

衛星 SAR データのスタッキング解析による貯水池周辺斜面の変動抽出

国際航業株式会社 正会員 ○佐藤渉, 虫明成生 非会員 佐藤匠, 山口恭子, 浅田典親, 本田謙一, 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。とくに貯水池周辺斜面で地すべり等が発生すると、貯水池の機能や貯水池周辺斜面の保全に影響を及ぼすため、モニタリングが重要となる。筆者らはこれまでロックフィルダム堤体(以下、「堤体」)を主な対象に、ALOS/PALSAR(以下、「ALOS」)および ALOS-2/PALSAR-2(以下、「ALOS-2」)を利用した干渉 SAR 解析等により、堤体モニタリング方法の検討を行ってきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

衛星 SAR データは、広域の変動を検知できるものの、その解析結果には様々なノイズが含まれる。これらのノイズから、斜面変動のみを抽出するには、様々な誤差補正が必要となる。そこで本研究では、ALOS-2 を用いて貯水池周辺斜面を対象として地すべり等の変動把握を目的とし、解析の誤差除去手法を検討し、変動を精度よく抽出する検討を行った。

2. 検討対象と使用したデータ等

検討対象は、斜面の測量や現地調査により変動あるいは変状が確認されている貯水池周辺斜面とした。解析に利用した SAR データは ALOS-2 の 2014 年から 2018 年までの約 4 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。それぞれの貯水池周辺斜面が観測された北行あるいは南行の観測軌道のデータを用いて解析を実施し、それぞれの観測軌道のシーン数は 4 シーンから 12 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。

3. 誤差補正とスタッキング解析

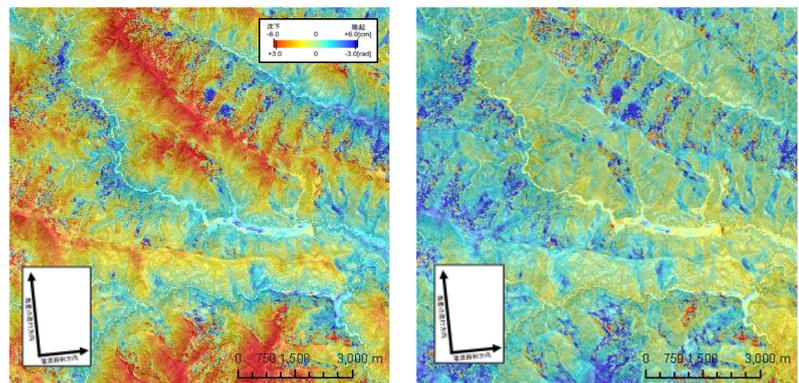
干渉 SAR 解析では、衛星の推定位置のずれ(軌道残差)や水蒸気の違いなどによって広範囲の傾きや局地的な位相差が生じる。そのため、詳細な変動領域の抽出や未知の斜面変動の抽出が困難となることがある。本研究では、長周期誤差の補正、多時期の干渉ペアを用いたスタッキング解析、局所入射角によるマスクを検討した。

(1) 長周期誤差の補正

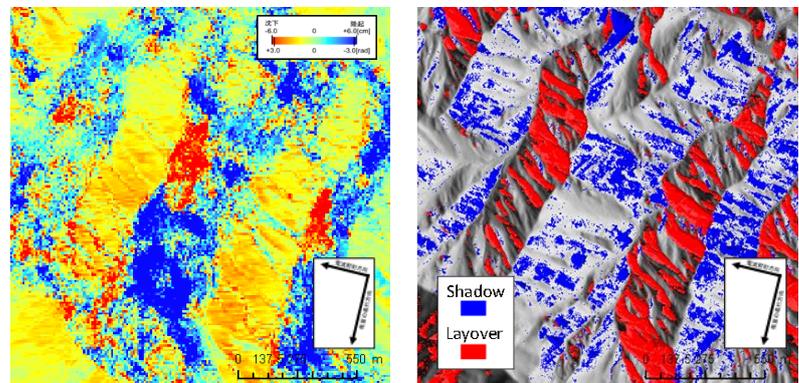
衛星観測日の水蒸気量の差が大きな場合、水蒸気によってマイクロ波が遅延するため標高に比例した位相差が表れる(図 1(a))。そこで、このような誤差は標高との相関から誤差を推定して補正した(図 1(b))。また、軌道残差や水蒸気量の空間的な不均一に対してはハイパスフィルタを適用した。

(2) スタッキング解析

スタッキング解析は、多時期の干渉ペアの変動速度を平均化する手法である⁵⁾。地すべり変位は位相差が特定の方向(変位方向)に集中すると考えられる一方、ノイズ成分は位相差がランダムとなることから、スタッキング解析結果ではノイズ成分が相殺され減少し、変位による位相差が増幅、地すべりの領域が明瞭になるものと期待できる。



(a) 水蒸気の影響の例 (b) 標高による誤差除去後
図 1 水蒸気量による誤差の除去



(a) 局所入射角によるノイズ (b) DEMによる局所入射角計算
図 2 局所入射角によるノイズの除去

キーワード: 貯水池周辺斜面, 衛星 SAR, ALOS-2, 干渉 SAR 解析, スタッキング解析

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

(3) 局所入射角によるマスク

SARの観測は、観測原理の制約から 30° から 40° ほど傾いて観測している。そのため、急峻な山間部では、山が倒れこむレイオーバーや、山の影に当たるレーダーシャドウが発生する。これらの影響の範囲では、正常な観測が行えないため、大きなノイズが表れる(図2(a))。

