

常時没水している構造物等を可視化し施設の管理効率化に資する技術(水中可視化)

現場試行結果報告

令和2年2月21日

株式会社アーク・ジオ・サポート



1. 現場試行概要

(1) 現場試行背景・目的

提案した新技術を現場試行し、新技術の適用の可否を検証し、現場実装への課題を抽出する。

- ニーズ(鋼矢板形式岸壁)・・・新技術に求めるもの・期待すること
- ◆ 常時没水している鋼矢板の腐食、亀裂、損傷等の変状を効率的に把握したい
 - ◆ 「詳細定期点検」に適用可能な精度が確保できる
 - ◆ 透明度が確保されていない場合でも対応が可能
 - ◆ 短時間で現地調査を終えたい

- シーズ(提案した新技術)
- 現場試行
- ◆ 水中音響ビデオカメラ
超音波を使用して、水中の濁度や明暗に関係なく画像取得ができるカメラ
 - ◆ マルチビーム音響測深機
数百の音響ビームにより水部の微地形を効率的に3次元データとして取得できる測深機



- 新技術で得たい情報
- 鋼矢板の腐食、亀裂、損傷等の把握
 - 電気防食工の現存状態
 - 電気防食工の消耗量
 - 海底地盤の洗掘、堆積状況
 - 鋼矢板の残存肉厚
 - 鋼矢板の電位測定
- 提案新技術によるデータ取得は困難

新技術の現場試行を行い、得られた結果・成果から点検診断における判定(a、b、c、dの診断)が可能かどうかを確認・検証



現場試行調査使用機器仕様

水中音響ビデオカメラ ARIS



➤ ARIS耐圧水深:300m

仕様	識別モード	検出モード
周波数	1.8 MHz	1.1 MHz
ビーム幅	水平 0.3°	水平 0.5°
	垂直 14°	
ビーム数	96本	48本
レンジ	~15 m	~35 m
視野角	28° × 14°	
寸法	31 × 17 × 14cm	
重量	空中 : 5.90kg 水中 : 1.06kg	

マルチビーム音響測深機



機器名称	仕様
SONIC2024	発振周波数 : 200~400kHz レンジ分解能 : 1.25cm スワ幅 : 10° ~160° 可変 最大水深レンジ : 500m 測深ビーム幅 : 1.0° (前後方向) 測深ビーム幅 : 0.5° (直交方向)

<参考> 超音波・音響を利用して水中を可視化する技術の比較

水中可視化技術	種類	濁水対応	映像・画像化	鮮明度(解像度) 高周波数	リアルタイム性	再現性	機器の汎用性 (大きさ・重量)	効率性
スワ音響測深機	マルチビーム	○	△(点群)	△	△	○	△	△(要船舶)
	インターフェロメトリー	○	△(点群)	△	△	○	△	△(要船舶)
サイドスキャンソナー	サイドスキャンソナー	○	○	△	○	△(曳航)	△	△(要船舶)
	イメージングソナー	○	○	△	○	○	○	○
水中音響ビデオカメラ 「ARIS」	—	○	◎	◎	○	○	○	○



鋼矢板及び電気防食工の状況把握については、船舶による作業が不要で、リアルタイムかつ、鮮明な映像・画像取得が可能な「ARIS」を、シーズとして提案

< 参 考 >

ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar) :

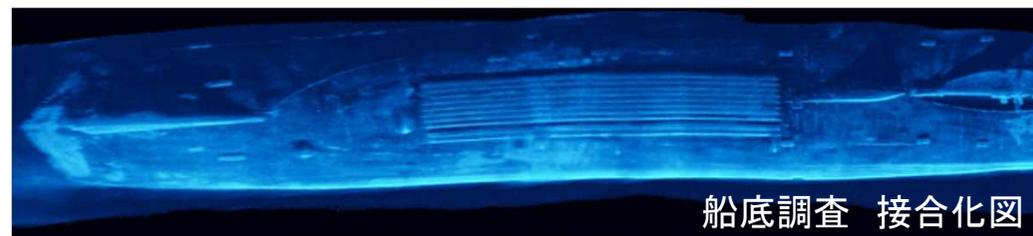
ARISは「音響レンズ」と呼ばれる特殊な素材を3枚使用して到来音波を屈折させ、焦点を合わせることで、光学レンズのような映像を作り出す。レンズの設計によって、 $0.2\sim 0.3^\circ$ 程度に収束させているため、マルチビームソナーよりも高い分解能(ビーム分解能)を持った、高解像度のソナー映像を作ることができる。

