



2025年度 地盤工学に関わる実務者報告会：石川地区

Marine

令和6年能登半島地震に伴う内灘町の地盤 変状範囲の抽出と変状メカニズムの考察

① 干渉SAR解析を用いた内灘町及びかほく市の 地盤変状範囲の抽出

R&D

Disaster

川崎地質(株) 窪田上太郎

Ground

1

本日の発表内容



◆ 題目

- 令和6年能登半島地震に伴う内灘町の地盤変状範囲の抽出と変状メカニズムの考察

◆ スケジュール

16:20～16:25 (5分)

- ・ 全体の概要説明

16:25～16:50 (25分)

- ① 干渉SAR解析を用いた内灘町及びかほく市の地盤変状範囲の抽出

16:50～17:15 (25分)

- ② 内灘町室地区におけるX線CTと室内土質試験に基づく変状メカニズムの考察

17:15～17:30 (15分)

- ・ 質疑応答 等



陸上・海上のボーリング調査 室内試験、孔内検層、物理探査

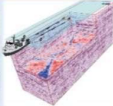
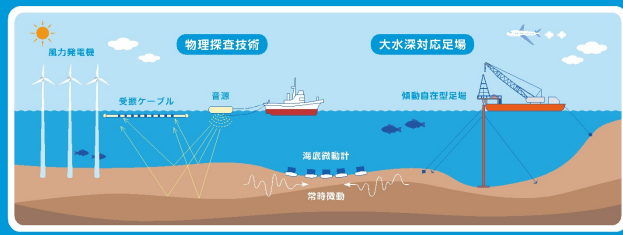


メンテナンス (SAAM、車両搭載 型マルチチャープレーダ)



海洋調査 - 音波探査、測深 洋上風力事業

地盤調査のプロ集団が最適ソリューションをワンストップでご提供!



防災・減災 大谷石採取場跡地・空洞陥没モニタリング



3

はじめに



◆ 令和6年能登半島地震による液状化被害の発生

- 令和6年1月1日に発生した能登半島地震で石川県河北郡内灘町では、液状化等の甚大な被害が発生



◆ 産・官・学の研究チームにより内灘町の被災状況調査を実施

- 九州大学・ハザリカ教授を中心とした産官学の研究チームにより、内灘町の現地調査を実施。室地区を中心とした被災状況を調査。
- 2024年2月に一次調査、2024年4、8月に二次調査を実施

◆ 学術調査団メンバー

九州大学 ハザリカ ヘマンタ+学生2名
金沢大学名誉教授 松本 樹典
富山県立大学 兵動 太一+学生1名
東京都市大学 サハレ アヌラグ
防災科学技術研究所 石澤 友浩
株式会社吉光組 道 勇治・谷口 真平
大山 智也・高橋 豊
清水建設株式会社 村井 政徳
川崎地質株式会社 太田 史朗・窪田 上太郎
地盤防災研究所 藤白 隆司
※産・官・学の合同調査団

◆ 現地調査日

2024年2月3日(土)~4日(日) 2日間



◆ 調査内容

- 現地踏査
- UAV写真測量、3Dレーザー測量
- 簡易動的コーン貫入試験(PDCPT)
- 室内土質試験(粒度試験)

◆ 一次調査：内灘町～かほく市（県道8号沿い）

- 期間：2024年2月3～4日（発災約1か月後）
- 内容：現地踏査、地元住民への聞き取り、UAV写真測量、3Dレーザ測量、簡易動的コーン貫入試験、粒度試験



地元住民の方への聞き取り



県道8号の被災状況



PDCPT実施状況



積砂の状況

◆ 二次調査：特に被害が大きかった内灘町室地区

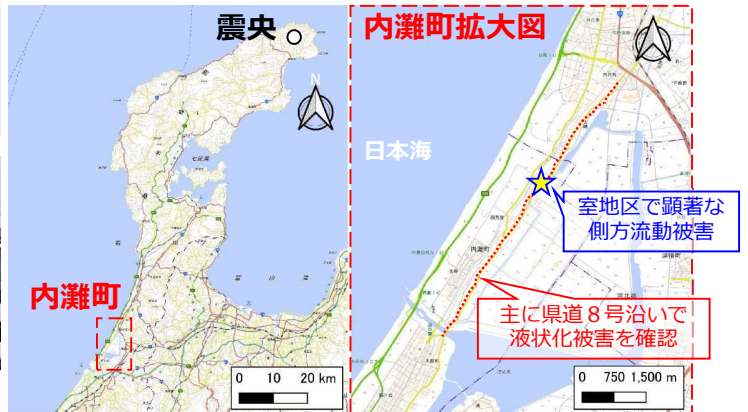
- 期間：2024年4月、8月
- 内容：PDC、SDS、物理探査、ボーリング調査 等



PDC



ボーリング調査



被害の特徴と本日の発表

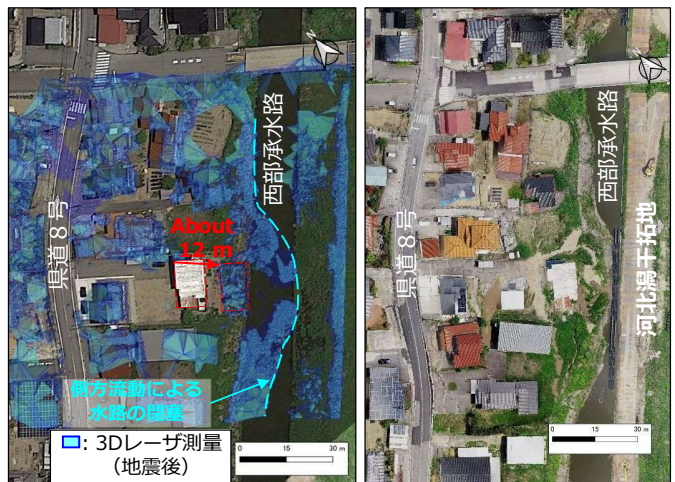
◆ 広範囲の液状化

- 主に県道8号沿いの広範囲で液状化被害を確認



◆ 大規模な側方流動（室地区）

- 県道8号より河北潟側の宅地で、最大約12mの側方流動を確認



前半の発表

- 衛星画像を用いた干渉SAR解析で、内灘町からかほく市にかけて、広域の地盤変状範囲を抽出した事例の紹介

後半の発表

- 側方流動被害が大きかった室地区で地質調査・土質試験を実施
- 試験結果から想定される変状メカニズムを考察した事例を紹介

1. はじめに

2. 衛星画像を活用した地盤変状範囲の抽出

3. 地質・地歴を踏まえた変状要因の考察

4. まとめ

7

はじめに

◆ 令和6年能登半島地震による液状化被害

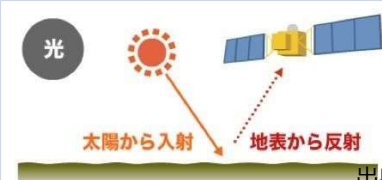
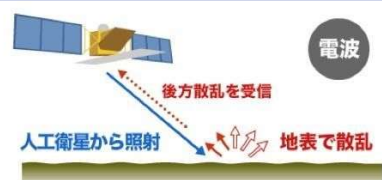

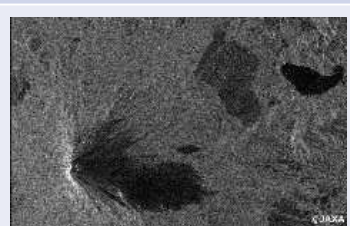
- 令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震で、石川県河北郡内灘町では甚大な液状化被害が発生
 - 液状化被害は、県道8号沿いを中心に広範囲にわたって確認
- ⇒ 広範囲の被害状況を効率的に把握する手法として、衛星画像を活用



