

時系列衛星 SAR 解析による河川堤防の標高値推定

京都大学 学生会員 日下部 貴也

京都大学 正会員 ○須崎 純一

宇宙航空研究開発機構 正会員 穴原 琢磨

1. 序論

近年、インフラストラクチャーの維持管理が問題となっており、その原因として、対象となるインフラの膨大な数や、少子高齢化による人手不足、公共事業関係費の不足等が挙げられる。今後より一層深刻になると考えられ、インフラの維持管理をより効率的に行う必要がある。本研究では河川堤防に着目するが、堤防の沈下が進行すると、堤防の越水や決壊の危険性が高まる。そのため、河川堤防の維持管理では、堤防天端の標高値の測量が行われる。既存の測量方法には水準測量、GPS 測量、航空機レーザー測量が存在するが、手間や時間、費用がかかる反面、観測頻度が少ない点が支障となっている。そのため、より効率的な河川堤防の監視手法が求められている。

衛星リモートセンシングでは広範囲を定期的に観測できるため、観測データ数が増えるだけでなく、結果的に安価に観測できる。マイクロ波を用いる合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)で得られる複数時期の観測データにおける位相の変化から、地表面の変動を算出する差分干渉 SAR (Differential Interferometric SAR: DInSAR)という手法が広く普及している。これを多時期の画像に適用する時系列 SAR 解析では、地表面の変動が理論上数 mm の精度で推定可能といわれている[1]。本研究では、時系列 SAR 解析を通じて河川堤防の変動量を算出し、既知の標高値データに変動量を加えて標高値を算出する手法の有効性を検討した。

2. 対象地域及び使用データ

本研究では、円山川の出石川合流部から立野大橋の間の堤防を対象地域とした。円山川は兵庫県但馬地方を北に流れ、豊岡盆地を貫流し、日本海に注ぐ一級河川である。この円山川の地形的特徴としては、豊岡盆地の大半を含む河口から 16 km 地点までは河川の勾配が 1/10000 程度と大変緩やかで、河口からの高低差が 1 m ほどしかない。一方、それより上流では勾配が 1/500 程度と、かなりの急勾配である。そのため、山地部で降った大雨が、上流河川に流出して急流を一気に下って低平な豊岡盆地で氾濫するため、洪水災害が発生しやすい。直近では、2004 年台風 23 号の豪雨によって、豊岡市内だけで 9353 戸の浸水被害が発生した[2]。

本研究では、2015 年 6 月から 2018 年 3 月にかけて ALOS2/PARSAR2 によって上昇軌道で撮影された SAR 画像 21 枚、下降軌道で撮影された SAR 画像 24 枚を用いた。時系列 SAR 解析を行う過程で用いる標高値データは国土地理院が提供している 10 m メッシュの数値標高モデル(Digital Elevation Model: DEM)を用いた。標高値計算過程で必要となる標高の初期値については、2009 年に実施された LiDAR による測量の結果を、推定標高値の検証データには 2015 年に実施された LiDAR による測量結果を用いた。

3. 推定手法

SAR 画像から変動速度を求めるために Persistent Scatterers Interferometry (PSI)[3]を用いた。PSI は多時期の SAR 画像から後方散乱が強く、かつ安定した画素(Persistent Scatterer: PS)のみを抽出し、その時系列変動を推定する。しかし PS 点となり得る地表の物体は主に人工構造物や岩であり、本研究で対象とする河川堤防にはそのような物体は少ない。そこで PS 以外の後方散乱が弱いピクセル(Distributed Scatterers: DS)について、周辺のピクセルとともに平滑化を行うことでノイズを減少させ、PS として扱えるようにした[5]。このようにして PSI を行い、まず衛星視線方向の変動速度を推定した。

キーワード 時系列 SAR 解析 河川堤防 PSI

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-1-206 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3300

