

福島第一原子力発電所における SAR 衛星による測定の精度評価について

東京電力HD 正会員 ○井原 雄大 小池 雄一郎 水野 卓弥
東京パワーテクノロジー 正会員 宮本 法秀
パスコ 非会員 石岡 義則 桑島 宣司

1. はじめに

福島第一原子力発電所（以下 1F）では多数の廃炉に係る設備を維持管理しており、定期的に点検を実施している。その内、汚染水流出防止目的で設置した海側遮水壁については杭頭変位を確認するため、目視点検に加えて光波測距を週 1 回の頻度で実施していた。しかし光波測距は、防波堤からの測量となり危険を伴うことと、監視箇所周辺における工事の影響で測量困難となる可能性も考えられたため、それに代わる方法として 2018 年より TerraSAR-X（以下 SAR 衛星）（図 1）による衛星測量も月 1～3 回の頻度で実施している。

本稿では人工衛星によって得た SAR 衛星データを用い、海側遮水壁の計測範囲において、mm 単位の精度で計測できる結果が得られたのでその内容を報告する。

2. 設備概要及び計測概要

海側遮水壁の設備概要を示す。1F では汚染水発生量低減措置として、汚染の可能性がある地下水が海洋に流出し、環境に影響を与えることがないように、1F 原子力発電所 1～4 号機の海際の地中深くに 30m 程度の鋼鉄の壁を 2015 年に設置した。閉合後は汚染水発生量の低下及び、港湾内の放射性物質の濃度は低下傾向であることが確認されている。本稿では海側遮水壁の内、CR 設置範囲である約 485m(CR60-400)を対象に衛星測量を実施した（図 2）。

計測期間は 2018 年 10 月～2022 年 3 月の内、2018 年 10 月から 2019 年 3 月までは、回帰日数である 11 日周期、2019 年 4 月以降は月 1 回の計測頻度で実施し、現地測量との精度を比較評価した。

3. SAR 衛星の計測の原理及び計測手順

SAR 衛星を用いた測量は、宇宙から電波を照射し、人間が知覚できない波の変化情報が可視化できる原理を利用して、波長の位相差の違いから変位を観測することが可能となる方法である(図 3)。また、雲や雨といった天候による影響を受けず測定が可能ため、安定して計測できる特長を有している。SAR データについては、対象物によりマイクロ波の反射面が変わるため、波長ごとに精度が異なる。本計測では、この性質を踏まえ、より細かい変動を捉えることが出来る X バンド(波長約 3cm)を採用した(図 4)。

TerraSAR-X 1-3号機	
波長	Xバンド (約3cm)
衛星高度	514km
回帰日数	4日+7日*
撮影モード	Staring Spotlight
地上分解能	衛星飛行方向に25cm
偏波	HH

* TerraSAR-X3号機を含んだ場合

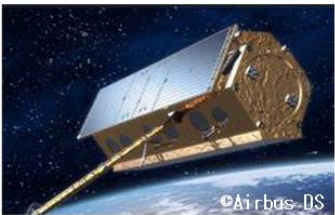


図 1 利用した SAR 衛星

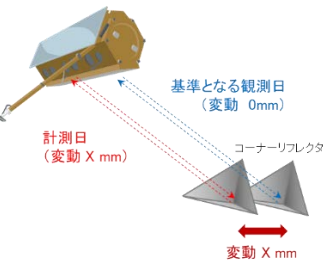


図 3 SAR 衛星の計測原理

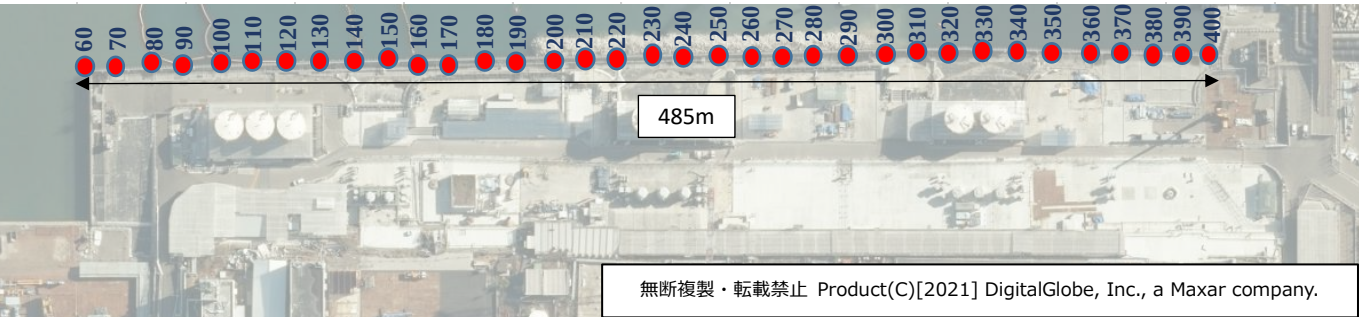
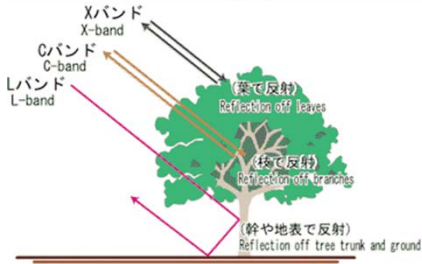


図 2 衛星測量における検討範囲

キーワード 海側遮水壁, SAR 衛星, コーナーリフレクタ, 測量, 廃炉, 福島第一原子力発電所

連絡先 〒1979-1301 福島県双葉郡大熊町大字夫沢字北原 22 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所 ℡0240-32-2101