8

◆ 被害状況把握への衛星画像の活用

- 主な衛星画像には「光学衛星画像」と「SAR衛星画像」
- 光学衛星画像：太陽からの反射光を観測し、悪天候時や夜間は撮影不可
- SAR衛星画像：衛星自ら発信したマイクロ波の後方散乱波を受信。天候や昼夜を問わず撮影可 ⇒ **常に同じ条件で撮影できるため、対象物の変化を検出しやすい**

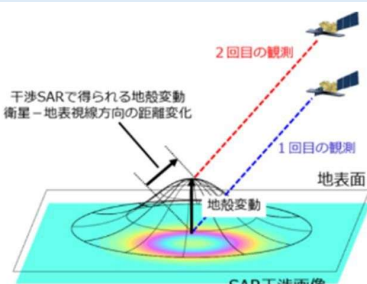
	光学衛星	SAR衛星	こちらを活用
観測原理	 <p>太陽から入射 地表から反射</p> <p>光学センサーによる観測</p> <p>出典：SIGMA_SAR HP</p>	 <p>人工衛星から照射 地表で散乱</p> <p>SARセンサーによる観測</p> <p>出典：SIGMA_SAR HP</p>	
観測結果	 <p>出典：JAXA HP</p>	 <p>出典：JAXA HP</p>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 自然の放射光や太陽からの反射光を観測し画像化 ◆ 雲に遮られ、夜間は観測不可 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 衛星自ら発信したマイクロ波の後方散乱波を受信し、その強度と位相情報を画像化 ◆ 雨や雲等を透過するため、天候や昼夜を問わず観測可能 	

◆ SAR衛星画像を用いた代表的な技術：干渉SAR解析

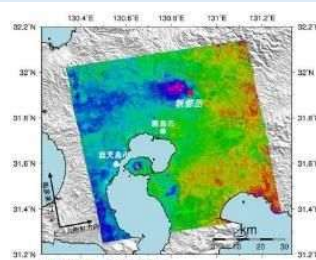
- SAR衛星が撮影した衛星画像を用いて、地表面の状態や変位を面的に推定する技術
- 地表の同一地点を2度観測し、得られた反射波を比較することで地表面変位を推定



代表的なSAR衛星（ALOS-2）¹⁾



干渉SAR解析の概念図²⁾



目的・実施内容

- **石川県河北郡内灘町の液状化被害範囲の抽出を目的に、干渉SAR解析を実施**

- ① 干渉SAR解析結果から地盤変状範囲を抽出、現地状況との整合性確認
- ② 地形・地質等に着目し、変状要因を考察

1. はじめに

2. 衛星画像を活用した地盤変状範囲の抽出

3. 地質・地歴を踏まえた変状要因の考察

4. まとめ

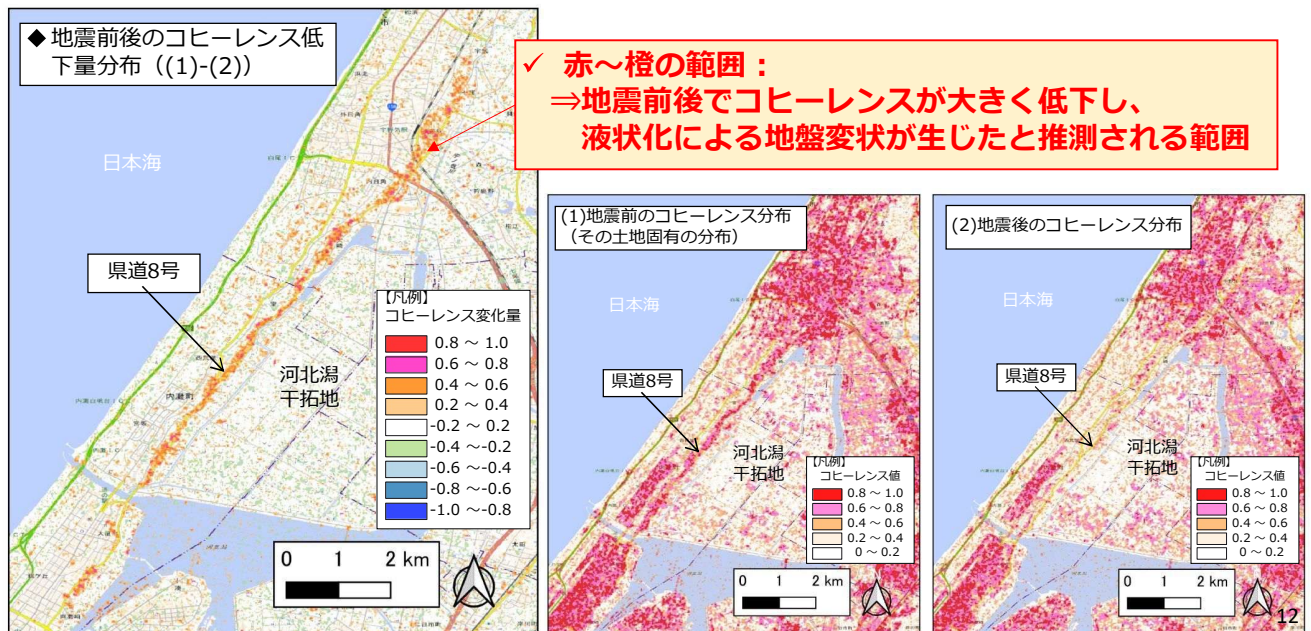
11

衛星画像を活用した地盤変状範囲の抽出

3

◆ 内灘町の地盤変状範囲の抽出結果

- 干渉SAR解析の「コヒーレンス値の低下」に着目して、地表面状態の変化を確認
- 「コヒーレンス」は、1回目観測と2回目観測の間で、地表面の電波の反射状態がどれだけ似ているか？を示す指標
- 地震前後でコヒーレンスが著しく低下した範囲
⇒ 地震前後で地表面状態が変化し、液状化等による地盤変状が発生した可能性が高い



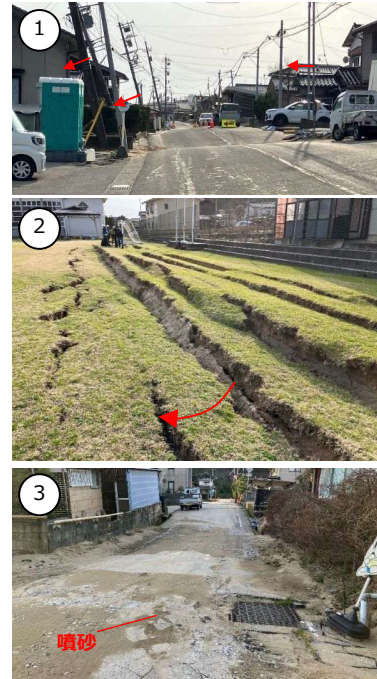
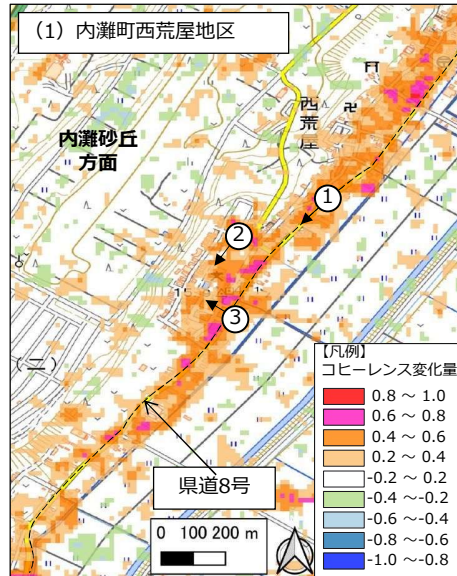
◆ 現地状況との整合性確認

