 SAR 解析よりも時系列干渉 SAR 解析の RMSE の方が全体的に小さくなっており、時系列干渉 SAR 解析による変位の計測精度が向上されている。また、検討対象 19 ダムにおける時系列干渉 SAR 解析の RMSE は最小 1.9mm、最大 14.6mm、平均 4.9mm となった。これは、ALOS を用いた場合の 5 ダムの検討結果(RMSE の平均約 10mm)よりも高い変位の計測精度である。一方、No.08 や No.14 のダムは他のダムと比較して解析結果の RMSE が大きく、10mm 以上となっている。No.08 ダムにおいては堤体外のコンクリート構造物からのサイドローブによる強散乱領域が生じており、それにより精度が低下している。No.14 ダムにおいてはダム堤体の一部が芝生で覆われていることから(図-2 の空中写真)、解析の精度に影響を与える干渉性が低下している事が確認された。また、No.14 ダムの図-2 に示した光波測量計測点では 2016 年 4 月 26 日に、衛星視線方向で 15mm 程度の変位が抽出されており、この傾向は実測データでも確認されている。No.14 ダムは 2016 年 4 月 14 日および 16 日に震度 7 を観測した熊本地震における本震の震央から約 20km に位置することから、熊本地震に伴う変位を捉えたものと考えられる。

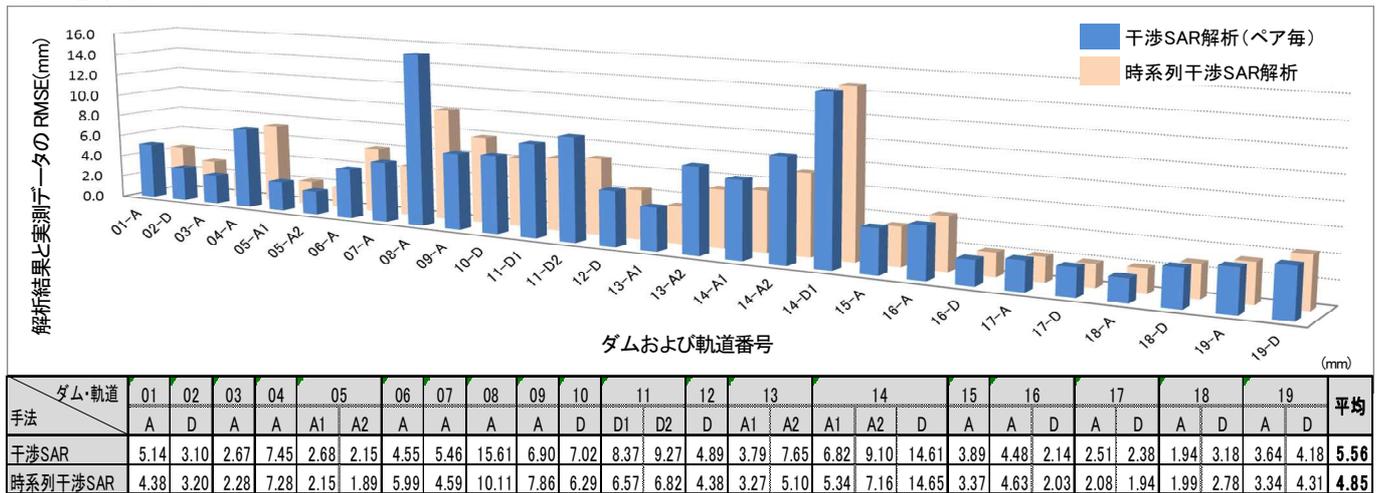


図-1 ALOS-2 を用いた各ダム・各軌道での解析精度検証結果

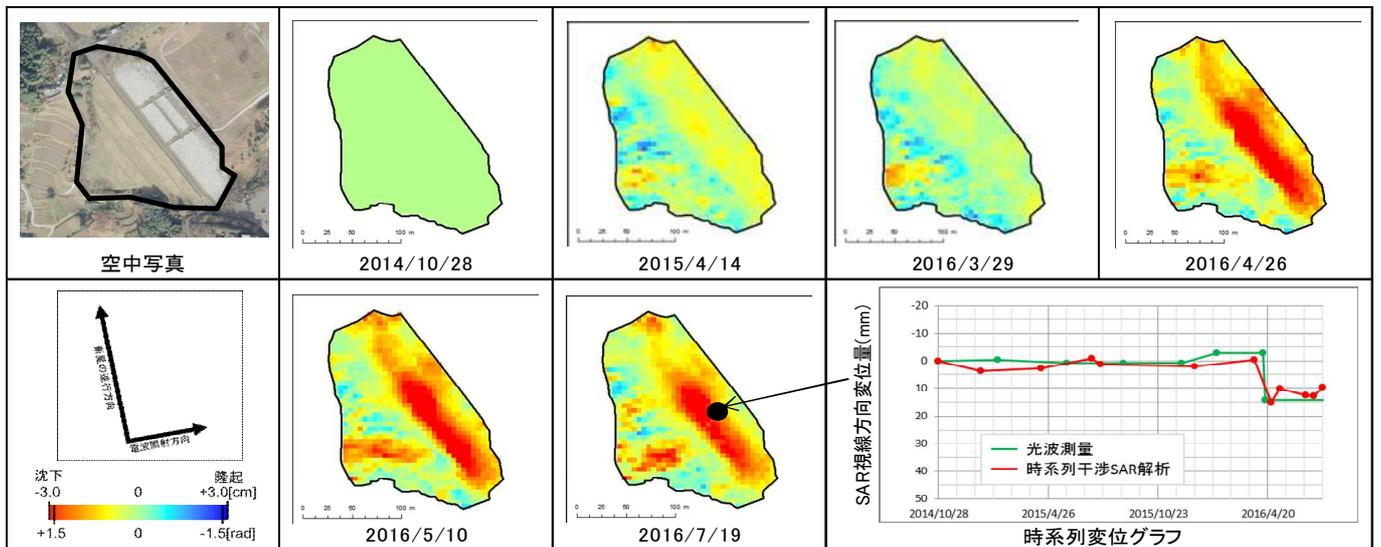


図-2 時系列干渉 SAR 解析による変位分布図と時系列変位グラフの例(No.14 ダム)

4. まとめ

本研究では、ロックフィルダムを対象として ALOS-2 を用いた干渉 SAR 解析による変位計測に適した解析パラメータを提案し、干渉 SAR 解析・時系列干渉 SAR 解析を実施して精度検証を行った。この結果、平均 4.9mm の精度で変位が計測され、ALOS と比較して計測精度の向上が確認された。また、ダム堤体表面の被覆状態や堤体に隣接するコンクリート構造物等による強散乱領域が計測誤差を生じる要因として考えられた。

参考文献

- 1) 佐藤ら:ALOS/PALSAR データを用いた時系列干渉 SAR 解析による 5 基のロックフィルダムの外部変形計測, 土木学会論文誌F3(土木情報学), 73 巻(2017)1号, pp 1-14
- 2) 本田ら:合成開口レーダを用いたフィルダム外部変形計測に関する検討, 平成 24 年度土木学会全国大会 第 67 回年次学術講演会概要集, CS8, pp 41-42
- 3) 本田ら:合成開口レーダを用いたフィルダム外部変形計測に関する検討 -第2報-, 平成 25 年度土木学会全国大会 第 68 回年次学術講演会概要集,CS6, pp 29-30