次に衛星視線方向の変動速度から、鉛直方向の変動速度を推定した。衛星視線方向は、上昇軌道(Ascending: ASC)と下降軌道(Descending: DES)で撮影した SAR 画像の二方向存在する。また SAR は衛星の真横下方を観測するため、衛星視線方向は東西方向となり、それと直交する南北方向の変動を捉える感度は低い。そこで、南北方向の変動速度を 0 と仮定し、東西方向と鉛直方向の変動速度を推定した。最後に、対象とする堤防は線形変動しているという仮定の下、2009 年の標高値に変動量を加算して 2015 年の標高値を推定した。推定値の誤差を図 1(a), (b)に、推定標高値の誤差の平均値、Root Mean Square Error (RMSE)を表 1 に示す。

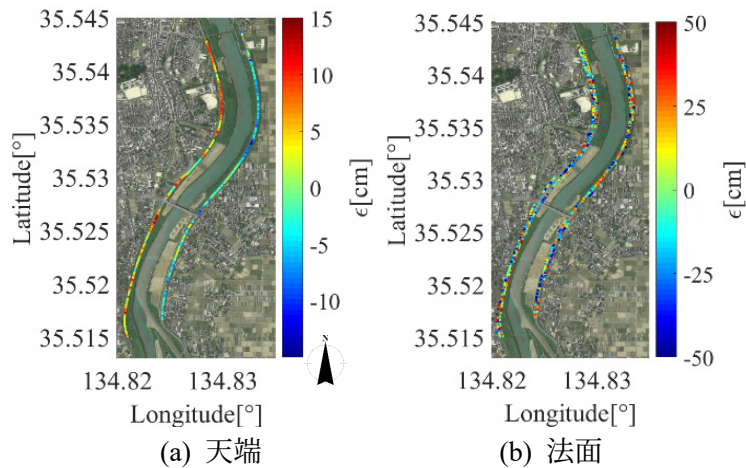


図 1 推定標高値の誤差

表 1 標高推定誤差

	天端 (左岸, 右岸)	法面 (左岸, 右岸)
誤差の 平均値	4.7 cm, -3.8 cm	-3.4 cm, -6.0 cm
RMSE	6.2 cm, -5.1 cm	25.2 cm, 28.6 cm

4. 考察・結論

まず推定誤差を評価する。許容誤差は公共測量作業規程の準則を参考にし、誤差の平均値は 25 cm 以下、RMSE は 30 cm 以下とした。表 1 より、天端と法面の推定値はどちらも許容誤差の範囲に収まっているが、法面の RMSE は大きく、30 cm に近い。その理由として、LiDAR の法面の観測データに大きな誤差が含まれたことが挙げられる。これは、天端はアスファルト舗装であるが法面は植生で覆われており、その植生によって LiDAR が観測で用いる近赤外線が反射され、観測データに植生の高さが含まれたと考えられるためである。以上より、本手法による天端の標高値推定は有効であったが、法面については有効でなかった。

また、堤防の右岸と左岸で堤防における標高値推定の傾向が異なる。表 1 より、左岸では推定値が平均 4.7 cm 大きい、右岸では 3.8 cm 小さい。これは年間沈下速度で左岸は 8 mm 小さく、右岸は 6 mm 大きく推定された。このことから、初期、検証標高データを観測した 2009 年と 2015 年の間と SAR 画像を観測した 2014 年から 2018 年間の変動は線形でなく、左岸は沈下が収束し、右岸は沈下が加速していると考えられる。

本研究では、時系列 SAR 画像を用いて河川堤防の天端、法面の標高値を推定し、その有効性を検証した。その結果、堤防天端については本手法の有効性を確認できたが、法面ではできなかった。今後の課題として、初期、検証標高データと SAR 画像の観測時期が合致する地域について本手法を適用し、その有効性、汎用性について検証を行う。

参考文献

[1] Hooper, Andrew, P.Segall, and Howard Zebker. "Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos." Journal of Geophysical Research: Solid Earth 112.B7 (2007).

[2] 国土交通省, 近畿地方整備局, 豊岡河川国道事務所 [オンライン]. Available: <http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/index.php>. [アクセス日: 2019/1/10]

[3] A. Ferretti, C. Prati, and F. Rocca, "Permanent scatterers in SAR interferometry," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 39, no. 1, pp. 8-20, 2001.