- 現地での被害状況と干渉SAR解析での抽出範囲を比較

(1) 内灘町西荒屋地区

(2) 内灘町室地区

(3) かほく市宇ノ気地区



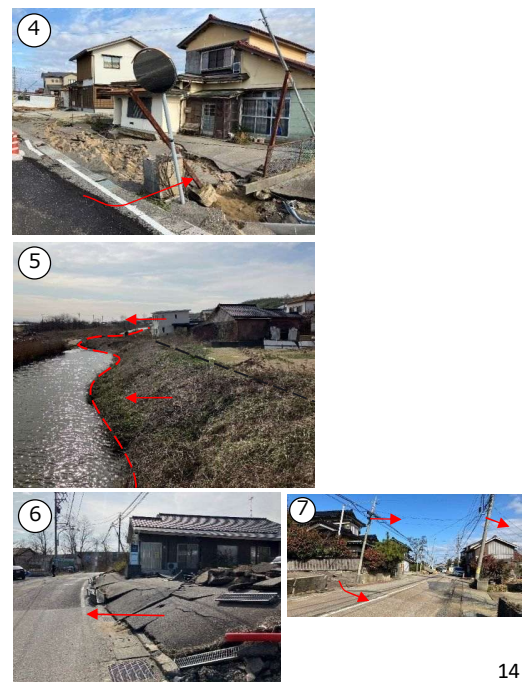
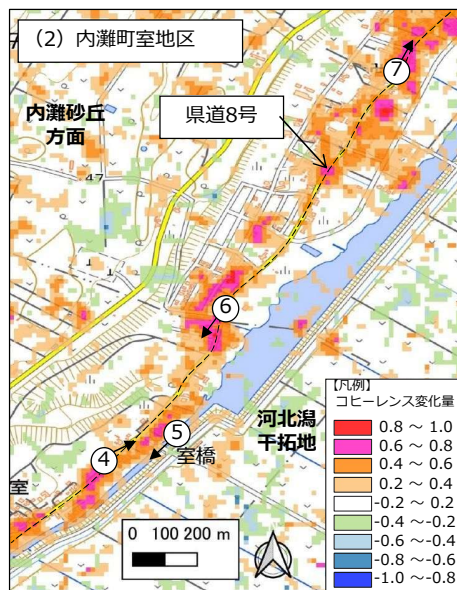
◆ 現地状況との整合性確認