また、観測方法については、現時点で世界最高の分解能である Staring Spotlight モード(25cm×60cm)を利用することとした。このとき、SAR 衛星による変位量の観測地点は、SAR 衛星から照射された電波が、海側遮水壁の地表部に設置したアンテナ（コーナーリフレクタ 以下CR）とした。なお、変位量については、座標情報を明確にしたうえで評価した(写真 1)。



Xバンド	波長約 3 cm
• 欧州で開発が進み TerraSAR-X に搭載 • 波長が短く、地表面の観測をきめ細かくデータ取得することに向いている。 • Airbus DS (ドイツ) の TerraSAR-X の場合 植生があると観測不可。精度はミリ単位。 商用衛星につき、オーダー観測より最短11日に1回の観測が可能	
Cバンド	波長約 6cm
• カナダが流氷観測等を目的に開発先行させてきた。RADARSAT-2 に搭載。 • 波長の長さが海面に漂う油濁等の観測に向いているとされ、事例も多い。	
Lバンド	波長約 24cm
• 日本が注力して開発を進め、ALOS-2 に搭載。 • 植生がゆたかな地域の観測に向いており、災害時利用の他、森林資源の把握、資源探査、地盤変動把握など多岐にわたり活用 • JAXA の ALOS の場合 (国産) 植生であっても観測可能。精度はセンチ単位 年間4回は日本を観測するのでアーカイブ活用が可能で、ALOS-2 は2014年〜現在、ALOS1 は、2006年〜2011年のアーカイブ有り	

出典：https://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_principle_1.html
図 4 マイクロ波ごとの特長

CR は形状が三角錐となっており、衛星から出力された電波のエネルギーを CR に集約させることで、正確に電波が反射される構造で、より正確なデータが獲得できる特長を有している。

4. 計測結果

SAR 衛星による計測結果を示す(表 1、図 5)。結果として標準偏差 5.4mm と高い精度で計測が可能なが確認できた。一方、評価点ごとの変動差(図 6)については、20mm 以上の誤差が 33 点確認されたが、評価点の内、約 93%が誤差 10mm 未満という結果となり、1749 点とサンプル数も多いことから、mm 単位のレベルで計測可能といえる。また、現地測量と衛星測量の計測結果分布から海側遮水壁の変動については現地測量及び衛星測量の測定値ともに、陸側に変動しているという結果となった。

5. まとめ

海側遮水壁における衛星測量の精度評価として、mm 単位の精度で計測できるか検証した結果、現地の測量と同程度 (RMSE5.7mm、標準偏差 5.4mm)であることが確認され、mm 単位のレベルで計測ができた。

今回利用した SAR 衛星による計測は数日毎 (例えば 11 日毎) となりリアルタイムでの計測ができないことから、日単位で管理する設備については別の方法で測量を補完する等、設備ごとに最適な測量方法を選定していきたい。

また、今回検証した衛星測量は、XY 方向(水平方向)のみ計測したもので、沈下・隆起に対する Z 方向(鉛直方向)は把握できていない。今後は、2.5 次元解析と呼ばれるそれぞれの軌道からの観測データで作成した SAR 画像から、2 軌道南行軌道の組み合わせによる水平・鉛直へ分解を行い、鉛直方向についても精度を高めていきたいと考えている。



写真 1 コーナーリフレクタ
表 1 評価点数と精度結果

計測回数	51回
評価点数	1,749点
RMSE	5.7mm
標準偏差	5.4mm

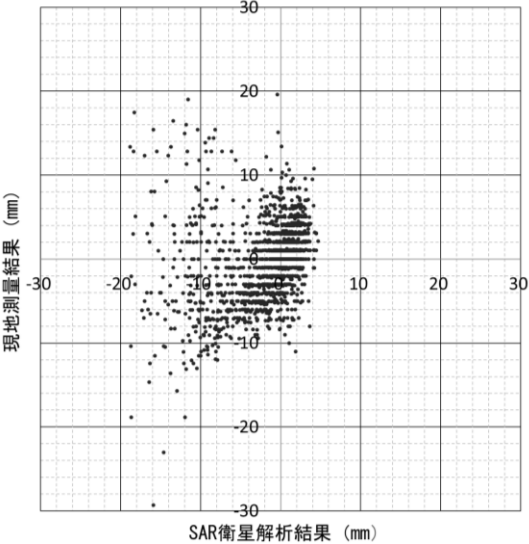


図 5 現地測量と衛星測量の計測結果分布

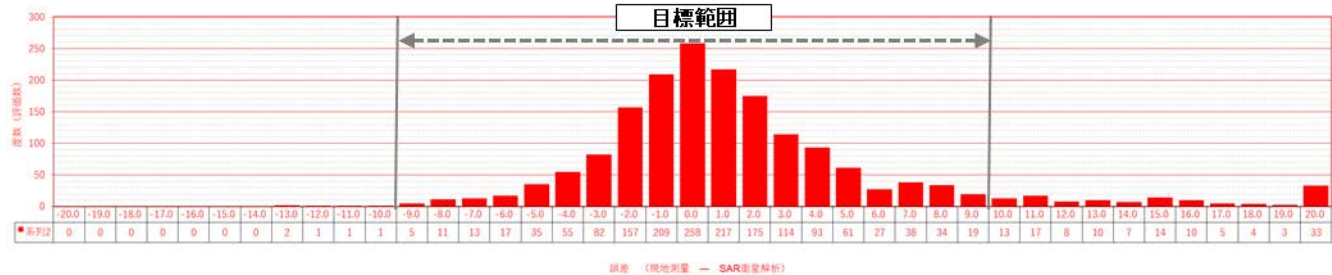


図 6 評価点ごとの変動差