

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 衛星及びソナーを利用した港湾施設のモニタリングシステムの構築の研究開発
- 研究責任者 : 五洋建設株式会社 技術研究所 担当部長 西畑 剛
- 共同研究グループ : 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構



# 研究開発の目的・内容

## 背景

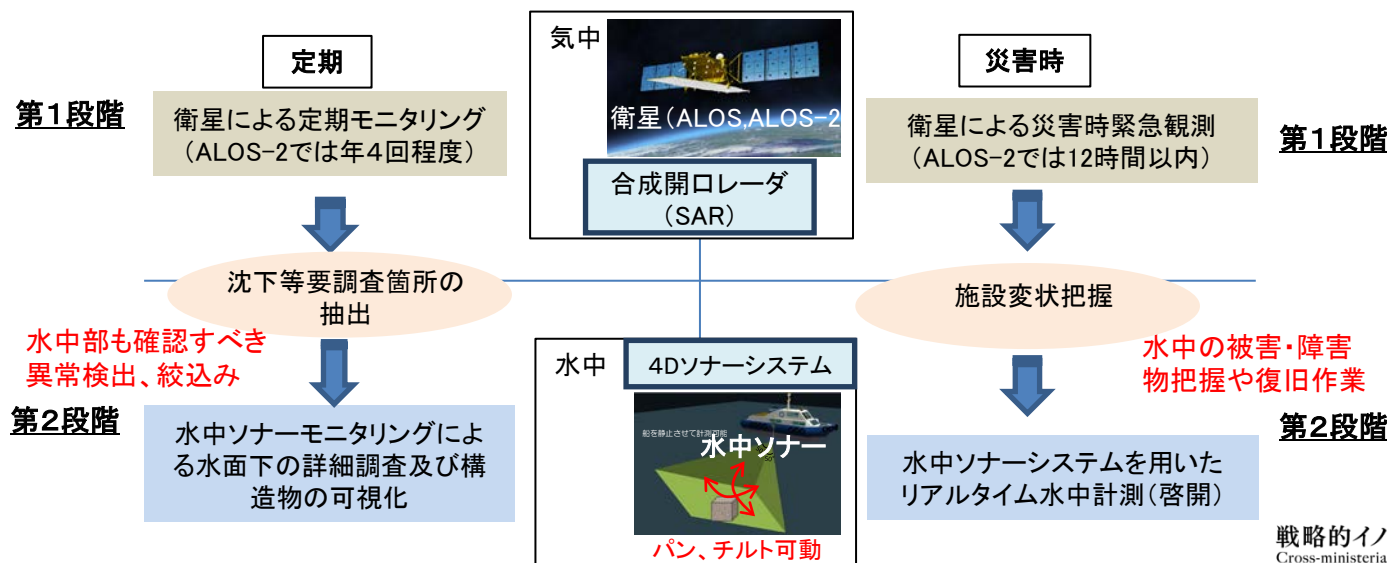
- ◆ 港湾施設の点検は、外観目視により実施される部分が多い。点検は調査者の経験・能力に依存し、水中では潜水士が必要なため多大な労力・費用を要する。
- ◆ 遠隔離島を有し広域に渡る港湾施設の効率的・効果的な定期モニタリング手法が開発されれば、港湾維持管理分野に有用である。
- ◆ 災害直後の施設変状把握は復旧計画に役立つ。