- 現地での被害状況と干渉SAR解析での抽出範囲を比較

(1) 内灘町西荒屋地区

(2) 内灘町室地区

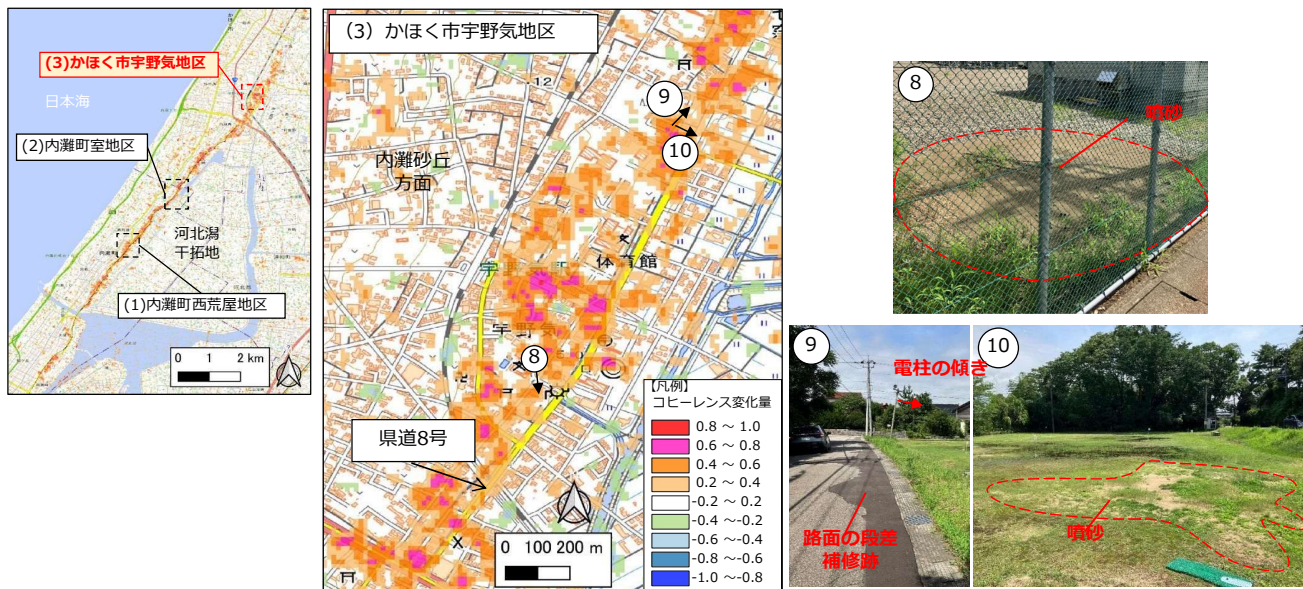
(3) かほく市宇ノ気地区



◆ 現地状況との整合性確認

➤ 現地での被害状況と干渉SAR解析での抽出範囲を比較

- (1) 内灘町西荒屋地区
- (2) 内灘町室地区
- (3) かほく市宇ノ気地区



✓ 現地の被害状況と解析結果との対応を確認

15

合成開口レーダー（SAR）の概要

◆ 合成開口レーダー（SAR）衛星

➤ 高度数百kmで地球を周回し、2週間～1カ月程度で同一地点に戻る人工衛星

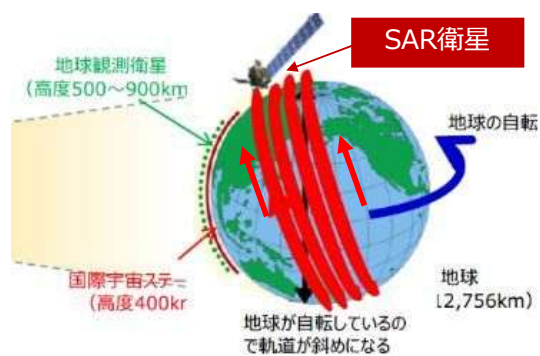


Sentinel-1



ALOS-2

代表的なSAR衛星¹⁾

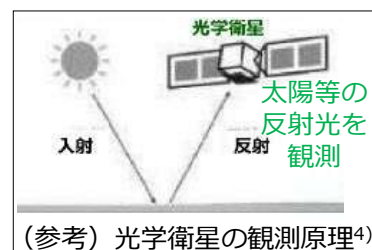


SAR衛星の周回軌道⁴⁾に加筆

➤ 衛星自ら斜め下方向へマイクロ波を照射し、地表面で散乱したマイクロ波の中で衛星方向へ戻る成分（後方散乱波）を観測



後方散乱波の観測⁴⁾に加筆

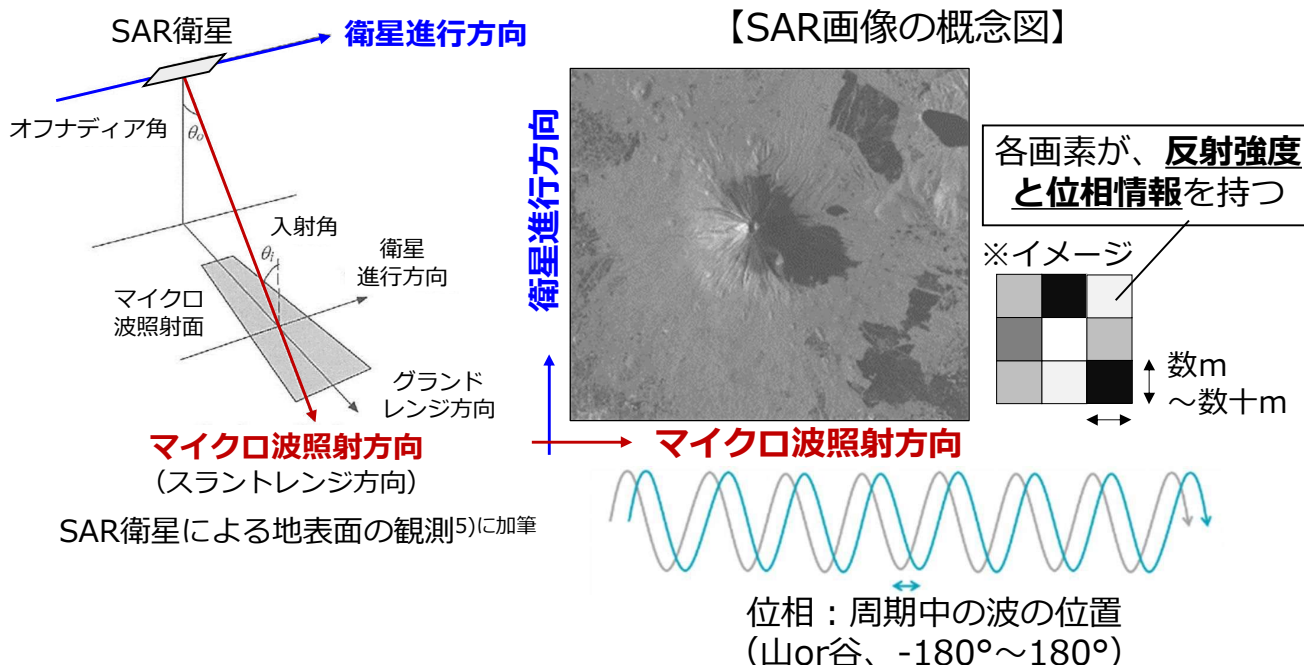


(参考) 光学衛星の観測原理⁴⁾

16

◆ SAR衛星の観測結果

- 観測結果は、2次元のレーダー画像（SAR画像）として記録
- 各画素が、後方散乱波の強度（反射強度）と位相情報（周期-180°～180°中の波の位置）を保有

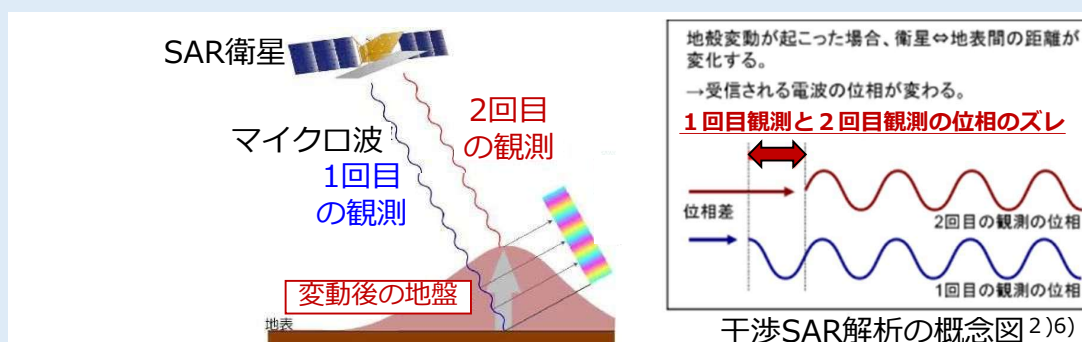


17

2時期間の地表面変位量の推定（差分干渉解析）

◆ 干渉SAR解析

- 干渉SAR解析は、地表の同一地点を2時期で観測し、得られた反射波を干渉させる（位相の差をとる）ことで地表面変位を推定
- ただし、位相差から変位を推定するという特性上、液状化被害のような、**2時期の間で地表面の状態が著しく変化した場合（ex.液状化による倒壊）、変位の推定が困難**



◆ コヒーレンス低下量に着目した液状化による変状範囲の抽出

- コヒーレンスは、2枚の衛星画像の観測対象箇所の散乱状態の変化を測る指標で、地表面の被覆状態に依存
- 基本的には、後方散乱が大きな都市部で高く、田圃・森林等では低い
- 2時期の間で、地表面状態が大きく変化した場合 ⇒ コヒーレンスは著しく低下**

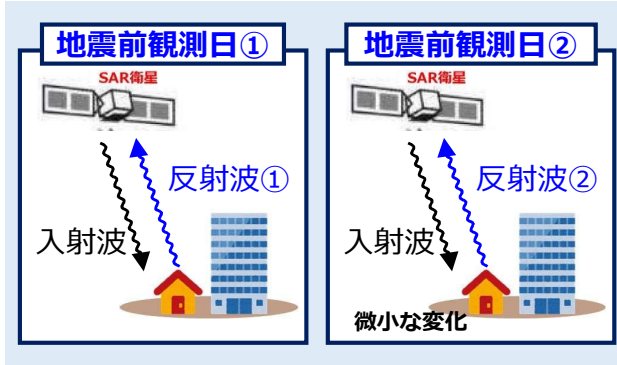
18

◆ 液状化被害範囲の抽出方法・解析概要

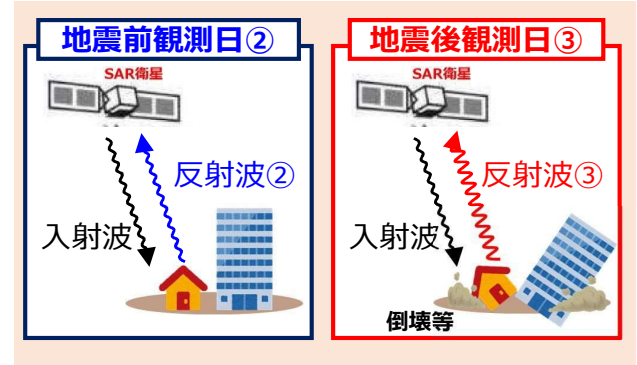
- 地震前後でコヒーレンスが著しく低下した範囲（地表面状態が大きく変化した範囲）
≡ 液状化による変状が発生した可能性がある範囲 として抽出

