

4. 干渉 SAR 時系列解析による空洞発生位置抽出の可能性検討

A Feasibility Study on the Extraction of Cavity Formation Locations Using Time-Series Analysis of Interferometric SAR

○小笠原洋・古田盛永・藤原朱里・白石望和（復建調査設計）

船越和也・金田真一・中澤明寛（アジア航測）

1. はじめに

2025 年 1 月 28 日に埼玉県八潮市で発生した道路陥没事故は、被害者が出て 100 万人超に下水利用が制限されるなど、社会的に深刻な影響が及んだ。現在は、陥没を招いた下水や排水管など埋設管管理に注目が集まっているが、筆者の経験によると、埋立地など地盤変動が起きる地域での埋設管破断やずれによる土砂吸出しが多く認められた。このように地盤変動と陥没発生には地理的関連が考えられることから、地盤変動を考慮した調査区間選定の絞り込みなどで陥没監視を効率的・合理的に実施できる可能性がある。

一方、地盤変動を広域的に確認する技術として、干渉 SAR 解析に注目が集まりつつある。そこで本報告では、干渉 SAR による時系列変動と陥没・空洞発生地点の地理的関係について検討する。

2. 現地状況

調査地は香川県内のふ頭である。約 25m 区間が護岸変状に伴う地盤沈下が顕著で、改修が計画されている。またその周辺でも陥没痕が複数認められた。(写真-1)



写真-1 現地ふ頭の状況



写真-2 空中写真（電子国土より抜粋加筆）

3. 調査内容

3.1 干渉 SAR 時系列解析

合成開口レーダ（SAR）は、衛星から発出するマイクロ波を用いて地表面の形状や性質の情報を取得する技術で、各国の機関において、さまざまな SAR 衛星が運用されている。干渉 SAR は異なる時期に計測された SAR データからマイクロ波の位相差をもとに作成した干渉画像を用いて地表面変動を面的に計測する技術で、さらに干渉 SAR 時系列解析は多時期の干渉画像を統計的に処理して誤差を低減させ、地表面の微小な変動と時系列変化を捉える技術である。

本調査では、欧州宇宙機関(ESA)が運用する C バンド SAR 衛星「Sentinel-1」による Descending 軌道（北から南に衛星が進行）の SAR データを用いた。また解析区域として地盤沈下地点とその北側、南側でデータ取得されている区域対象とし、Sentinel-1 の Descending 軌道では入射角（天頂方向からの傾き）の平均 35.7° で西向きに電波を照射しているため、計測変動量は 35.7° 西傾斜した軸面方向での算出とした。（図-2）。

表-1 用いた衛星データ

SAR 衛星：Sentinel-1
帯域：C バンド、Descending 軌道のみ（西向き観測）
期間：2015 年 11 月～2021 年 12 月（約 6 年間、全 163 データ）