## 研究開発の目的

- ◆ 衛星の広域性とソナー等計測機器の詳細性を合わせた2段階モニタリングによる効率的かつ低廉な港湾施設維持管理のモニタリングシステムの構築

## 研究開発の内容

- ◆ 衛星画像を用いた広域モニタリング技術の開発並びに水中ソナーシステムによる計測技術の開発



## 1. 災害時の施設変状把握

ALOS-2による平成28年熊本地震において、発災前後のデータを使用した計測で、被災速報図を試作

港湾管理者が被災地の被害度合いの識別を広域的/視覚的に把握可能となる

### 被災速報図(試作)

被災速報図(試作)による熊本港被害検知の結果

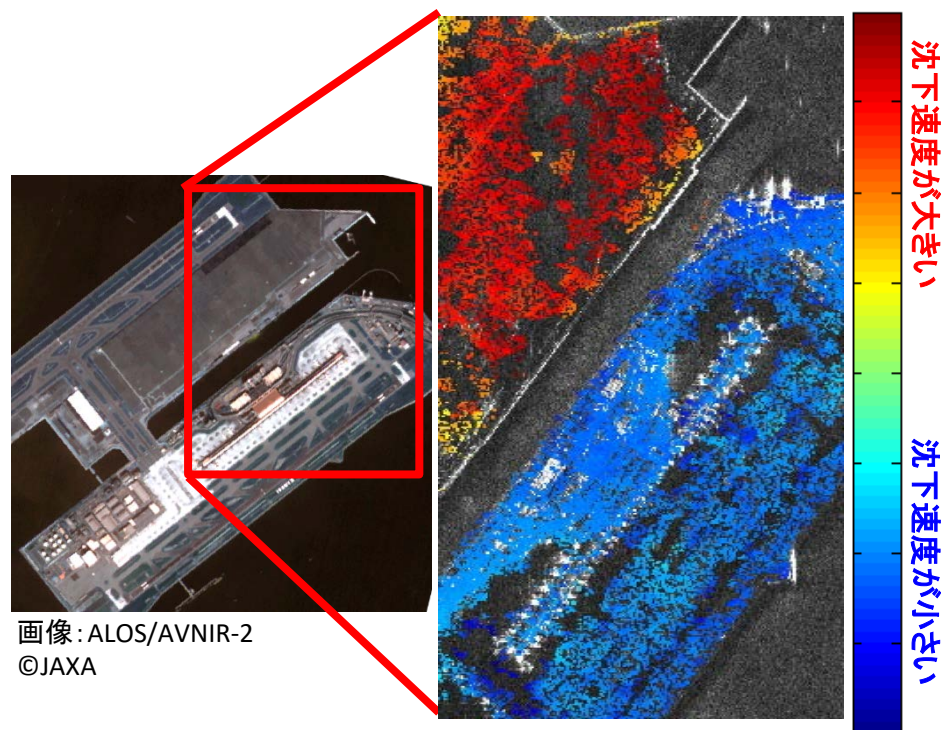


精度検証や現在判定できていない領域への対応、判定精度の改善を今後続ける予定

## 2. 定期モニタリング

ALOS-2など衛星SARの解析結果が、空港公表の人手による現地測量とほぼ同等の精度であることを確認

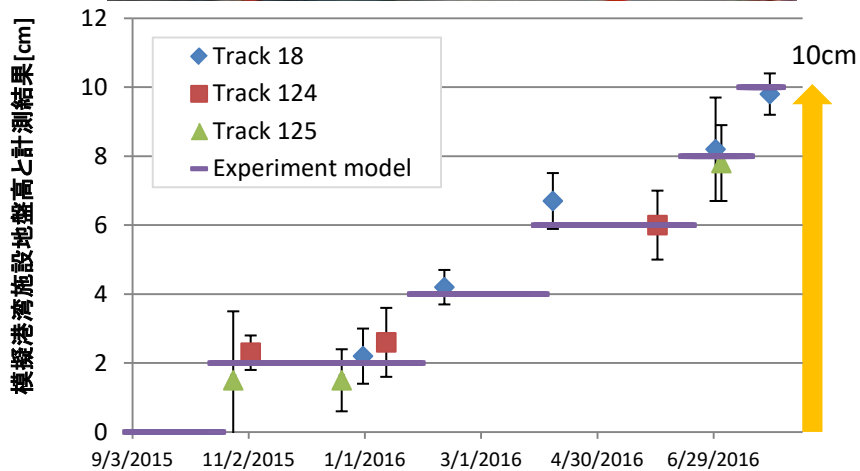
従来と異なり衛星SARでは広範囲かつ面的に沈下傾向を把握することが可能



今後も精度検証や経年の沈下傾向の把握を続ける予定

## 3. 人工構造物(消波ブロック)の変動観測

人工的に鉛直変動を与えた消波ブロックの変動を衛星から観測し、解析精度を検証  
各観測ごとのばらつき1.0 cm (1  $\sigma$ )、平均値の真値に対するばらつき0.4 cm(1  $\sigma$ )を確認

