

衛星 SAR 差分干渉解析を用いたダム堤体の変位検出

(株)地球科学総合研究所 ○影島 充万, 大沼 巧

1. はじめに

衛星搭載合成開口レーダ (SAR) データの差分干渉解析により、地表や構造物の変位を cm~mm オーダーで検出することが可能である。多時期の観測データを用いて差分干渉解析を実施することにより、時系列の変位履歴を得ることができる。本発表では、衛星 SAR 差分干渉解析によるダム堤体の変位検出の試行結果を報告する。

2. 衛星 SAR 差分干渉解析

(1) 原理

SAR センサは、地表に向けて照射したマイクロ波の後方散乱を受信して、振幅と位相を記録する。位相は、SAR センサから照射され再びセンサに戻り受信されるまでの、マイクロ波の光路距離を波長で除した余りであり、角度で表すと $-\pi \sim \pi$ の値を取る。1シーンの位相は、空間でランダムな分布を呈し、これだけでは意味を成さないが、異なる2時期のデータの位相差は空間で連続し、SAR センサと地表間の距離変化に対応する干渉縞として画像に表れる。干渉縞は、いくつかの要因により生じる位相成分の和である。標高差により生じる地形縞と、2時期で衛星軌道が異なることで生じる軌道縞は、数値標高データ (DEM) と衛星位置情報から計算することができ、除去できる。水蒸気遅延等による位相ノイズ成分は、重合処理等の応用により低減する手法がある。これらを除去・低減することで、2時期の間に生じた地表変位による位相成分を主とする干渉縞 (変動縞) が生成できる。この時点で位相値は $-\pi \sim \pi$ に包まれた値であるため、アンラップ処理を施すことで、画像内で連続した位相値となる。アンラップされた位相値は、マイクロ波の波長等を用いて距離 (変位量) に変換できる。検出される変位量は2時期間の差であり、任意に指定する参照点からの相対変位量である。

(2) 使用データ

使用したデータは、欧州宇宙機構の Sentinel-1 CSAR¹⁾ のデータである。Sentinel-1は、12日間隔の高頻度で陸域を観測しており、データは無償で利用可能であることから、本件のような時系列解析に有効である。ただし波長約6cm (Cバンド) のマイクロ波を採用しているため、植生に被覆される地域では、干渉性が著しく低下するという不利な面がある。地形縞の計算に用いた DEM は、国土地理院の基盤地図情報の5m メッシュ数値標高モデル²⁾ である。

(3) 処理手法

本スタディでは、DInSAR と PSInSAR の2種類の処理を実施した。DInSAR 処理は、2時期の位相差の空間分布を

解析する、従来の差分干渉解析である。PSInSAR 処理は、多時期のデータを用いて、定常的に十分強い散乱を全方位に返すターゲット (Persistent Scatterer: PS) について、時間軸における位相連続性を解析することにより、変位の経時変化を得る。従い、DInSAR 処理では「面」の処理結果が、PSInSAR 処理では「点」の処理結果が得られる。

3. 胆沢ダムのダム堤体の変位検出

(1) 調査対象

調査対象は岩手県の胆沢ダムである。胆沢ダムは、北上川水系胆沢川に位置する、日本最大級のロックフィルダムであり、堤体盛立の完了が2010年5月、試験湛水終了が2013年10月³⁾、竣工は2013年11月である。胆沢ダムの Sentinel-2 MSI¹⁾ 画像を図-1左に、Sentinel-1 CSAR データの平均強度画像を図-1右に示す。

