



# XバンドSAR衛星による ロックフィルダムの変位解析

○田口智大・本田謙一・佐藤匠（国際航業）  
小堀俊秀・櫻井 寿之（国土技術政策総合研究所）

## 1.はじめに

ロックフィルダムの安全管理の項目の一つとして、堤体の変形計測が義務づけられているなかで、ロックフィルダム堤体を面的に、かつ効率的に計測できる技術が求められている<sup>1)</sup>。

さらに、令和6年能登半島地震等の大規模災害時には周囲の道路状況等によりダム管理者がダムに近づくことができない場合があり、遠隔から被害状況を把握することも望まれている。

そこで国総研と国際航業では、ダムの安全管理における合成開口レーダ（SAR）衛星の活用への検討を進めている。

本検討では、今後の小型XバンドSAR衛星の打ち上げを踏まえ、**今後の高分解能の小型SAR衛星コンステレーションの実運用を想定して、XバンドSAR衛星を用いたロックフィルダム堤体の変位計測を実施し、実用性の確認と解析上の留意点を整理した。**

## 2.検討対象と使用データ

### 検討対象

検討対象：大分県ななせダム（国土交通省九州地方整備局）

ななせダムの諸元	
ダム型式	中央コア型ロックフィルダム
堤体盛り立て完了時期	2019年11月24日
堤高	92m
堤頂長	500m
堤体積	3,800,000 m <sup>3</sup>
有効貯水容量	22,400,000 m <sup>3</sup>
GNSS計測点数	24



ななせダムの概況

ななせダムの位置 (Google Earth)

### 使用データ

ななせダム周辺のCOSMO-SkyMed観測条件

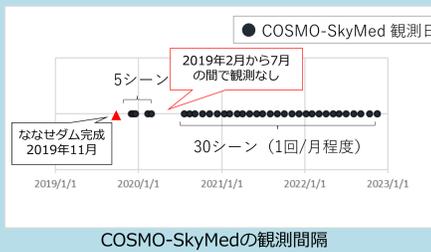
軌道方向	観測モード	観測幅	分解能	方位角
北行	StripMap Himage	40km	3m	21.78

使用データ：

- ・COSMO-SkyMed(XバンドSAR)を使用
- ・DEMデータは航空機レーザスキャナで取得・作成されたデータを使用

COSMO-SkyMedの観測日一覧

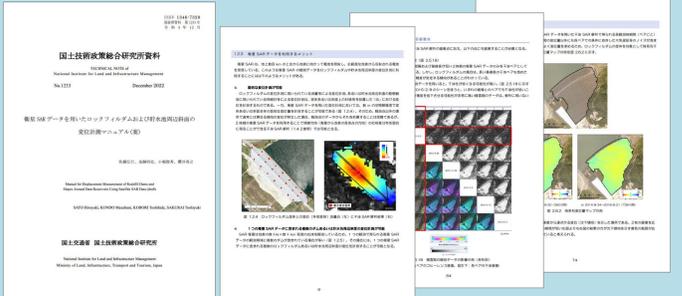
No.	観測日	No.	観測日	No.	観測日
1	2019/12/2	14	2021/3/10	27	2022/4/5
2	2019/12/9	15	2021/4/2	28	2022/5/7
3	2019/12/18	16	2021/5/4	29	2022/6/1
4	2020/2/12	17	2021/6/30	30	2022/7/3
5	2020/2/28	18	2021/6/30	31	2022/8/4
6	2020/7/20	19	2021/8/1	32	2022/9/5
7	2020/8/14	20	2021/9/2	33	2022/10/14
8	2020/9/6	21	2021/10/4	34	2022/11/15
9	2020/10/9	22	2021/11/5	35	2022/11/16
10	2020/11/10	23	2021/12/7		
11	2020/12/12	24	2022/1/8		
12	2021/1/12	25	2022/2/1		
13	2021/2/6	26	2022/3/4		



COSMO-SkyMedの観測間隔

## ダムの変位計測に関する既往研究

- ・LバンドSAR衛星：変位計測マニュアル(案)<sup>2)</sup>を公開
  - ・CバンドSAR衛星：フィルダムの外部変形モニタリングの実施<sup>3)</sup>例あり
- ⇒XバンドSAR衛星によるロックフィルダムの変位計測の適用事例は少なく、解析条件が整理されていない。