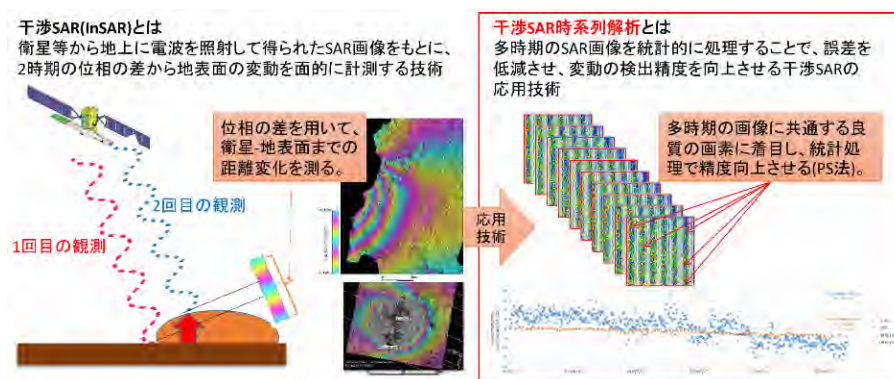


図-1 干渉 SAR 時系列解析の概要

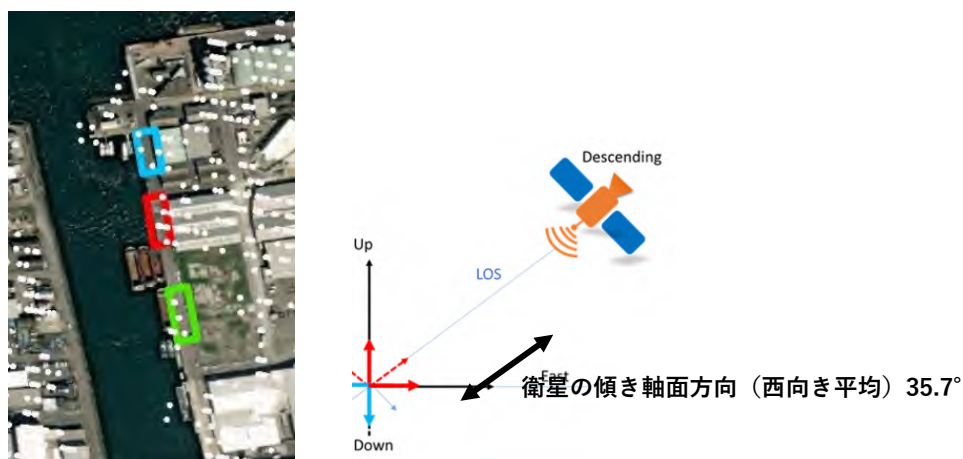


図-2 解析区域と変動計測方向

解析結果を図-3 に示す。

三つの区域における変動量は、区間ごとの小さな微小変動を繰り返しているものの地盤沈下区域（赤で示した区域）では徐々に沈下する傾向が認められた。一方、変状がない北側・南側区域はおおむね横ばい傾向を示した（図-3）。