(1)地震前のコヒーレンス分布

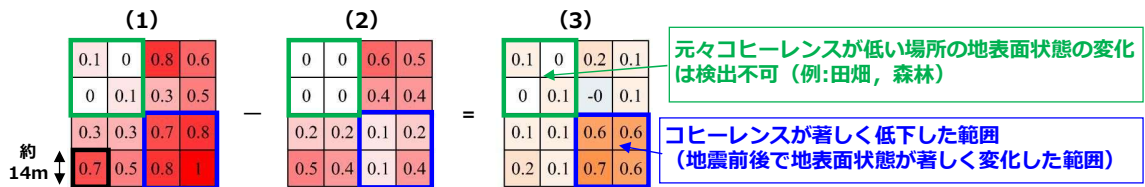
（その土地固有のコヒーレンス分布）



(2)地震後のコヒーレンス分布



(3) (1)と(2)の差分を取り地震後にコヒーレンスが著しく低下した範囲を抽出



19

干渉SAR解析の諸元

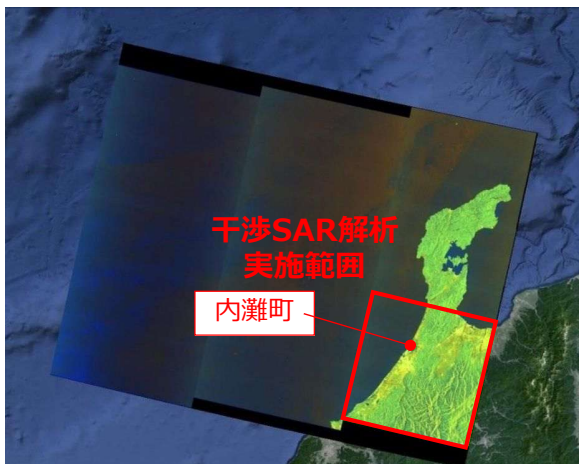
◆ 解析概要

- 使用したSAR衛星：Sentinel-1
- 解析ソフト：SNAP



名称	Sentinel-1
バンド帯 （マイクロ波の波長） ※鉛直方向の観測精度に影響	Cバンド（約6cm）
水平分解能力 ※画素の大きさに相当	約5m×約20m ・マイクロ波照射方向約5m、 衛星進行方向約20m
観測頻度	12日に1度 同一地点を観測

◆ 解析実施範囲



◆ 解析に用いた衛星画像撮影日

N. O.	内容	衛星画像の撮影日 （1枚目－2枚目）
1	地震前のコヒーレンス （その場所固有のコ ヒーレンス）	2023/12/18(地震前) － 2023/12/30(地震前)
2	地震後のコヒーレンス	2023/12/30(地震前) － 2024/1/11(地震後)

1. はじめに

2. 衛星画像を活用した地盤変状範囲の抽出

3. 地質・地歴を踏まえた変状要因の考察

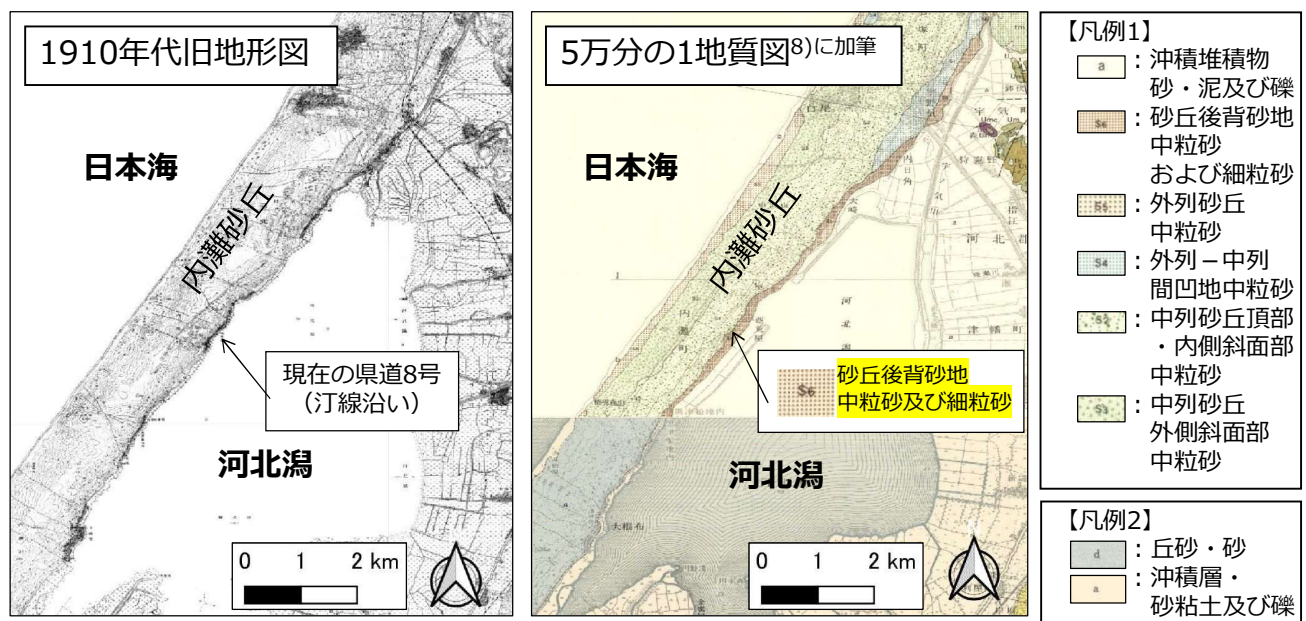
4. まとめ

21

内灘町周辺の地質・地歴の概要

◆ 内灘町周辺の地質

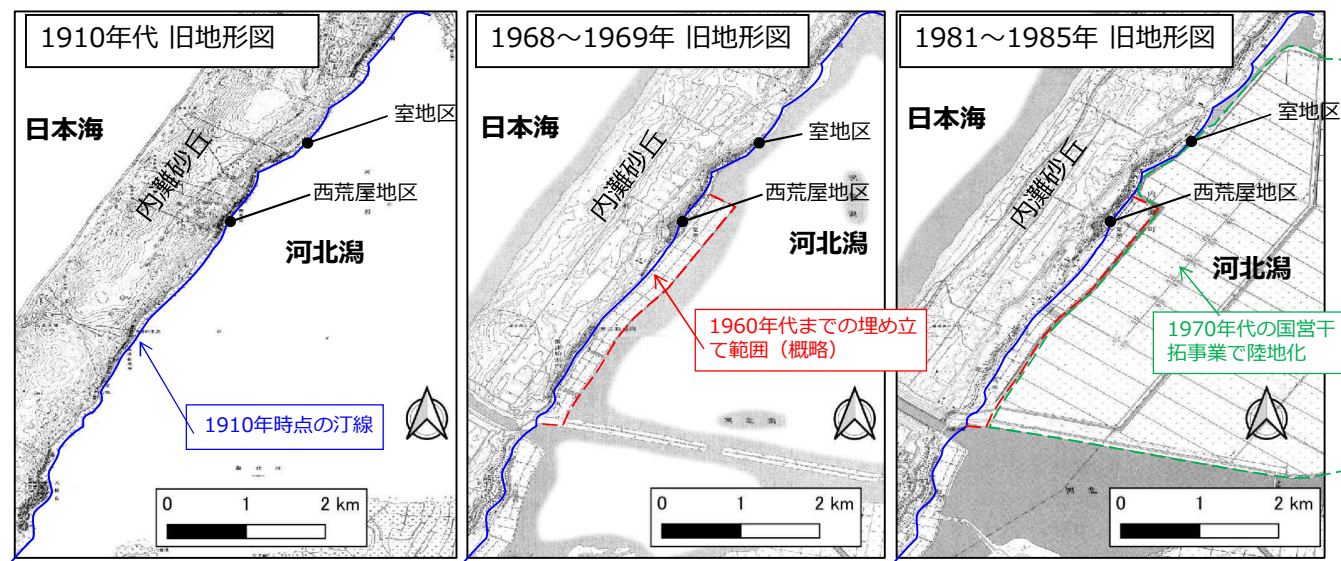
- 内灘町は、昭和初期から1970年代に実施された干拓及び埋め立て事業により、河北潟が陸地化
- 現在の県道8号付近である内灘砂丘の河北潟側外縁部は、砂丘後背地であり砂が堆積