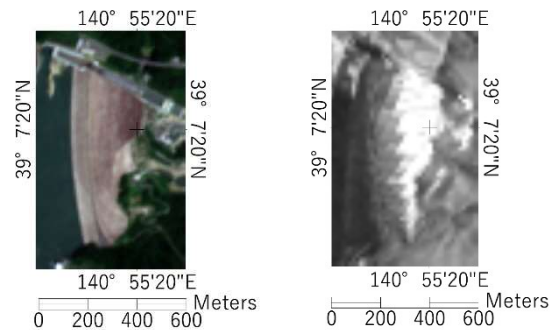


図-1 胆沢ダム堤体の衛星画像

(2) PSInSAR 処理による解析

2014年11月25日~2019年3月16日に、胆沢ダムを含む領域を南行軌道で観測した36シーンから、177組のペアを選定し PSInSAR 処理を実施した。処理の過程で DEM 誤差推定や水蒸気遅延の影響の低減を施した。図-2および図-3に解析結果を示す。変位の参照点は、画像範囲の東方約6km に位置する電子基準点「胆沢」付近に置いた。図-2には、2014年11月25日を起点とする鉛直方向の変位量分布の経時変化を示した。図から、時間経過に伴う堤体の沈下傾向が示唆される。特に天端における沈下量の大きいことが示された。図-3には、天端と堤体近傍について鉛直変位量の経時変化を示した。点 A は、天端で最も沈下量が大きい地点のひとつであり、調査期間の4年4カ月の間に約4cm の沈下が生じていると推定された。点 B は天端の左岸付近に位置し、約3cm の沈下を示した。点 C は堤体近傍の地点であり、約1.5cm の沈下を示した。天端では、両端よりも中央部分の沈下量が大きく、南側がより速い速度で沈下しているという結果となった。