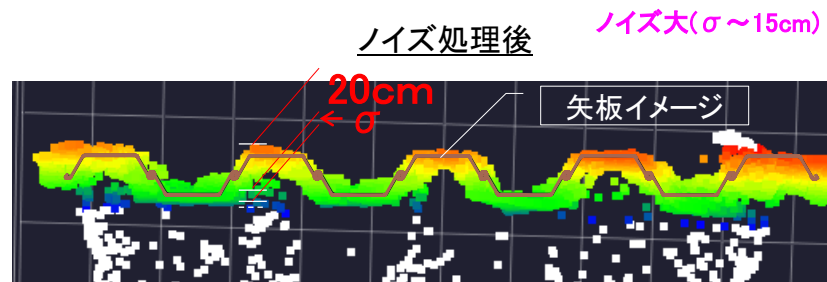
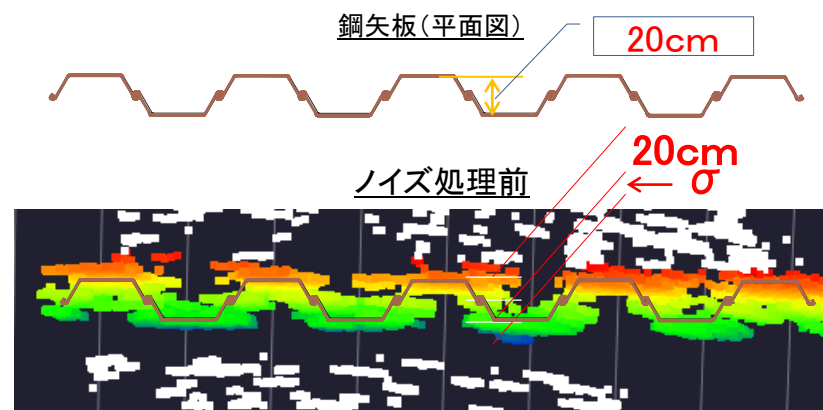


Journal of Disaster Research 投稿中  
(2017年2月10日現在)

## 4. 水中ソナーによる計測

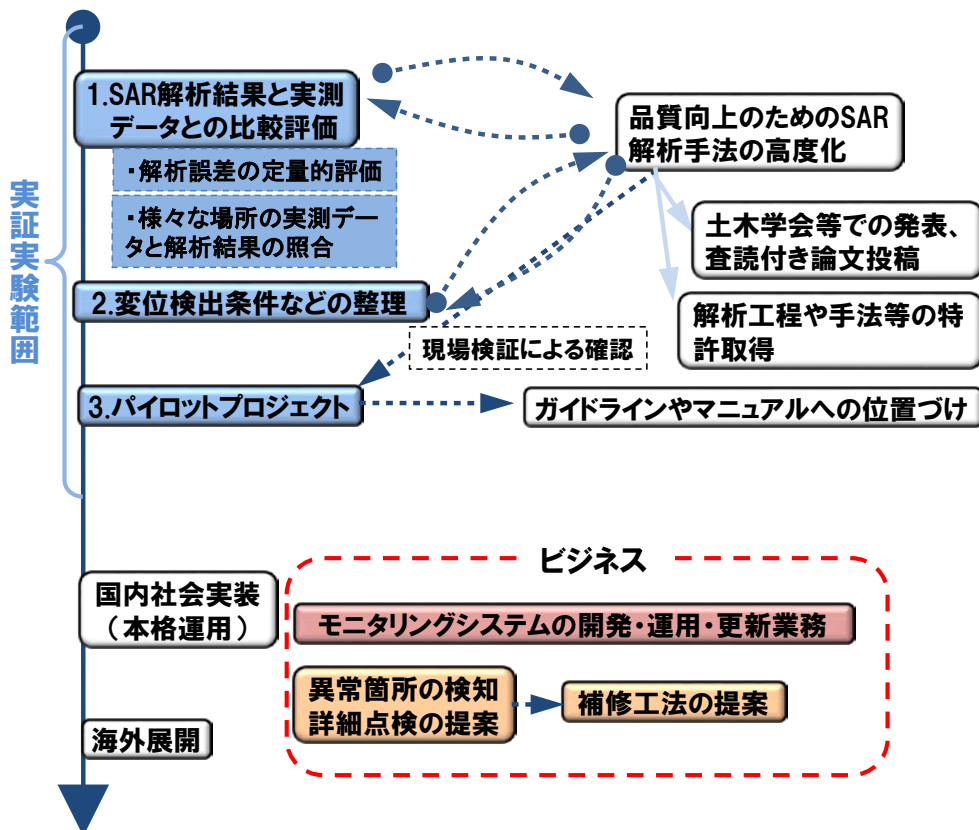
水中ソナーで港湾構造物(鋼矢板、ブロック)を計測、ノイズ処理により計測精度が向上

観察対象物



ノイズ小( $\sigma < 5\text{cm}$ )

## 本技術の社会実装イメージ



## 計測機器・手法と達成目標

	衛星	水中ソナー
活用場面	1. 災害時の港湾施設変状把握 2. 定期的な港湾施設の点検	1. 災害時の障害物把握(啓開)、港湾の健全性評価 2. 変状が大きい施設水中部のモニタリング、維持管理
適用条件	1. 日本国内は12時間以内に災害時緊急観測 2. 差分干渉解析では2シーン以上でcmオーダーの変状把握 3. 時系列干渉解析では15シーン以上でmmオーダーの変状把握(およそ4回/年の取得率) ・計測範囲 1シーン50km四方 ・水平分解能 3m	1. 艀装・初期設定に3日程度、計測はリアルタイム 2. 計測対象によってはcmオーダーの変状把握 ・計測範囲50° × 50° (分解能0.4°) ・最大測深レンジ150m以下 ・有義波高2m以下
費用	・衛星画像取得代 ・解析ソフト代、解析人件費	・水中ソナー等機械使用料(リース代) ・船舶費用、計測人件費 ・解析人件費

