

衛星 SAR によるロックフィルダム および貯水池周辺斜面の 変位モニタリング技術の開発

国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 大規模河川構造物研究室

さとう ひろゆき いしかわ りょうたろう こんどう まさふみ
佐藤 弘行, 石川 亮太郎, 金銅 将史

1. はじめに

わが国では現在、約 2,700 基のダムが管理中あるいは建設中である。そのうち完成後 50 年以上経過するダムは、2020 年には約 1,500 基と国内のダムの総数の過半数を超える見込みである。

ダムは一般にその完成後、次第に堤体や基礎地盤の挙動は安定に向かうが、地震その他の理由で挙動に異常がないか、管理者による巡視と計測を基本とする安全管理が日常的に行われている。

このうち、フィルダムでの基本的な計測項目となっているものに堤体変位の計測がある。変位計測は、一定の強さ以上の地震後に実施される臨時点検の際にも必要となるが、大規模地震のような広域災害時における測量作業員の確保、計測作業に要する時間、作業の安全確保等の課題がある。

また、変位計測は、経時的に異常な沈下が生じていないかを日常的に監視するため平常時も定期的に行う必要があるが、堤体の規模や形状、周辺地形等ダムの特性に応じて、より効率的な手法の導入を検討する余地がある。さらに、ダム管理の対象には堤体以外に広大な貯水池周辺斜面の監視も含まれ、多くの対象斜面を抱えるダムでは、より効率的・効果的な監視方法が求められている。

このため、ダム等の変位モニタリングを平常時・

地震時とも効率的かつ効果的に計測する技術の開発を目標に、筆者らは SIP インフラモニタリング分野における研究開発として「衛星 SAR による地盤および構造物の変状を広域かつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発」（平成 26～30 年度）を実施している。本稿では、これにより現在までに得られている成果の一部について紹介する。

2. 衛星 SAR による変位の計測方法

(1) 衛星 SAR について

衛星 SAR とは、人工衛星に搭載された SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダー) である。衛星 SAR では、地上 600 km 程度の上空を南北方向に周回する衛星に搭載されている SAR センサから地表にレーダーを照射し、地表からの反射波を受信することにより地表の状態を観測することが可能である。衛星 SAR により得られるデータは、地表からのレーダーの反射波の強度と位相である。

衛星 SAR の特長としては、夜間や雨天時にもデータ取得が可能なこと、広域な範囲を観測可能であることなどがあげられる。このような長所を活用して、衛星 SAR は地震や火山活動による地殻変動や地すべりの把握等に活用されており、例

えば、熊本地震の複雑な地殻変動の迅速な計測にも活用された。

(2) 衛星 SAR による変位の計測方法

衛星 SAR は 2 週間程度の回帰日数で同一軌道を周回するが、同一軌道上で異なる時期に得られたデータの差（位相差）を抽出する干渉 SAR と呼ばれる手法により、図-1 のようにダム等の構造物の変位を計測することが可能である。

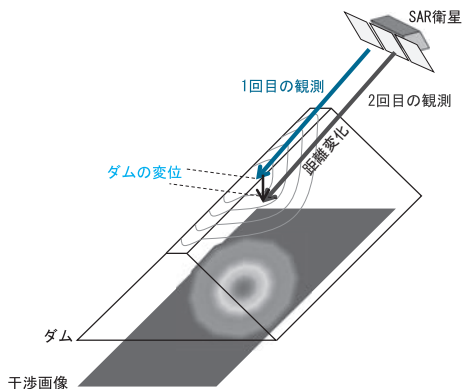


図-1 干渉 SAR によるダムの変位計測の概念図

3. ロックフィルダムの変位計測事例

本稿では、衛星 SAR によるダムの変位計測事例として、平成 26 年 5 月に打ち上げられ、現在運用中の「だいち 2 号 (ALOS-2)」の観測データを用いたロックフィルダム堤体の変位計測事例を

紹介する。だいち 2 号に搭載されているセンサの空間解像度は 3 m, 観測波長は 23.6 cm (L バンド) である。また、だいち 2 号の回帰日数は 14 日である。計測対象は国内の 19 基のロックフィルダムとした。各ダムともに、平成 26 年末から平成 29 年前半の約 2 年間の観測データを使用した。