22

◆ 内灘町周辺の干拓・埋め立て事業

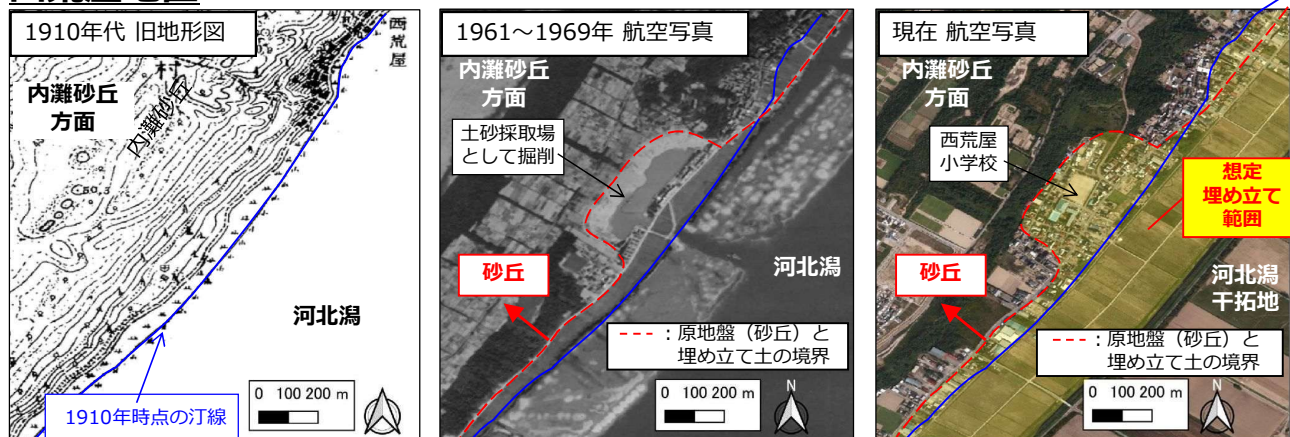
- 内灘町は、昭和初期から1970年代に実施された干拓及び埋め立て事業により、河北潟が陸地化
- 現在の県道8号付近である内灘砂丘の河北潟側外縁部は、砂丘後背地であり砂が堆積