- ◆ 事業実施期間内(平成30年度まで)に災害時の施設変状把握と定期モニタリングについて、手法の手順化とマニュアル作成の実施
- ◆ 研究開発成果の特許化や論文発表による公知化
- ◆ 実証された技術の国内や海外展開

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : ラジコンボートを用いた港湾構造物の点検・診断システムの研究開発
- 研究責任者 : 五洋建設(株) 小笠原哲也
- 共同研究グループ : 五洋建設(株)



# 研究開発の目的・内容



## 研究開発の目的

- (1) 小型のラジコンボートに高性能の動揺抑制装置を介して撮影用カメラを搭載し、波浪による動揺を抑制しながら栈橋上部工下面部の画像を効率的に撮影できるシステムを開発する。
- (2) 撮影した画像から、画像解析により劣化診断・モニタリングするシステムを開発し、港湾施設の効率的・客観的な維持管理業務を実現する。

## 研究開発の内容

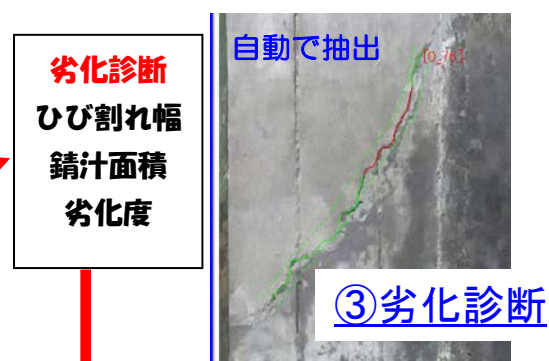


動揺抑制装置  
& 撮影用カメラ

栈橋上で操縦  
撮影画像を  
リアルで転送

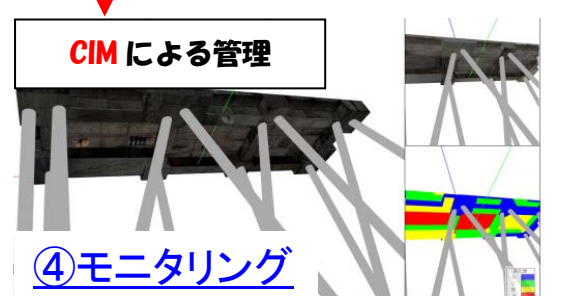


栈橋下面の  
撮影画像  
栈橋下面の  
3Dモデル



劣化診断  
ひび割れ幅  
錆汁面積  
劣化度

③劣化診断



CIMによる管理

④モニタリング

①ラジコンボートで栈橋下面の撮影

②画像解析

## ラジコンボートと専用ソフトウェアを用いた総合的点検・診断システムの確立

○2014年～2015年に開発したラジコンボートと専用ソフトウェアを使用して、2016年に**実橋橋下面**を調査し、本システムの有用性を検証

○大量の**撮影画像**から**SFM/MVS**により**3Dモデル**を作成したあと、**正対画像**を抽出し自動劣化**診断ソフト**による診断結果と**人員**による診断結果を**比較**しました。本技術による診断結果と人員による診断結果は**概ね合致**し、本技術の**有用性**を**確認**できました



実橋橋におけるラジコンボートによる調査状況

## 本技術によるメリット

- ① **専門知識を持たない人員**により、**直接橋橋下部に行かず**に点検・診断可能
- ② 人員調査の**2倍の速度**で調査可能 → **点検の効率化**
- ③ 画像による**客観的なデータ蓄積** → 担当者が交代しても**定量的に劣化状態把握**
- ④ 3Dモデルにより、**容易に劣化状態**をパソコンで**把握**可能
- ⑤ 狭隘な箇所や上方への長時間にわたる調査で生じる**点検者への負担**を**軽減**
- ⑥ **専用の劣化ソフト**により、後処理を効率化。劣化状態を**定量的に把握**し、劣化の経時変化を比較(**モニタリング**)可能

ラジコンボートによる  
画像撮影



3Dモデル作成



正対画像取り出し



専用ソフトへ登録



変状の抽出  
(変状トレース:半自動)



劣化度判定(自動)