さらに6か月の移動平均として図-4 にまとめて対比しても同様の傾向が確認できる。

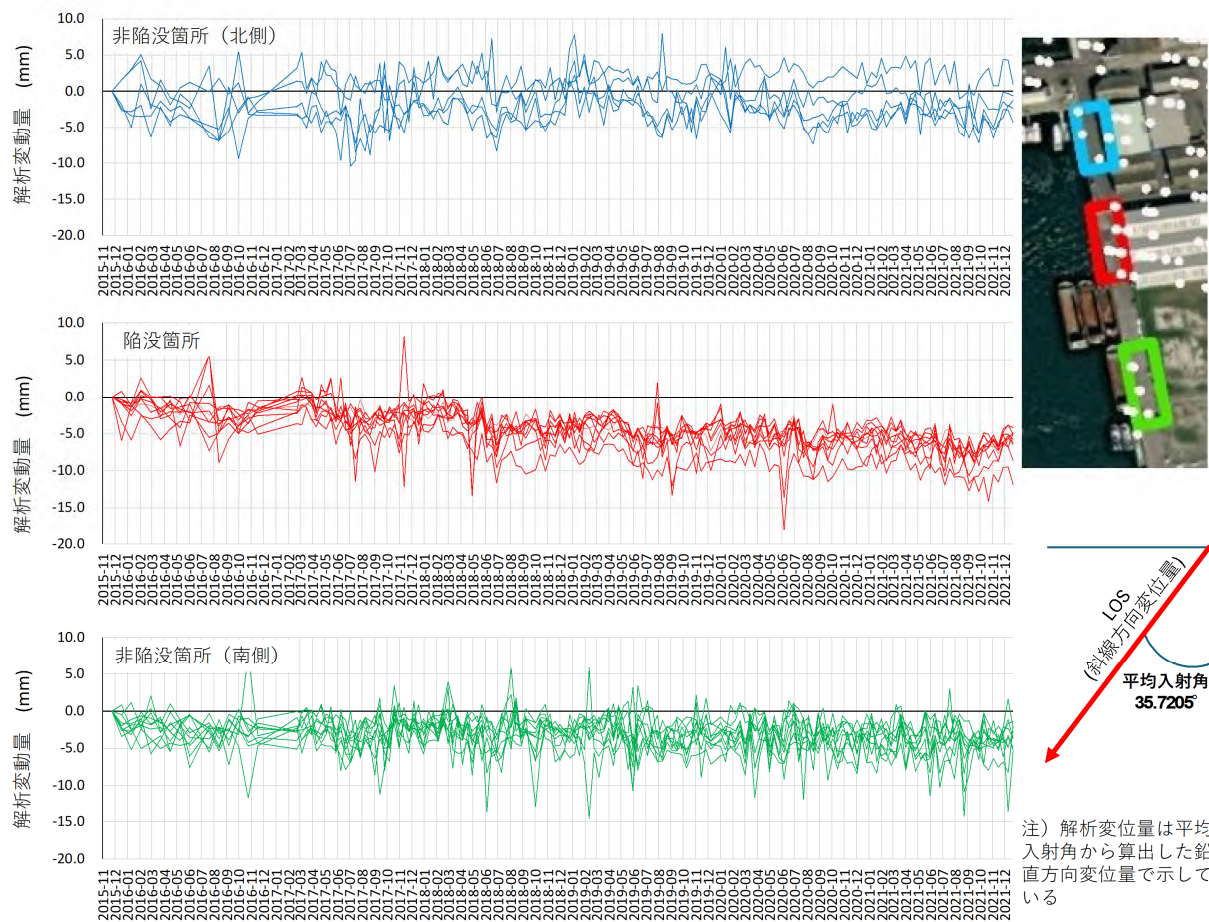


図-3 各解析区域での解析結果

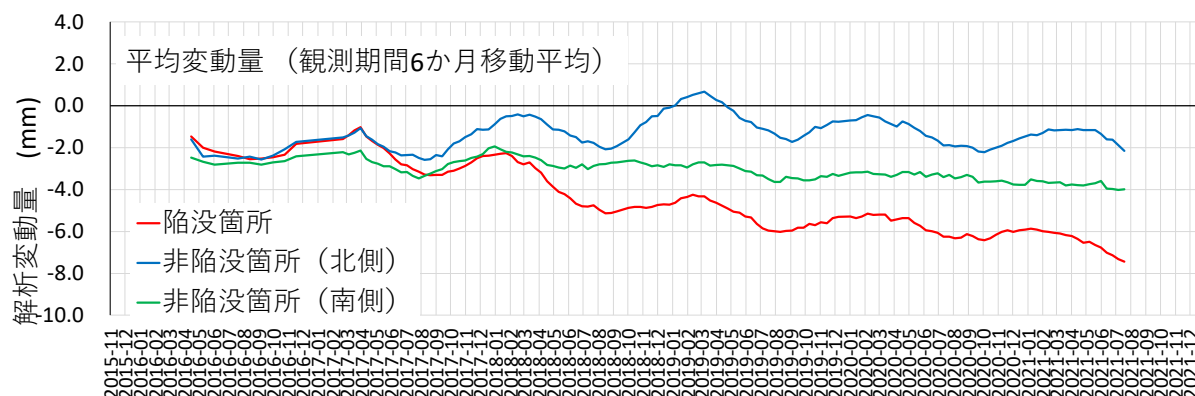


図-4 各解析区域の解析結果（6 カ月移動平均）

変動量をまとめると、表-2 の通りで地盤沈下区域の変動量は-1.31mm/年、標準偏差は 1.28～1.67mm 程度となった。ただし、本変動量は衛星傾き同軸方向である、西 35.7° 傾斜した方向の値であること、計測地点に建物屋根があったり、西側が海であるなどの区域の具体的にどこを計測しているかまでは分からない区域としての変動量を示していると考えられ、地盤沈下地点の個別沈下量とは 1:1 の関係にないことは留意されたい。

表-2 変動量解析結果

	北側	沈下箇所	南側
計測点数	5	10	10
変動速度(mm/年)	-0.07	-1.31	-0.35
標準偏差(mm)	1.61	1.28	1.67

3.2 陥没・空洞調査地中レーダ探査

干渉 SAR 時系列解析において、地盤沈下区域が変動するとともに南北区域は変動が認められなかったことを踏まえ、現地に認められる陥没・空洞地点の分布を把握することとした。