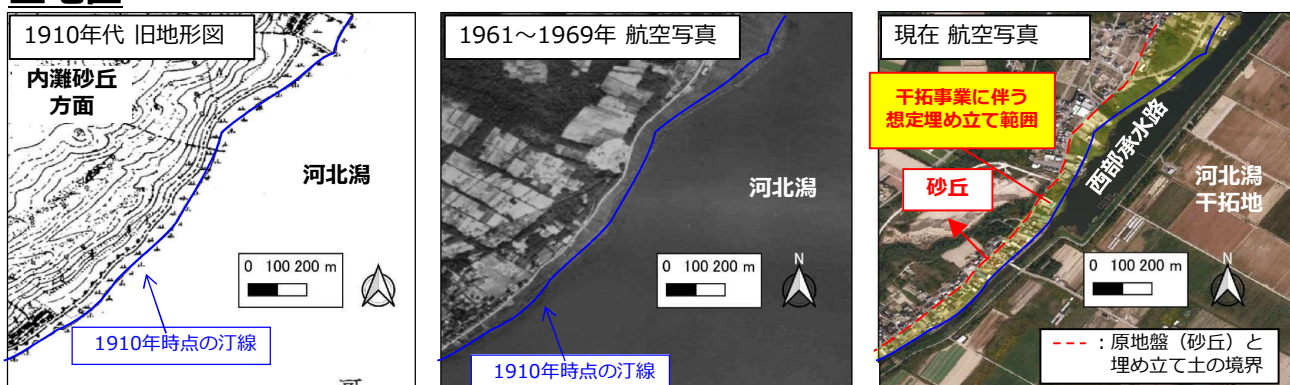
23

西荒屋地区・室地区の旧地形図と航空写真の比較

◆ 西荒屋地区



◆ 室地区

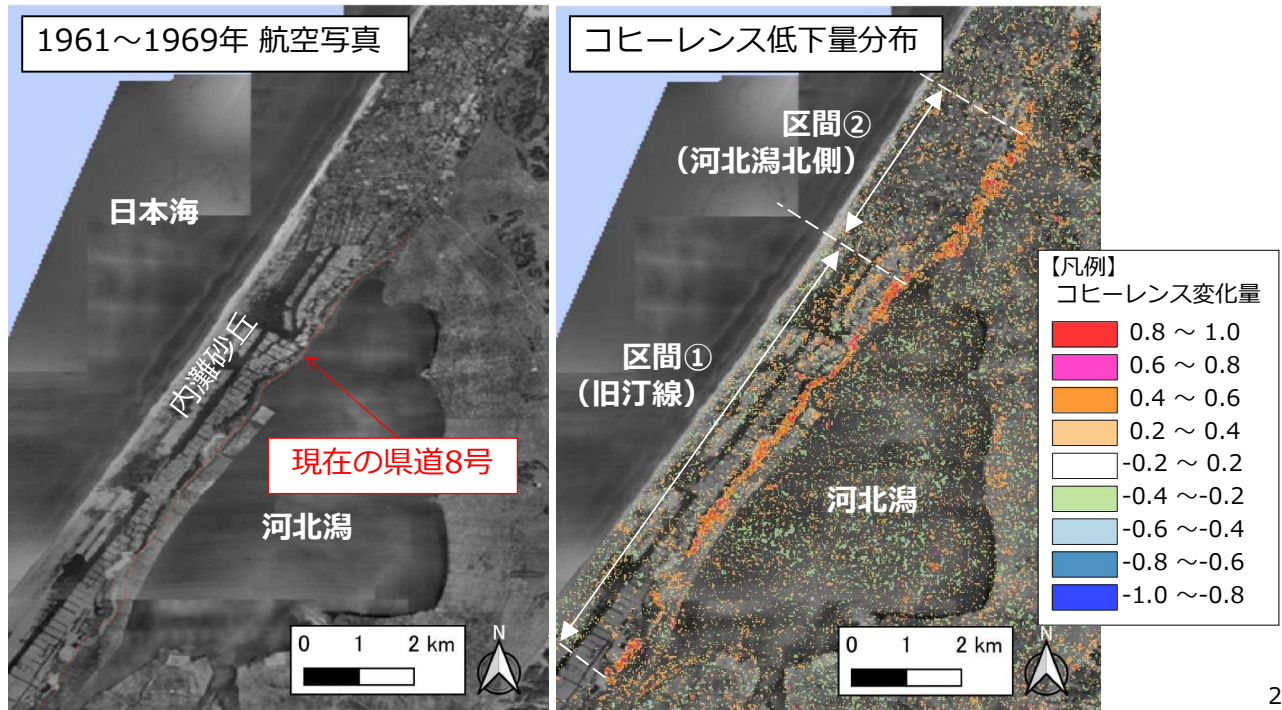


◆ コヒーレンス低下範囲（地盤変状範囲）の分類

➤ 干渉SAR解析で抽出したコヒーレンス低下範囲は、以下2区間に大別

【区間①】 河北潟干拓地の汀線で原地盤（砂丘）と埋め土層の境界部

【区間②】 河北潟干拓地の北側



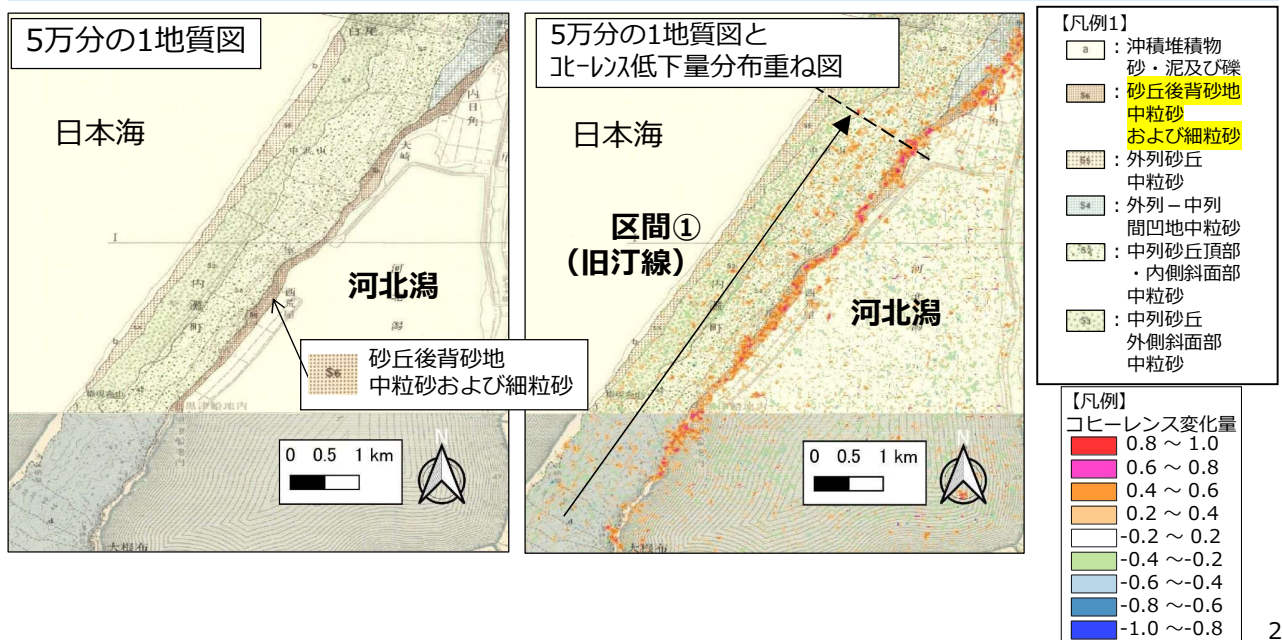
25

◆ 【区間①】 河北潟干拓地の汀線で原地盤（砂丘）と埋め土層の境界部

✓ 地質区分との対応

➤ 区間①の5万分の1地質図とコヒーレンス低下量分布を比較

➤ 顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、砂丘後背砂地（中粒砂および細粒砂）の分布範囲と概ね対応

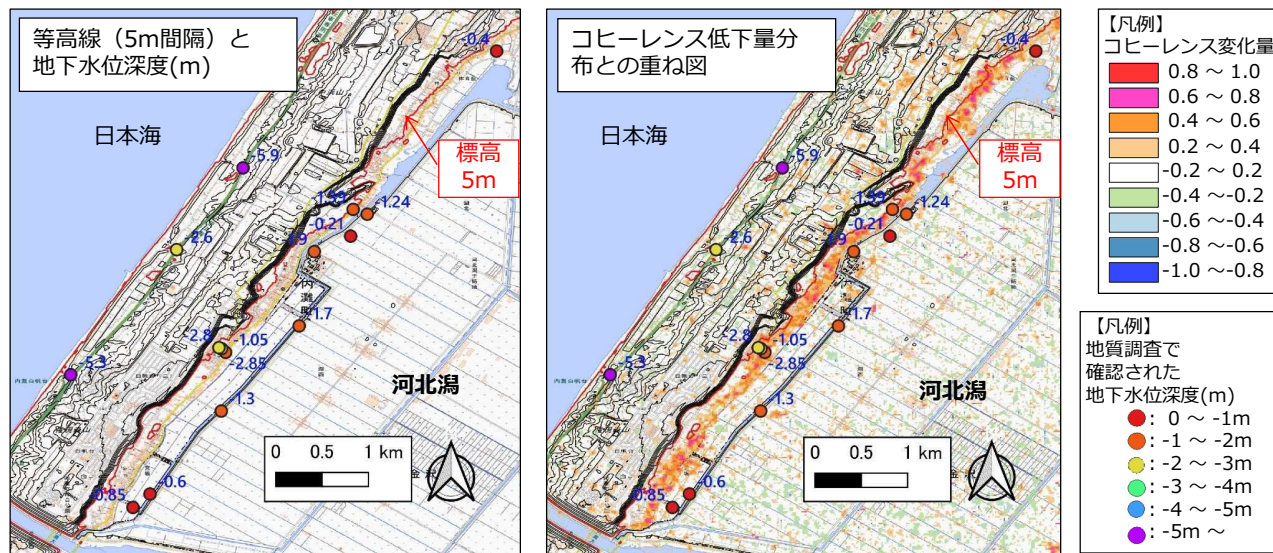


26

◆ 【区間①】 河北潟干拓地の汀線で原地盤（砂丘）と埋め土層の境界部

✓ 等高線・地下水位との対応

- 区間①のコヒーレンス低下量分布と5m間隔の等高線とボーリング調査で確認された地下水位深度を比較
- 顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、標高5mを上端として分布し、深度0～2m程度の浅い地下水位が観測



27

◆ 【区間①】 河北潟干拓地の汀線で原地盤（砂丘）と埋め土層の境界部

✓ 埋立範囲との対応 【室地区】

- 室地区は、干拓事業に伴う埋立によって、県道8号より河北潟側の低地が宅地化
- 顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、砂丘層と埋め土層の境界と概ね対応



28

◆ 【区間①】河北潟干拓地の汀線で原地盤（砂丘）と埋め土層の境界部

✓ 埋立範囲との対応 【西荒屋地区】

- 西荒屋地区は、土砂採取場として掘削された場所が埋め立て（現在の西荒屋小学校付近）
- 室地区と同様に、**顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、砂丘層と埋め土層の境界と概ね対応**