○本技術の劣化診断フロー

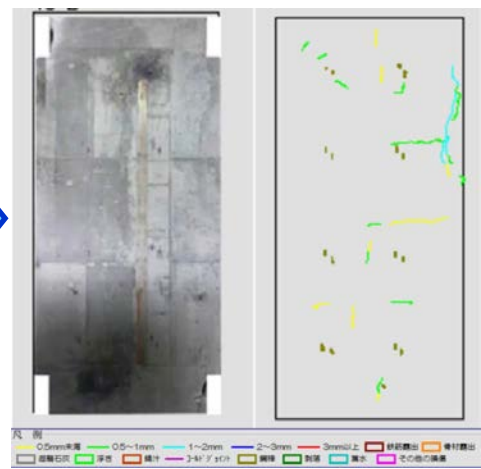
## ラジコンボートと専用ソフトウェアを用いた総合的点検・診断システムの確立



ラジコンボートによる撮影写真



撮影写真より作成した3Dモデル



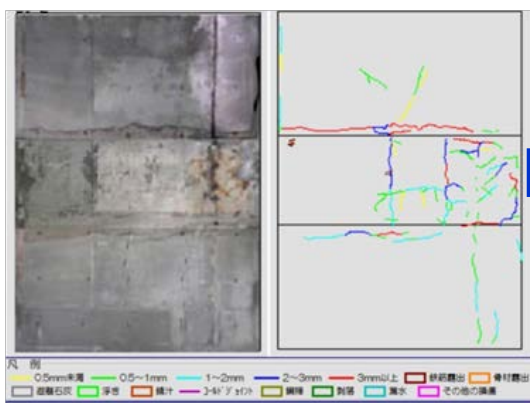
3Dモデルより抽出した正対画像 (スラブ)

**実架橋での劣化診断検証結果**  
 本技術と人員の劣化診断結果の比較

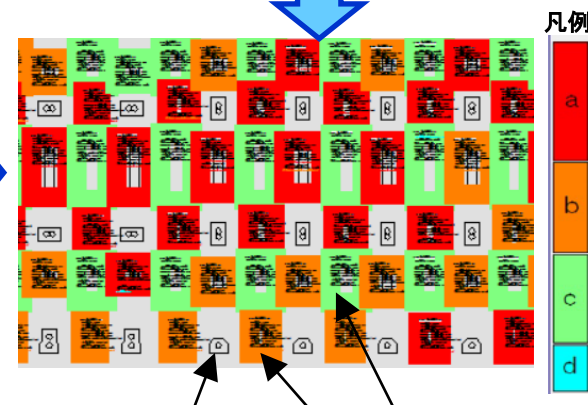
①スラブ →98%一致  
 (一箇所以外一致)

②梁 →65%一致  
 (概ねあっている)

梁部材について、本技術の調査で、主に雨天時の水滴と照度の影響で画像が悪く、ひび割れが判断できていない部分があったが、撮影方法の改善で対応可能(LED照明増他)



3Dモデルより抽出した正対画像 (梁の展開図)



専用ソフトによる劣化診断結果の例

## 最終目標

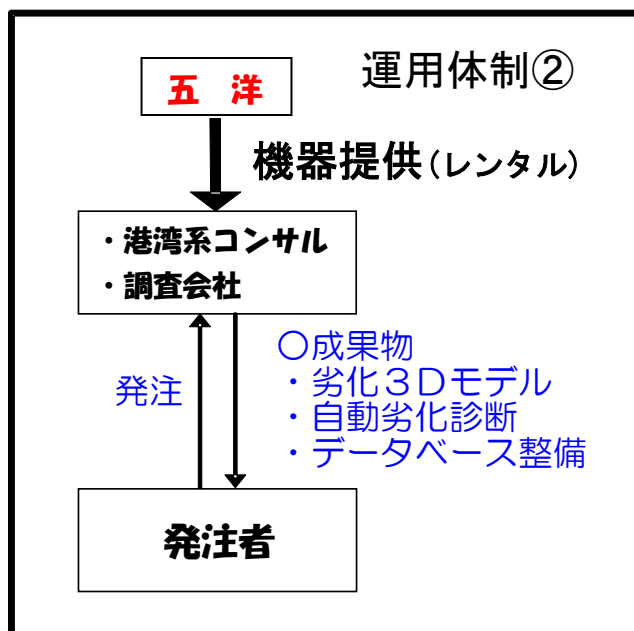
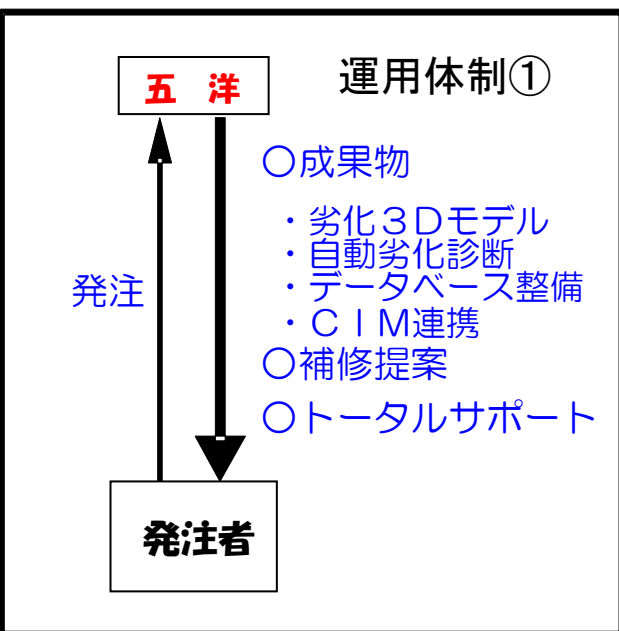
## 港湾施設の維持管理の効率化・進展に貢献