そこで、これらの影響を除去するため、数値標高モデル(DEM)と衛星の軌道情報から局所入射角を計算(図2(b))し、誤差の大きな領域をマスク処理することで、SARにより観測可能な領域における斜面変動を抽出した。

4. 解析結果

スタッキング解析の結果を、図3に示す。北行軌道(西側から観測)では、斜面上部が衛星から遠ざかる傾向が見て取れる。この場合は、沈下または東への移動と判断できる。また、南行軌道(東側から観測)では斜面上部が沈下または西側へ移動し、斜面下部は衛星に近づく傾向がみられることから隆起または東への移動と考えられる。双方の結果から、斜面上部は沈下傾向、斜面下部は東への平行移動あるいは隆起傾向と判読できる。地すべりでは、斜面上部が沈降し、末端部で土塊による隆起が生じることがあるため、斜面は変動している可能性が高いと判断できる。なお、別途現地調査を行っているが、図3に示した変動領域の境界付近で、段差等の変状が確認されている⁶⁾。

このように、北行軌道と南行軌道の二つの軌道を用いることで、沈下および東西の平行移動の分離ができた。また、スタッキング解析を行うことで、ノイズを低減化することができ、斜面変動と思われる結果のみを抽出することが出来た。

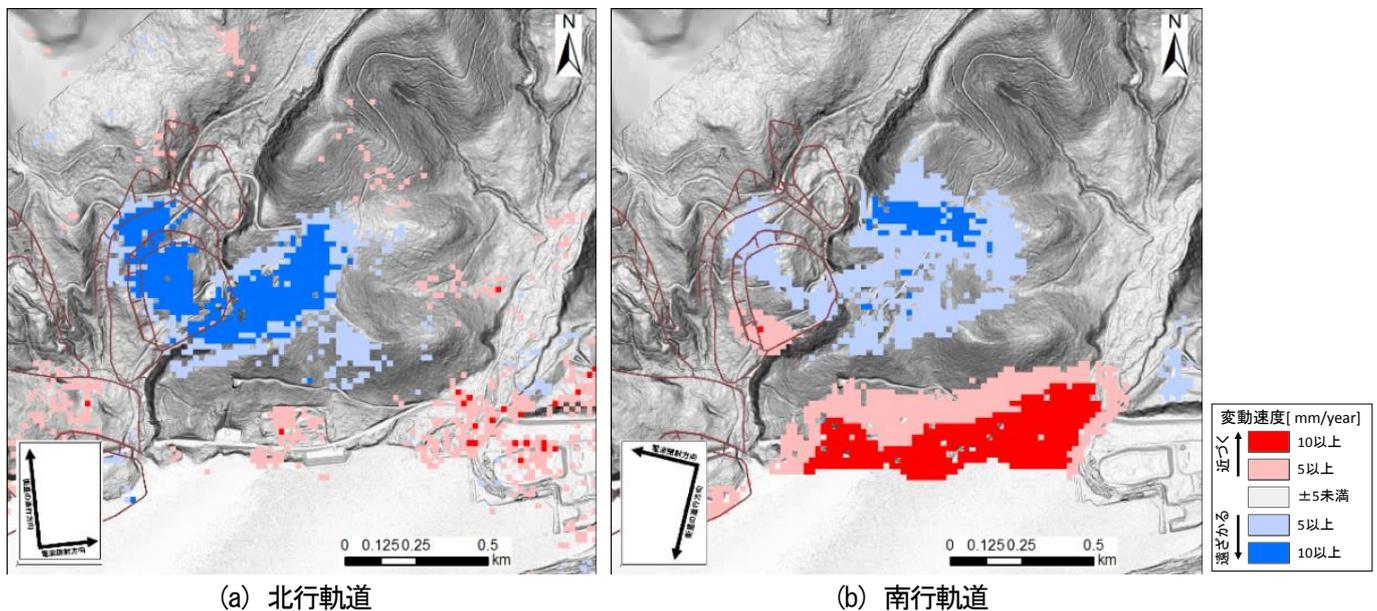


図3 スタッキング解析の結果

5. まとめ

本研究では、貯水池周辺斜面を対象として、干渉 SAR 解析の誤差除去手法を検討し、高精度の変動抽出の可能性について検討した。誤差処理手法として、長周期誤差の除去、スタッキング解析、局所入射角のマスクングを適用し、斜面変動を有効に抽出できることを示した。

今後、事例を蓄積すると共に、局所入射角とノイズの関係の定量的な評価などにより、信頼性向上に向けた取組が必要と考える。

参考文献

- 1) 佐藤弘行・佐々木隆・金銅将史・小堀俊秀・小野寺葵・山口嘉一・佐藤渉・虫明成生・本田謙一: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, 土木学会論文集F3(土木情報学), 73巻(2017)1号, pp 1-14.
- 2) 本田謙一・虫明成生・岩崎智治・佐藤弘行・小堀俊秀・山口嘉一: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) 本田謙一・虫明成生・岩崎智治・佐藤弘行・小堀俊秀・佐々木隆・山口嘉一: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.
- 4) 虫明成生・本田謙一・佐藤渉・佐藤匠・引地慶多・佐藤弘行・清水則一: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, 平成30年度土木学会全国大会 第73回年次学術講演会概要集, CS9-049.
- 5) 『地盤沈下等における衛星活用マニュアル』(環境省平成29年5月), <https://www.env.go.jp/press/104084.html>, 2019年3月28日アクセス.
- 6) 佐藤弘行・石川亮太郎・金銅将史:衛星 SAR データを活用した貯水池周辺斜面の変動領域の抽出に関する検討, 2019年度土木学会全国大会 第74回年次学術講演会(投稿中).