国総研資料第 1233 号

「衛星SARデータを用いたロックフィルダムおよび貯水池周辺斜面の変位計測マニュアル(案)<sup>2)</sup>」

## 小型XバンドSAR衛星（国内）

- ・国内複数の民間衛星事業者がXバンドSAR衛星による小型衛星コンステレーションを構築中（Synspective/QPS研究所）
- ⇒小型SAR衛星コンステレーションの構築により、従来ダム軸の方向や不可視領域により適用が難しかったダムへの適用が期待される。
- ⇒既存のXバンドSAR衛星(COSMO-SkyMed)を使用することで、XバンドSAR衛星の実用性の確認と解析上の留意点を整理

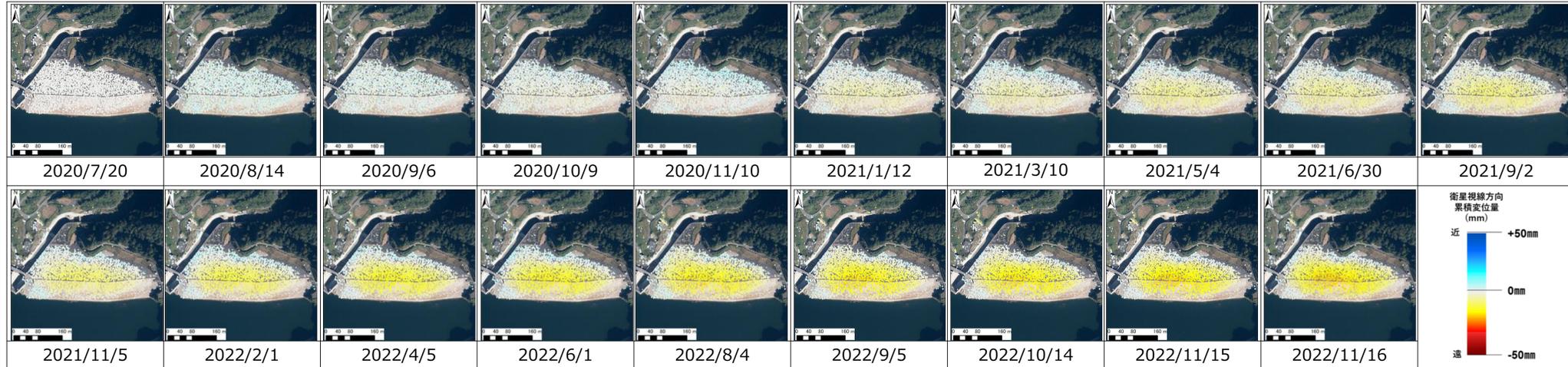


Synspective : StriX  
https://synspective.com/jp/satellite/satellite-strix/ (2024/11/12閲覧)

QPS研究所 : QPS-SAR  
https://i-aps.net/project/ (2024/11/12閲覧)

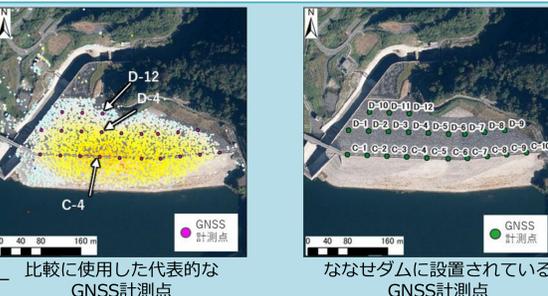
## 3.解析結果と考察

2020/7/20～2022/11/16のうち、基線長の長い2021/12/7を除いた29シーンによるPSInSAR解析結果の時系列推移を以下に示す。



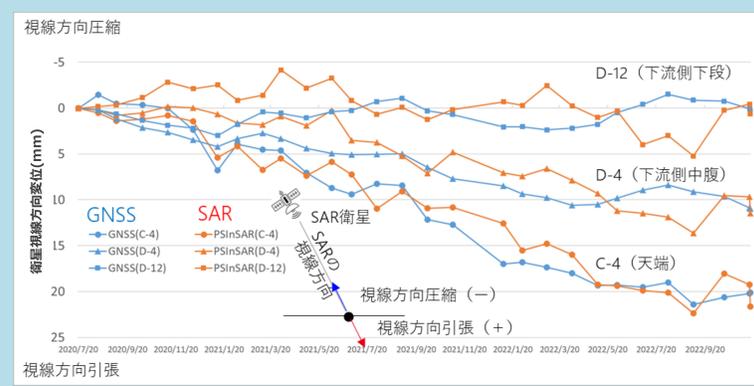
## GNSS変位量とSAR解析結果の比較

- ・累積沈下量の大きい中央断面のGNSS計測変位とPSInSAR解析結果の視線方向の時系列推移を比較した結果、いずれの計測点においても**GNSSの変位に整合するSARの変位推移が得られた。**
- ・ななせダム堤体を計測しているGNSS全点を用いて、算出したRMSE(二乗平均平方根誤差)は**3.24mmであった。**(LバンドSAR衛星では5mm程度の計測精度<sup>4)</sup>)