- 後処理の時間・コストまで含めて、従来の目視点検と比較していく
- 人員調査結果と概ね合致しているが、一部において生じている人員結果との相違の原因を突き詰めて、診断精度の向上を図る
- 準備、後片付けの時間を短縮することを考え、1日にできる調査面積を増やすことを目標とする
- 論文投稿、雑誌掲載等により、技術の普及を図る

## 平成28年度(最終年)の最終目標

ラジコンボートと自動劣化判定ソフトを用いた総合的点検・診断システムの高度化と完成(効率化・高精度化)

## 本技術の社会実装イメージ



本技術を社会実装していくことにより今後、点検・診断データを蓄積して点検・診断精度の向上を図っていく

## より広範な利用の可能性

- ひび割れ幅等の抽出について、より精度が向上すれば、国内や海外の新規建設時において初期点検に利用できる可能性がある
- 簡易的かつ広域のモニタリングとしては、他分野でも利用の可能性はある



- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 空洞及び裏込沈下調査におけるチャープレーダ等特殊GPR装置の研究開発
- 研究責任者 : 川崎地質株式会社 首都圏事業本部 保全部長 山田茂治



# 研究開発の目的・内容



## 研究開発の目的

新技術として、探査可能深度を高めた「車両牽引式深層用空洞調査GPR」、探査の難しい鉄筋コンクリートに対応した「鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR」を導入し、従来技術よりも岸壁の空洞や空洞化危険箇所の発見精度を向上、調査費縮減ならびにモニタリングシステムを構築する。

## 研究開発の内容

### <車両牽引式深層用空洞調査GPR>



As舗装岸壁に適用

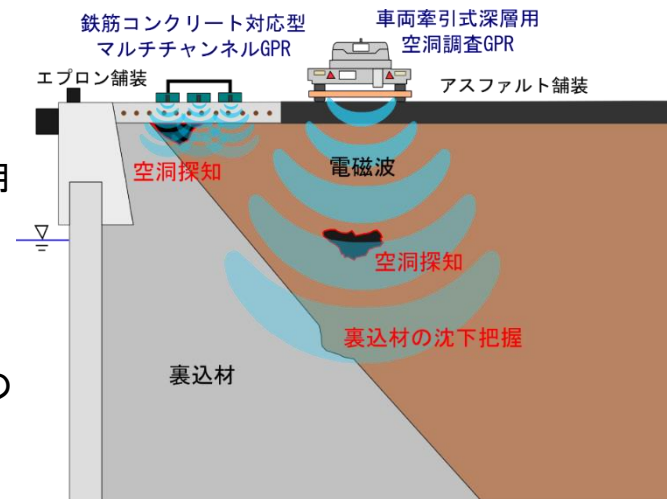
- ・従来技術より探知能力の深層化
- ・空洞検出、裏込め材沈下範囲検出に適用
- ・車両牽引で作業効率化