まず地盤表面で確認できる陥没地点を目視で確認するとともに、地盤沈下地点周辺の延長約 280m、幅約 12m 範囲内を対象に車載型空洞探査車（GMS3 システム）を用いた地中レーダ探査、および簡易削孔調査を実施した（写真-3）。

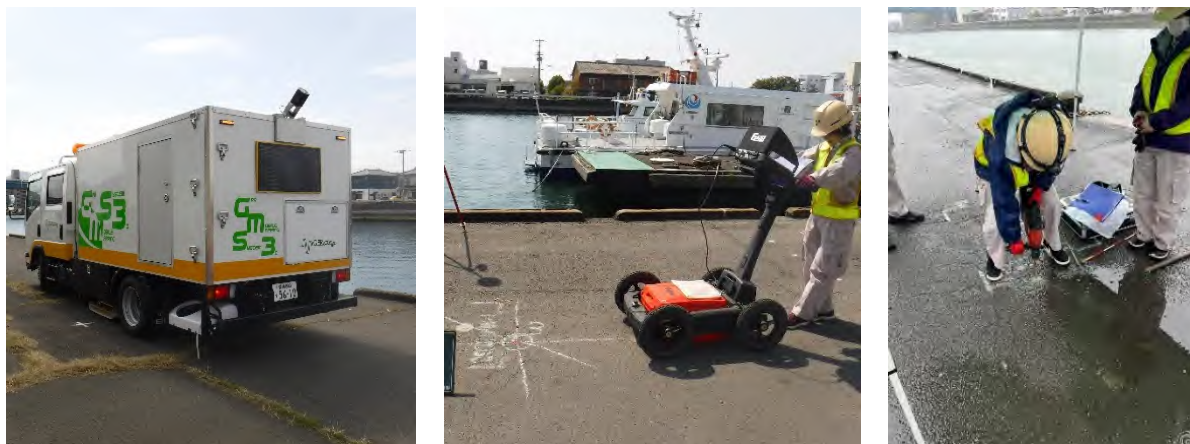


写真-3 車載型探査車による地中レーダと簡易削孔調査

陥没地点は6箇所、路面下空洞は6箇所確認された。陥没地点は地盤沈下区域に集中しており、変動に伴う土砂吸出しがあるものと推察される。路面下空洞も地盤沈下区域周辺で2地点確認された。