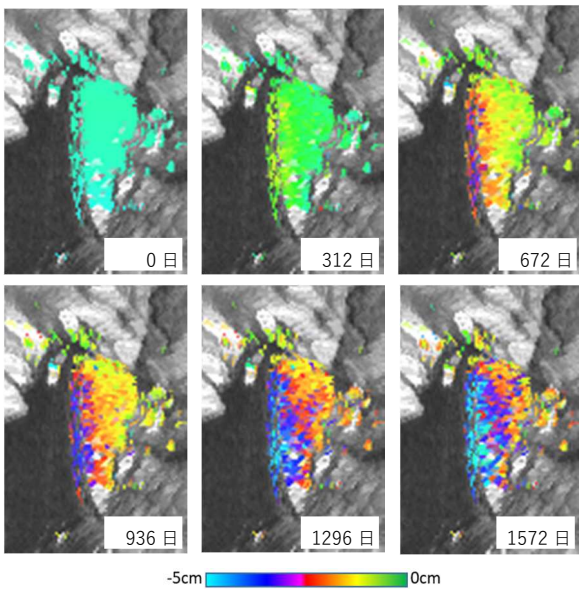


図-2 PSInSAR 解析による変位量分布の経時変化

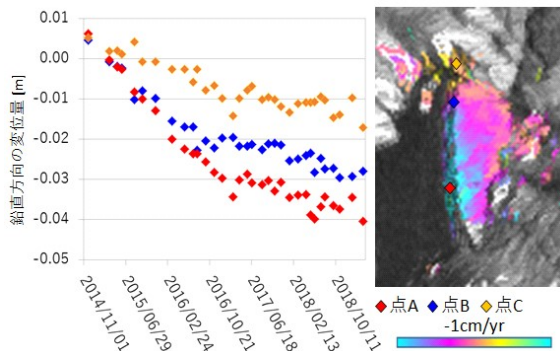


図-3 PSInSAR 解析による変位速度図と経時変化

(3) DInSAR 処理による解析

2014年11月25日～2019年4月9日の期間に、南行軌道で観測された95シーンをを用いて、観測間隔が2年以上となる1,261組を選択しDInSAR処理を実施した。植生の影響により、堤体周辺以外の干渉性の悪いことが判明した。ダム周辺のアンラップ処理エラーを回避するため、堤体近傍の地点を参照点とした(図-5右内の白×印)。干渉結果のうち、積雪の影響等により干渉性が悪いペアを除外した。また干渉結果から、水蒸気遅延の影響を強く受けていると判断されたシーンをを含むペアも除外した。残った196組のペアを用いて時系列解析を実施した。図-4および図-5に解析結果を示す。図-4には、2014年11月25日を起点とした鉛直方向の変位量分布の経時変化を示した。等変位量線の間隔は1cmである。PSInSAR処理の結果と同様に、時間経過に伴い堤体が沈下する結果を得た。沈下が天端に沿っている点も同じ傾向である。図-5には、図-3の点A,Bと同一地点について鉛直変位量の経時変化を示した。PSInSAR処理の結果と同じ傾向であるが、点Aで約2.5cm、点Bで約1.5cmの沈下を示しており、沈下量が1.5cmほど小さい。これは図-3の地点Cで確認できるように、参照点付近が期間内に約1.5cm沈下しているため

と考えられる。

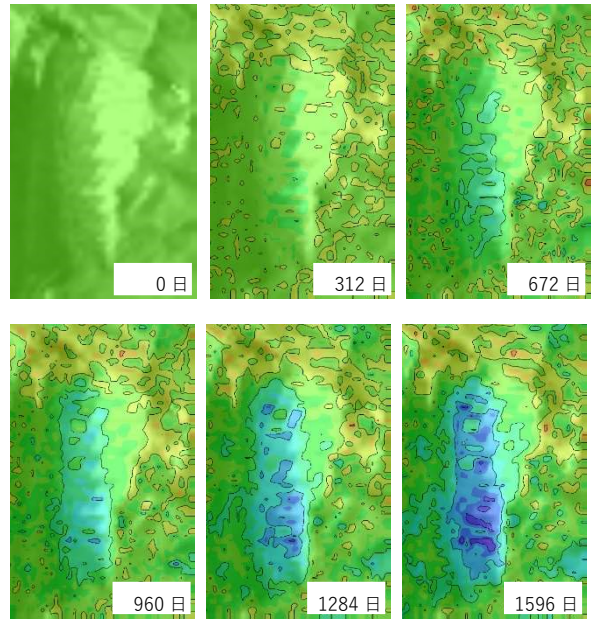


図-4 DInSAR 解析による変位量分布の経時変化

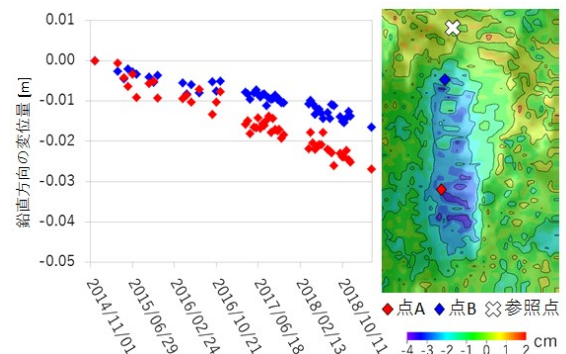


図-5 DInSAR 解析による変位量図と経時変化

4. おわりに

Sentinel-1 CSAR データを用いた PSInSAR 処理により、ダム堤体の変位を cm オーダーで検出できることを示した。DInSAR 処理では同じ傾向を面的に捉えることができた。検出結果の評価には、現地測量結果等の検証データとの照合が必須であるが、本スタディは試行として実施したため検証作業を含めておらず、絶対値の精度評価は未着手である。しかしながら PSInSAR と DInSAR の結果の整合性は、検出結果の妥当性を示唆するものと考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) Copernicus Open Access Hub ホームページ. <https://scihub.copernicus.eu> (確認日:2019.4.12.)
- 2) 国土地理院基盤地図情報サイト. <https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html> (確認日:2019.4.11.)
- 3) 北上川ダム統合管理事務所ホームページ. http://www.t-hr.mlit.go.jp/kitakato/01dam/is_outline.html (確認日:2019.6.6.)