### <鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR>



エプロン舗装岸壁に適用

- ・従来技術では困難な鉄筋コンクリート下の空洞検出
- ・3台同時計測で作業効率化



## <車両牽引式深層用空洞調査GPR>

### <成果>

- ・モニタリングによる空洞検知精度10cm未満を確保
- ・探知能力の深層化により、裏込め材を検知
- ・GPS機能により、測線設定の省略化

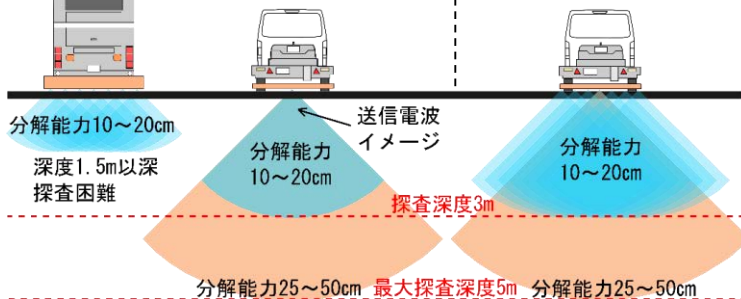
## ◆システム改良

### ・従来技術



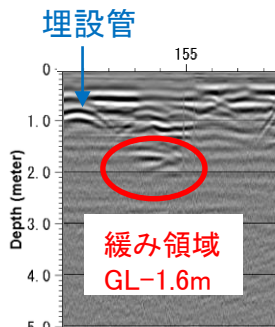
### ・新技術

マルチチャンネル方式  
H28研究より活用

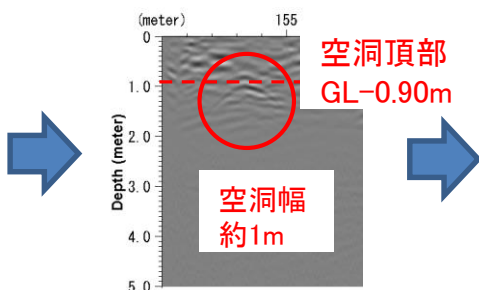


## ◆空洞のモニタリング

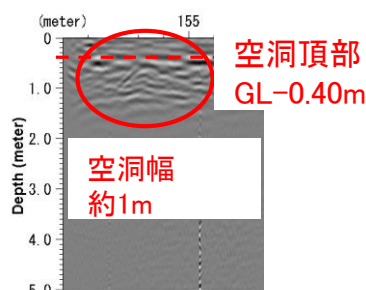
・2013/9/25  
空洞なし



・2015/9/29  
空洞確認



・2016/3/2  
空洞深度・幅変化

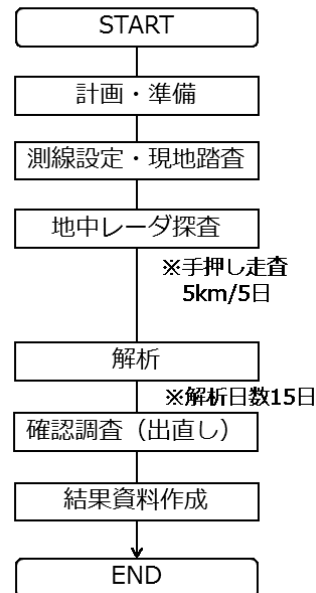


### 空洞の成長速度(深度)

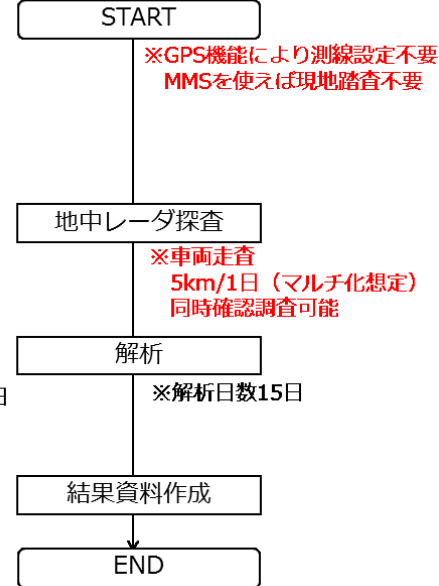
- ・地震前: 15cm/155日 0.1cm/日
- ・地震後: 35cm/190日 0.18cm/日