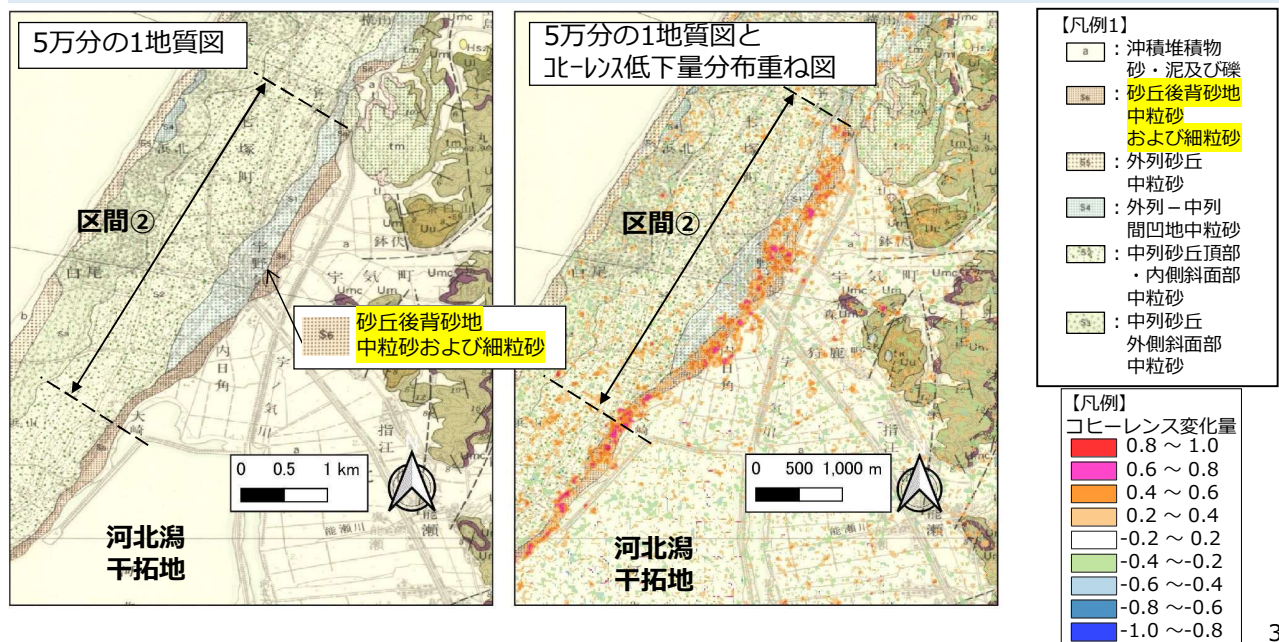
以上、区間①の変状要因をまとめると、

- **原地盤（砂丘層）と埋め土層の境界部**であり、**原地盤と比較して相対的に緩い埋め土層**で顕著な液状化被害
- **砂丘後背砂地**が分布する範囲で、他の場所と比較してゆるい細粒砂が堆積
- **標高が5m以下と低く、地下水位も浅い（深度約0-2m）**ため、液状化しやすい地盤条件

◆ 【区間②】河北潟干拓地北部

✓ 地質区分との対応

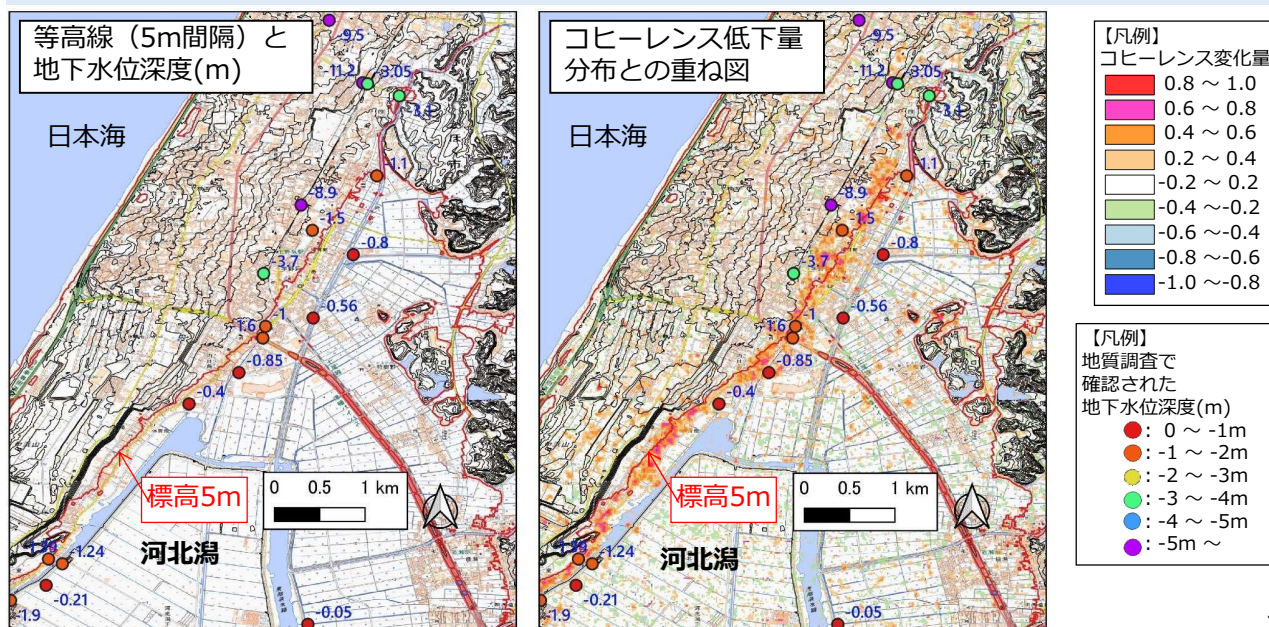
- 区間②の5万分の1地質図とコヒーレンス低下量分布を比較
- 区間①と同様に、**顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、砂丘後背砂地（中粒砂および細粒砂）の分布範囲と概ね対応**



◆【区間②】河北潟干拓地北部

✓ 等高線・地下水位との対応

- 区間②のコヒーレンス低下量分布と5m間隔の等高線とボーリング調査で確認された地下水位深度を比較
- 区間①と同様に、**顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、標高5mを上端として分布し、深度0～2m程度の浅い地下水位が観測**



31

◆【区間②】河北潟干拓地北部

✓ 等高線・地下水位との対応

- 区間②のコヒーレンス低下量分布と5m間隔の等高線とボーリング調査で確認された地下水位深度を比較
- 区間①と同様に、**顕著なコヒーレンス低下がみられた範囲は、標高5mを上端として分布し、深度0～2m程度の浅い地下水位が観測**



以上、区間②の変状要因をまとめると、

- 干拓・埋め立て工事の対象範囲外であるものの、以下の要因で液状化被害が発生
- **砂丘後背砂地**が分布する範囲で、他の場所と比較してゆるい細粒砂が堆積
- 標高が5m以下と低く、**地下水位も浅い（深度約0-2m）**ため、液状化が発生しやすい地盤条件

32

1. はじめに

2. 衛星画像を活用した地盤変状範囲の抽出

3. 地質・地歴を踏まえた変状要因の考察

4. まとめ

33

まとめ

◆ 衛星画像を活用した内灘町の地盤変状範囲の抽出

目的・実施内容

➤ 石川県河北郡内灘町の液状化被害範囲の抽出を目的に、干渉SAR解析を実施

- ① 干渉SAR解析結果から地盤変状範囲を抽出、現地状況との整合性確認
- ② 地形・地質等に着目し、変状要因を考察



得られた結果

- 干渉SAR解析のコヒーレンス変化に着目することで、液状化による地盤変状範囲を抽出でき、現地状況との整合性を確認できた。
- 抽出した変状範囲は、①内灘砂丘内陸側外縁部の旧汀線と、②河北潟北部に大別される。
- ①と②に共通する変状要因としては、「砂丘後背砂地で、ゆるい細粒砂が堆積」、「標高が低く（5m以下）、地下水位が浅い（深度約0-2m）」
- さらに区間①は、原地盤（砂丘）と埋土層の境界部であり、原地盤と比較して相対的にゆるい埋土層で被害が拡大したと考えられる。

ご清聴ありがとうございました。

- ✓ 本解析は、期間内に地表面状態が変化した範囲を抽出しているため、人工的な土地改変がある場合や、固有のコヒーレンスが低い場所の評価には留意が必要

34

1. (一財) リモート・センシング技術センターHP:ALOS-2, 2026/1/27閲覧,
<https://www.restec.or.jp/satellite/alos-2.html>
2. 国土地理院HP：干渉SARの基本, 2026/1/27閲覧,
https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html
3. JAXAHP：干渉SAR画像の見かたについて, 2026/1/27閲覧,
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_howto_insar.htm
4. JAXA・国土交通省：災害時の人工衛星活用ガイドブック水害編・衛星基礎編, H30.3.
5. 日本リモートセンシング学会：基礎からわかるリモートセンシング,H23.6.
6. 国土地理院：干渉SAR時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究.
7. (一財) リモート・センシング技術センターHP:Sentinel-1, 2026/1/27閲覧,
<https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-1-a-1-b.html>
8. 5万分の1地質図幅「津幡」（角靖夫、産総研地質調査総合センター）,
<https://www.gsj.jp/Map/JP/geology4-10.html#10020>