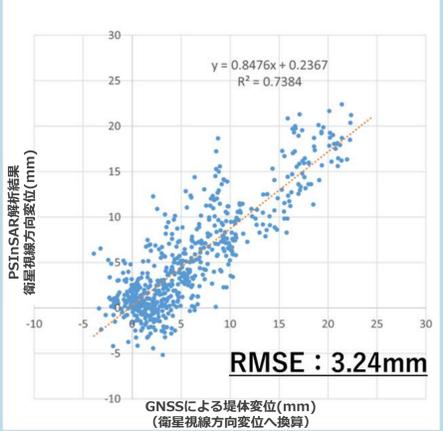


比較に使用した代表的なGNSS計測点

ななせダムに設置されているGNSS計測点



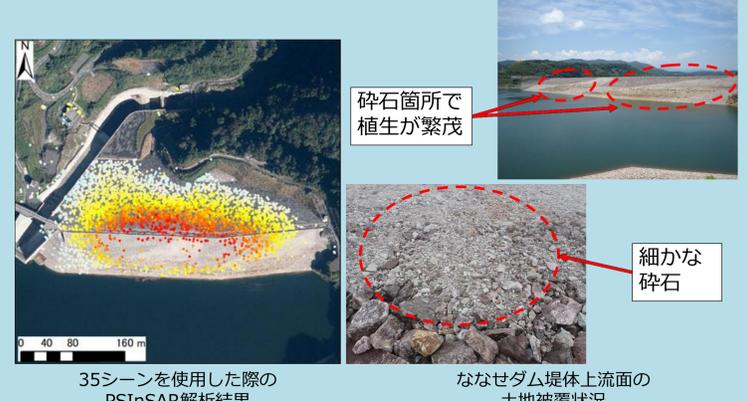
GNSSとSARの視線方向変位の推移（中央断面）



GNSSとSARの視線方向変位の比較

## XバンドSAR衛星の解析上の留意点

- ・解析において、堤体上流面で干渉性の低下する干渉ペアが複数あることを確認した。
- ・現地確認の結果、**堤体上流面はロック材の間に細かい碎石が詰まった状態となっており、降雨等で碎石が流れ落ちることで干渉性が低下している可能性があると考えられる。**
- ・ななせダムの観測は、2019年2月から7月までの半年ほどの空白があり、**観測間隔の開きが全体の干渉性を低下させたことも原因と考えられる。**



碎石箇所  
植生が繁茂

細かい  
碎石

35シーンを使用した際のPSInSAR解析結果

ななせダム堤体上流面の土地被覆状況

## 4.まとめ

- ・小型SAR衛星コンステレーションの実運用を想定し、既存のXバンドSAR衛星を用いてロックフィルダム堤体の変位計測を実施した。
- ・XバンドSAR衛星のPSInSAR解析結果より、ロックフィルダム堤体で計測精度3mm程度の高精度な変位計測が可能であることを示した。
- ・XバンドSAR衛星の解析上の留意点として、波長の長いLバンドSAR衛星と比べ、土地被覆変化などの外乱の影響を受けやすいことを確認した。
- ・今後、さらに小型SAR衛星の機数が増加することで<sup>5)</sup>、ダムに対し高頻度かつ様々な方向からの観測が可能となる。それにより解析の安定化およびより高精度な変位解析の実装が期待できる。

### 参考文献

- 1) 財団法人国土開発技術センター編：改定解説・河川管理施設等構造令，2012。
- 2) 佐藤匠行、金銅将史、小堀俊秀、櫻井寿之：衛星SARデータを用いたロックフィルダムおよび貯水池周辺斜面の変位計測マニュアル(案)，国総研資料，第1233号，2022。
- 3) 安保秀範、大澤高浩、葛平剛、高橋章、山岸勝俊、櫻澤裕紀：人工衛星のSentinel-1 SARデータを活用したPSInSAR解析によるロックフィルダムの外部変形モニタリングの精度検証，土木学会論文集，79巻，7号，2023。
- 4) 虫明成生、本田謙一、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，土木学会全国大会第73回年次学術講演会講演要旨集，CS9-049，pp.97-98，2018。
- 5) 内閣府：内閣府における衛星データ利用拡大への取組状況について，https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/rs/dai3/siryou1\_9.pdf（2024年9月23日確認）。