図-2 に、干渉 SAR 解析によるロックフィル

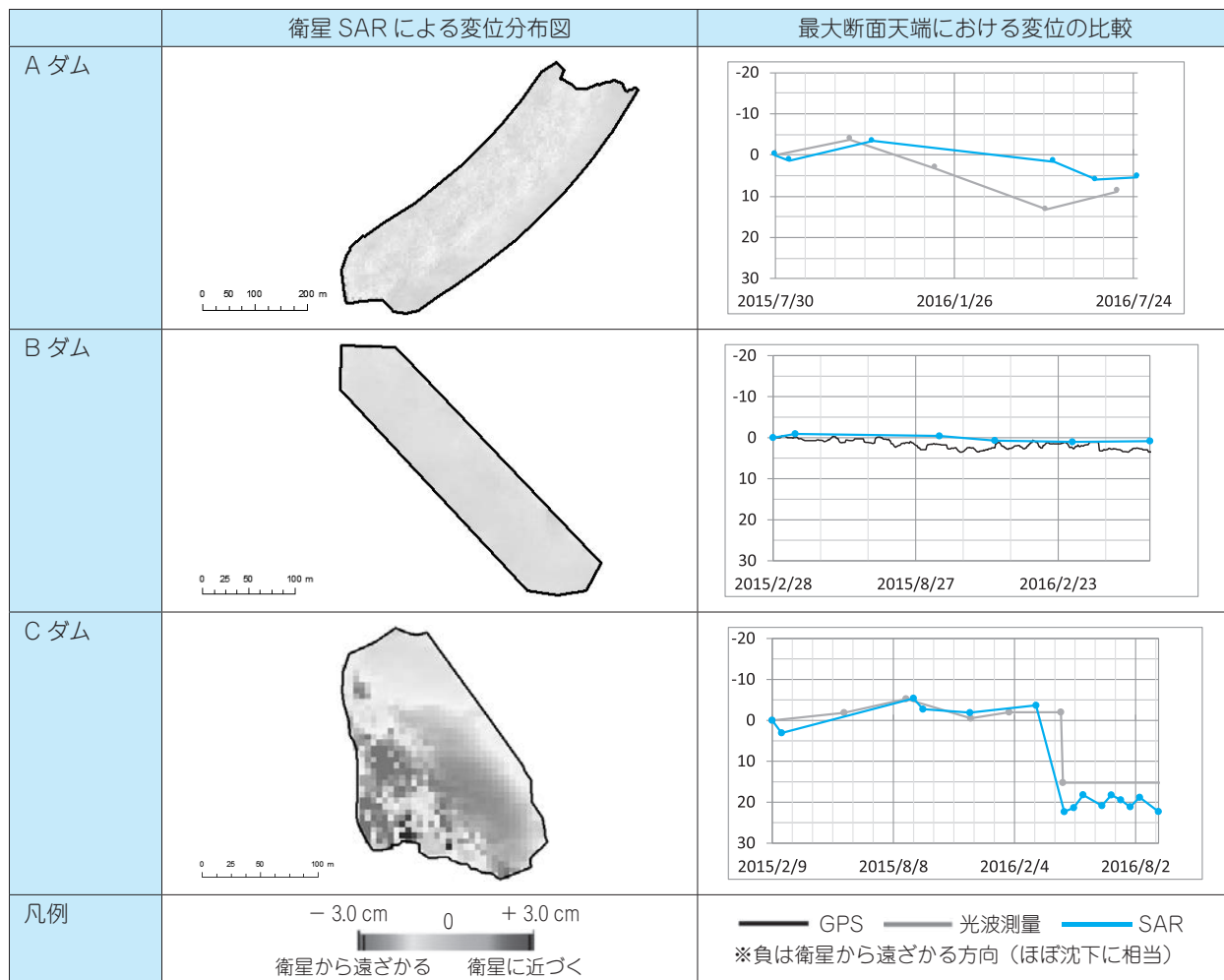


図-2 衛星 SAR により得られた変位分布（左図）と最大断面天端における既存の測量・GPS との比較（右図）

ダムの変位分布と、最大断面天端における既存の測量・GPS衛星との比較例を示す。同図より、Aダムでは衛星 SAR での計測結果が光波測量に対し最大 10 mm 程度の差があるが、Bダムでは衛星 SAR と GPS での変位がよく一致していることがわかる。

また、Cダムでは衛星 SAR で 20 mm 程度の沈下が計測されているが、同ダムは熊本地震の震央から約 20 km に位置し、光波測量でも地震前に比べ同程度の沈下が確認されている。なお、この沈下により安全性に影響は生じていないことも確認されている。

19 ダムを対象とした衛星 SAR による変位計測の精度を検証するため、RMSE（二乗平均平方根誤差）を指標として、既存の測量や GPS との差を評価した結果を図-3 に示す。なお、RMSE は、小さいほど既存の測量や GPS の結果との誤差が小さいことを示している。

