

干渉 SAR 経年変化解析による河川堤防の陥没発生以前の沈下挙動

干渉 SAR, 河川堤防, 陥没, 沈下

愛媛大学工学部 学生会員 ○大畠慧介
正会員 岡村未対
正会員 小野耕平

1. はじめに

重信川や石手川では近年、河川堤防に陥没が頻発している（表 1）。これらの陥没は何れも直径が 10cm～20cm 程度の比較的小さいものではあるが、堤体内部に空洞やゆるみ域が広がった結果として生じるものであり、そのような箇所では堤防の止水機能や高水時の堤体の安定性が低下しているものと考えられる。したがって、陥没孔として顕在化する以前の早い段階で検知できることが望ましい。

土構造物である堤体内部に空洞やゆるみが生じた場合、堤体内の応力状態が変化し堤体表面に変形や沈下が見られることが考えられる¹⁾。そこで、本研究では堤体の変形や表面沈下を詳細にモニタリングすることにより、陥没につながる内部欠陥を検知することが出来るかを明らかにすることを目的とし、近年陥没が発生した 5 か所について、陥没発生前の堤体表面の鉛直変位の経時変化を調べた。

2. 調査方法

本研究では過去の陥没発生以前の地表面沈下量の経時変化を知るため、蓄積されている過去の観測データが利用できる干渉 SAR(Synthetic Aperture Radar)を用いた。干渉 SAR とは陸域観測技術衛星 2 号（だいち 2 号）から 2 回照射されたレーダー波の位相差を地表の変位量として計測する技術である^{2), 3)}。だいち 2 号の概要を表 2 に示す。分解能の 1 ピクセルは 3m×3m と比較的粗いため、直径 20cm の陥没孔の沈下を検出することはできないが、山中ら⁴⁾は陥没孔の周辺部は数 m の範囲で沈下が見れたことを報告している。今回は 2014 年から 2018 年までの 4 年間で 11 回観測されたデータを使用した。

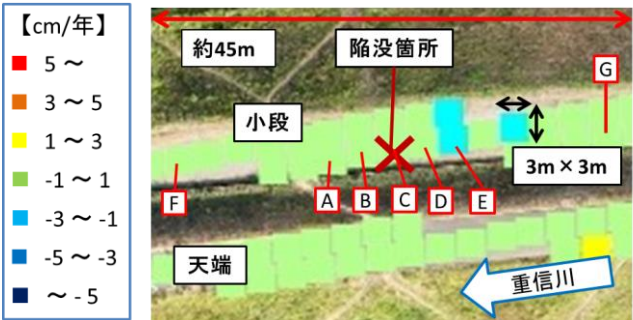


図 1 R2.4k 年間変位速度

3. 解析結果

(1) 重信川右岸 2.4k

図 1 は 2017 年 9 月に陥没が発生した重信川右岸堤防 2.4k 地点の約 45m 区間の平面図であり、解析から得られた天端と法面の沈下速度のコンターとともに、陥没箇所を×印で示してある。植生のある面は、植生の影響で高さが変動するため解析結果を示していない。図 2 は陥没孔を通る縦断方向の 7 か所の時系列グラフである。陥没箇所は小段堤外側で C 地点である。陥没箇所の上流側 6m の E 地点で 1.5cm/年と最大の沈下速度となっており、陥没孔の位置とは若干ずれが見られるが、

表 1 陥没発生箇所

陥没箇所		発生時期	位置
重信川	右岸	2.4k	2017年9月
		15.7k	2016年11月
	左岸	3k	2019年8月
		13.6k	2015年10月
石手川	左岸	0.5k	2018年2月

表 2 だいち 2 号概要
陸域観測技術衛星 2 号（だいち 2 号）

観測センサー	PALSAR-2
周波数帯	Lバンド(1.2GHz帯)
分解能	1ピクセル:3m×3m
飛行高度	628km

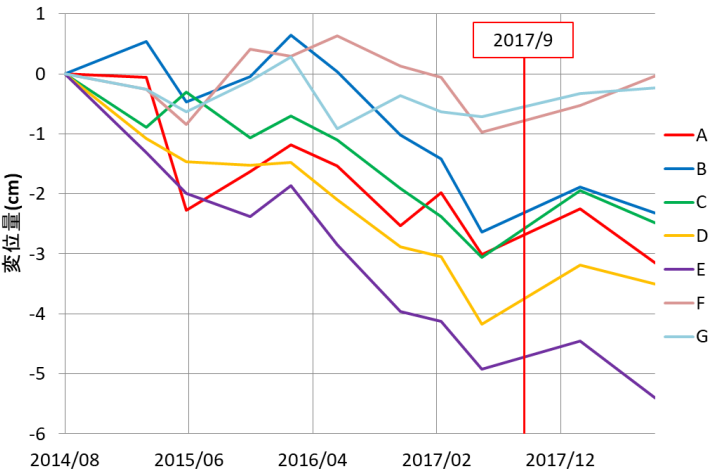


図 2 R2.4k 時系列グラフ

陥没孔周辺が沈下していることがわかる。また、陥没箇所から上下流側に 15m 離れた F 地点と G 地点では変位はほとんどない。

図 3 はこの地点の縦断方向測線の標高分布を RTK-GNSS で測量した結果である。測定は 2018 年 7 月と 2018 年 11 月（山中ら⁴⁾）および 2020 年 2 月の 3 時期である。X=-72458m～-72450m のおよそ 8m の区間で小段の表面が最大 5cm 程度凹んでおり、干渉 SAR の解析結果と整合している。