## ◆オペレーションフロー

### ●従来型

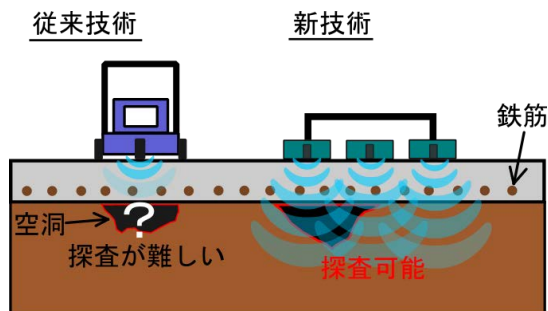


### ●車両牽引式深層空洞用GPR

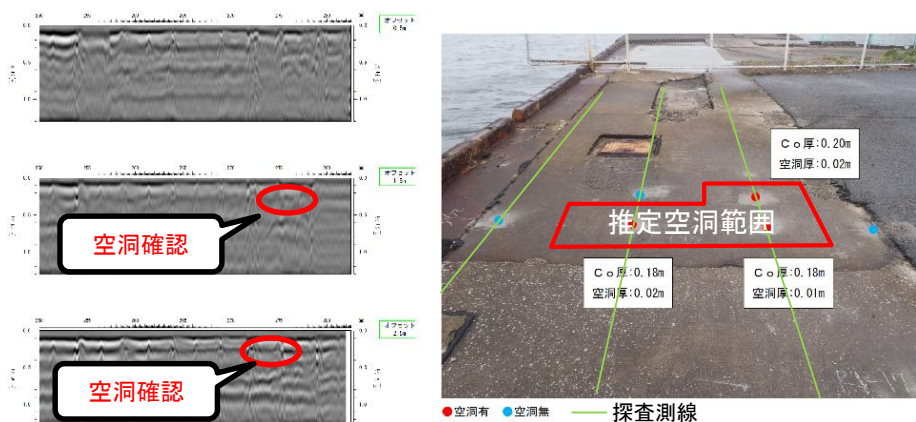


## <成果>

- ・空洞厚5cm未満の空洞検知
- ・コンクリート厚38cmまで空洞検知可能
- ・3測線の同時計測により空洞範囲推定を効率化

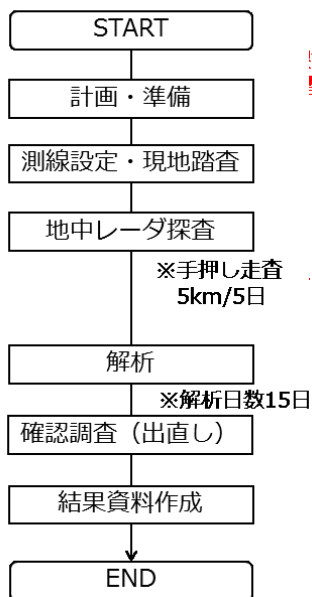


## ◆微細空洞の検出



## ◆オペレーションフロー

### ●従来型

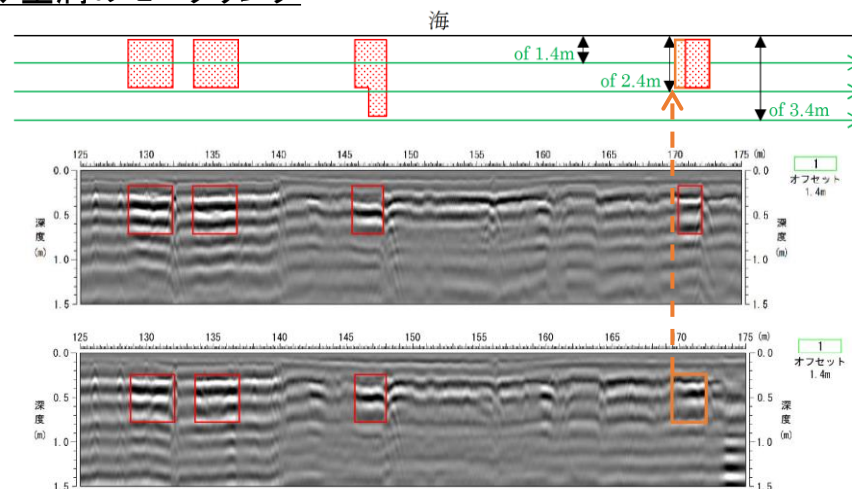


### ●鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR

設定不要  
検査不要



## ◆空洞のモニタリング



オレンジ破線部が3か月間で幅1m程度広がった

## ◆最終目標

実施項目	達成目標	達成度	今後の課題
車両牽引式深層用空洞調査GPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞・裏込め材探知、精度10cm程度</li> <li>・作業の効率化</li> <li>・探査深度の高深度化(従来の1.5mに対して3m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞検知精度10cm未満</li> <li>・GPS機能による測線設定省略化</li> <li>・深度3m以深で裏込め材検知</li> <li>・システム改良によるコスト縮減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術における客観性の考察</li> <li>・第三者判定方法の検討</li> </ul>
鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空洞探知、精度10cm程度</li> <li>・鉄筋コンクリート対応</li> <li>・作業の効率化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・厚さ5cm未満の空洞探知</li> <li>・鉄筋コンクリート厚38cmに対応</li> <li>・マルチ化による作業効率の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モニタリング(空洞範囲拡大の対応)</li> <li>・第三者判定方法の検討</li> </ul>

## ◆新技術のメリット

実施項目	新技術によるコスト縮減率	新技術による省力化
車両牽引式深層用空洞調査GPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来技術より15%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場作業日数1/5</li> </ul>
鉄筋コンクリート対応型マルチチャンネルGPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来技術より19%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場作業日数3/5</li> <li>・解析日数2/3</li> </ul>