図-3 より、19 ダムのうち 12 ダムは RMSE が 5 mm 以下であり、フィルダムの安全管理における実用上の精度（既存の測量との誤差）としては、比較的良好な結果が得られたと考えている。

また、図-3 において RMSE が 5 mm 以上となるケースについては、誤差が大きくなる要因を分析したうえで、計測精度を向上させる方法について検討を行っている¹⁾。

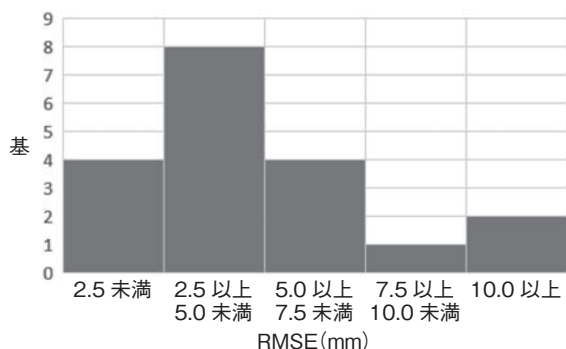


図-3 SAR と測量・GPS による変位量の RMSE の度数分布

4. 貯水池周辺斜面の変位計測事例

本研究では、ダム堤体以外にダム管理の対象となる貯水池周辺斜面についても、衛星 SAR による変位計測を行っている。干渉 SAR 解析による約 2 年間（平成 27 年 6 月～平成 29 年 6 月）の貯水池周辺斜面の変位計測結果の例を図-4 に示す。図の下側が貯水池であり、図の中央付近に数 cm 程度の衛星から遠ざかる方向の変位が捉えられている。

また、同図で大きな変位が計測されている領域の境界付近は、ダム管理者により確認されている地表の変状箇所（道路の段差等）と概ね一致することがわかった。このため、この衛星 SAR による計測結果は、貯水池周辺斜面の広域的な監視計画の立案に活用されることになっている。

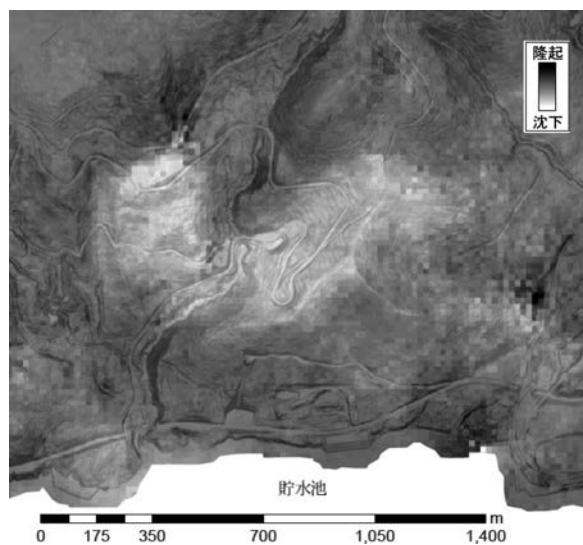


図-4 衛星 SAR での貯水池周辺斜面の変位解析例

5. おわりに

本稿では、衛星 SAR を活用したダムおよび貯水池周辺斜面の変位モニタリングについて、これまでの研究成果の一部を紹介した。これまでの検討から、現在運用中のだいち 2 号のデータを用いた場合、ロックフィルダムの変位を 5 mm 程度の精度で計測可能である。このため、衛星 SAR をロックフィルダムの平常時や地震時の変位モニタリングに活用することが可能であると考えており、現在、ダム管理での衛星 SAR の活用方法をわかりやすく示すマニュアルを作成中である。また、貯水池周辺斜面については、ダム堤体に比べるとまだ解析事例は多くないが、ダム管理者のニーズは高いため、同様にマニュアル等の整備を進める予定である。

なお、衛星 SAR は本研究で対象としているフィルダム等の変位を面的に計測できる点で大きな長所はあるが、勾配が急な斜面の計測が難しいな

どの課題があることもわかってきている。そのため、衛星 SAR と従来の測量や GPS 等の測量技術を融合し、各々の長所を活かした効率的で信頼性の高い変位モニタリング手法を確立していきたいと考えている。

謝 辞

本研究は、内閣府の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）のインフラモニタリング分野の個別課題「衛星 SAR による地盤および構造物の変状を広域かつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発」（平成 26～30 年度）により実施しているものです。

本研究の実施にあたって、各種データ提供等のご協力をいただいた関係各位にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 佐藤弘行・金銅将史・小堀俊秀・小野寺葵：衛星 SAR データを用いた 19 基のロックフィルダムの外部変形計測，ダム技術，No.371，pp.3-14，2017.8.