(2) 重信川左岸 3.0k

左岸 3.0k 地点では 2019 年 8 月に天端近くの法面に陥没が発生した。この地点を含む周辺区間では 2017 年および 2018 年の出水時に堤内側で漏水が見られた。図 4 は陥没箇所周辺の解析から得られた沈下速度のコンターである。図 5 は図 4 に示す 5 地点の沈下量の時系列グラフである。陥没発生時期は今回用いた干渉 SAR のデータには含まれていないが、その約 1 年前の 2018 年 7 月までの沈下を調べた。陥没近傍の天端の道路上の A～C 地点では全体的に沈下が見られ、陥没孔に最も近い C 地点では約 1cm/年の沈下速度となっている。また 15m 離れた D、E 地点での沈下は僅かであり、陥没孔周辺部のみが沈下していたことがわかる。

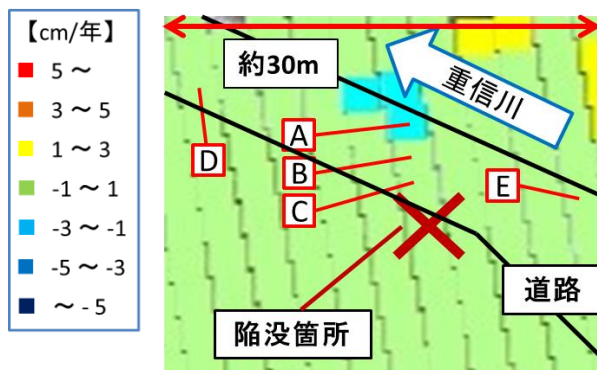


図 4 L3.0k 年間変位速度

4. まとめ

本研究では、陥没発生前の堤体表面に沈下が現れるのかどうかを調べることを目的とし、近年陥没が生じた 5 地点の干渉 SAR 解析を行った。本論文では紙幅の関係上その内の 2 地点のみの結果を示したが、対象とした 5 地点中 3 箇所では陥没発生前の沈下傾向を捉えた。これより堤体の変形や表面沈下を詳細にモニタリングすることにより、陥没につながる内部欠陥を事前に検知出来る可能性があることが明らかになった。

謝辞

本研究では、JAXA より提供された SAR 衛星解析ツールを用いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 岡村ら (2018):堤体表面沈下分布と貫入試験によるパイピング緩み領域の把握,河川技術論文集, 第 24 巻, pp. 529-534.
- JAXA:陸域観測技術衛星 2 号概要 <http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos2/>
- JAXA(2019):ANATIS 利用マニュアル
- 山中大智(2018):陥没孔周辺の堤体表面の動態観測, 第 6 回河川シンポジウム論文集
- 松山河川国道事務所(2019):令和元年度重信川河川堤防変状調査検討業務資料

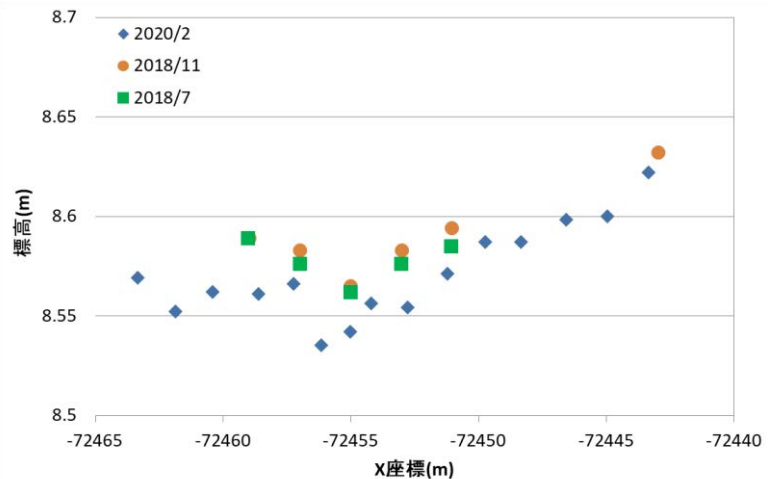


図 3 GNSS 計測データ

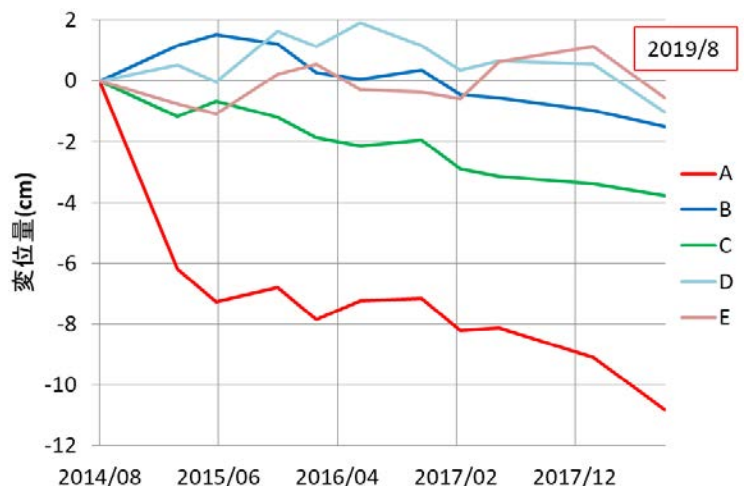


図 5 L3.0k 時系列グラフ