路面下空洞は北方区域でも3箇所、南方区域でも1箇所確認された。これらはいずれも岸壁近で確認されたことから、土砂吸出しによるものと推察される。

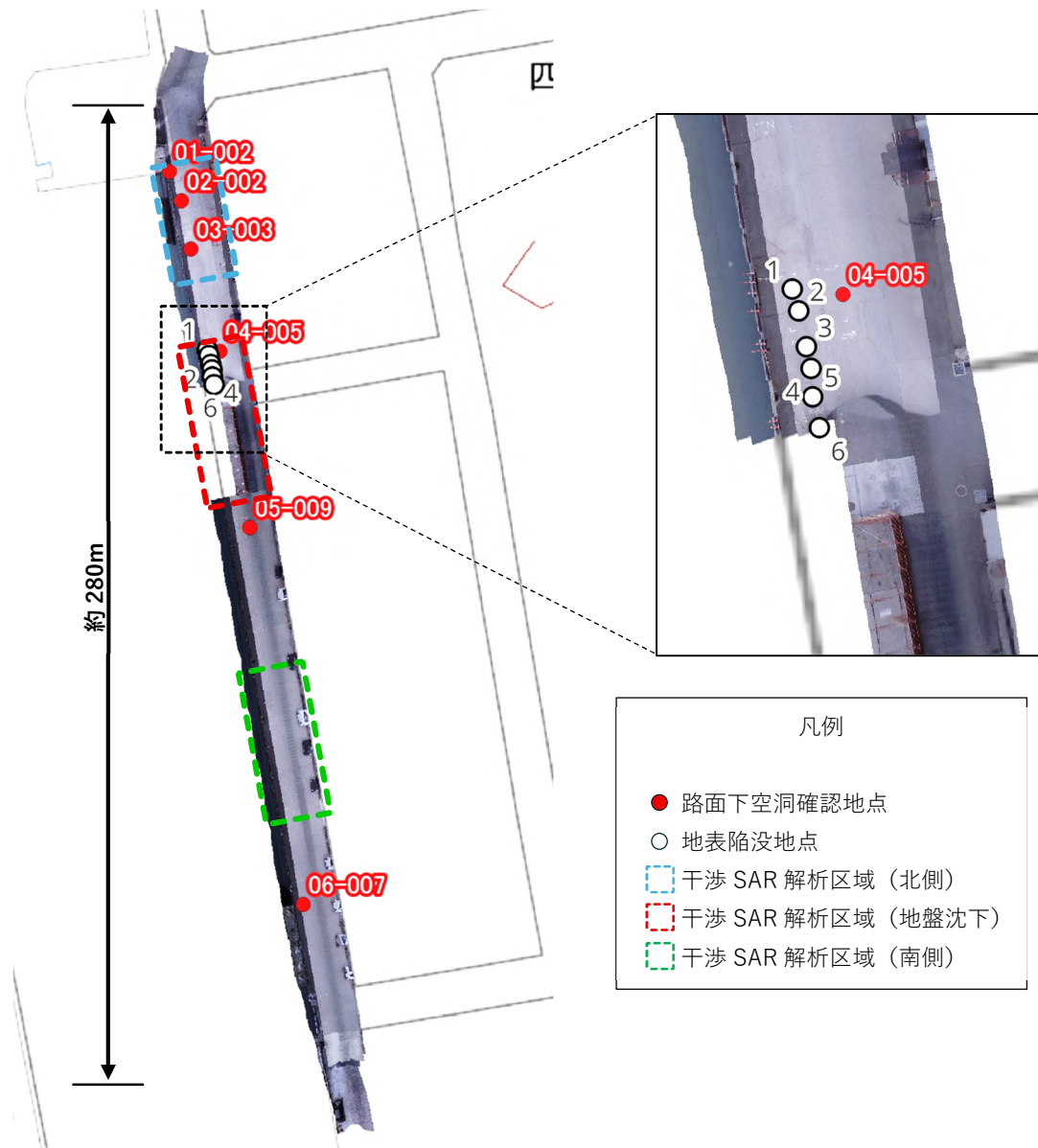


図-5 陥没地点および路面下空洞の位置

陥没および路面下空洞の確認地点を表-3 に整理した。変状は地盤沈下区域周辺で多く確認されており、護岸変状に伴う地盤沈下・土砂吸出しで空洞や陥没が発生していることが伺える。

表-3 陥没および路面下空洞の区域別箇所数

	北側	沈下箇所	南側
陥没	0	6	0
路面下空洞	3	2	1
計	3	8	1

4. まとめと今後に向けて

干渉 SAR 時系列解析で地盤沈下区域とその南北区域を対比したところ、地盤沈下区域での変動が確認された。同時に、その区域周辺で陥没・路面下空洞が 8 箇所確認された。施設管理者によると、護岸の変形は徐々に進行しているとのことで、その変動に伴って土砂が移動・吸出しし、陥没・空洞が発生しているものと考えられる。

筆者は、軟弱地盤地域の地盤沈下に伴って埋設管が目地ずれ・破断し、路面下空洞を招いた事例を経験している。特に、建物や橋梁など基礎を固めた道路構造物と一般道路部の境界付近で不同沈下が生じ、そこでの目地ずれに起因して路面下空洞が集中的に発生した経験もあった。これらのことから、地盤変動と路面下空洞の発生には一定の関連性、少なくとも沿岸の軟弱地盤地域においては関連性があり、本研究結果もそのことを裏付けている可能性がある。

事例研究はまだ数が乏しいため、今後、経験事例を積み重ねていく必要があるものの、本研究のような干渉 SAR 時系列解析から、路面下空洞の監視区域を絞り込める可能性を今後も追求していきたい。