出典: 東陽テクニカ https://www.toyo.co.jp/kaiyo/products/detail/sme_aris#link2

ARISは、視界の利かない濁水中で、**船底調査**や**機雷探査**を目的として開発されたものであるが、その特性を活かし、

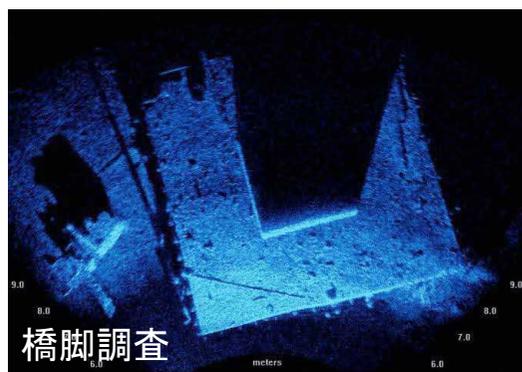
- **水産分野**
魚類や水中生物の生態観測・分布調査
- **エンジニアリング分野**
濁水中における港湾・河川などの水中構造物の調査・管理
- **探索分野**
海難事故の海中搜索や投棄物の搜索

などが活躍の場となっている。

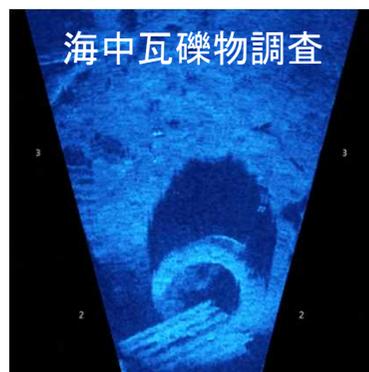


船底調査 接合化図

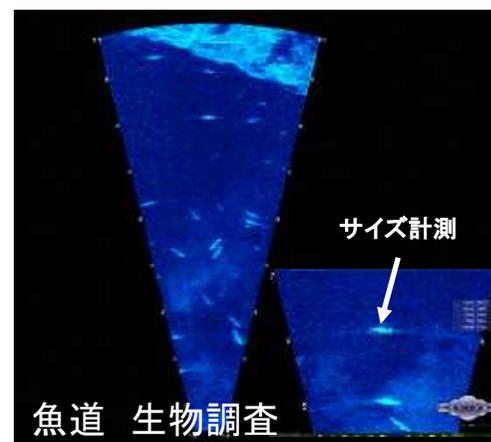
出典: AcousticView <http://www.acousticview.com/Sonar.html>



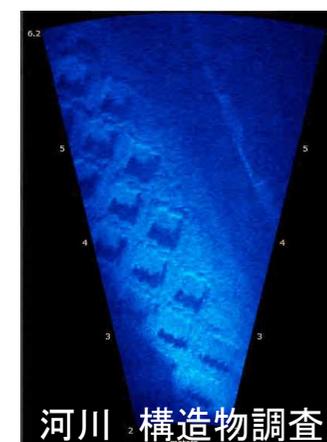
橋脚調査



海中瓦礫物調査



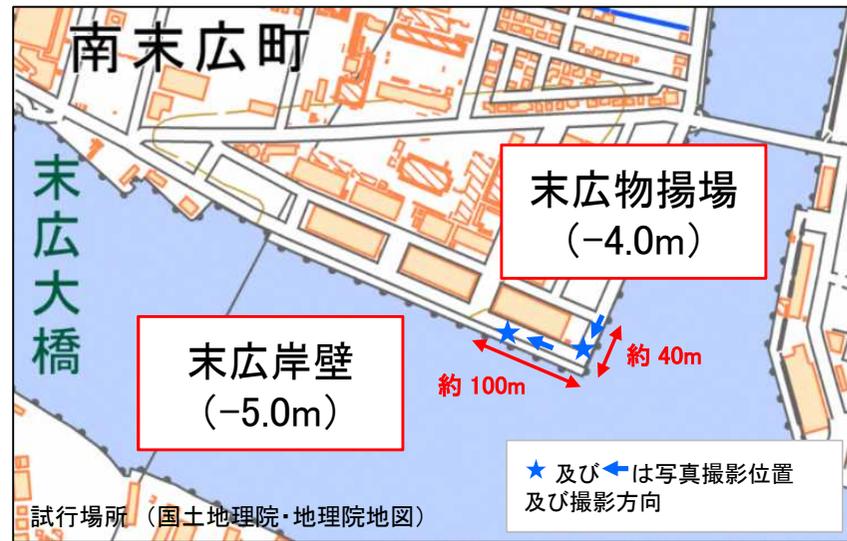
魚道 生物調査



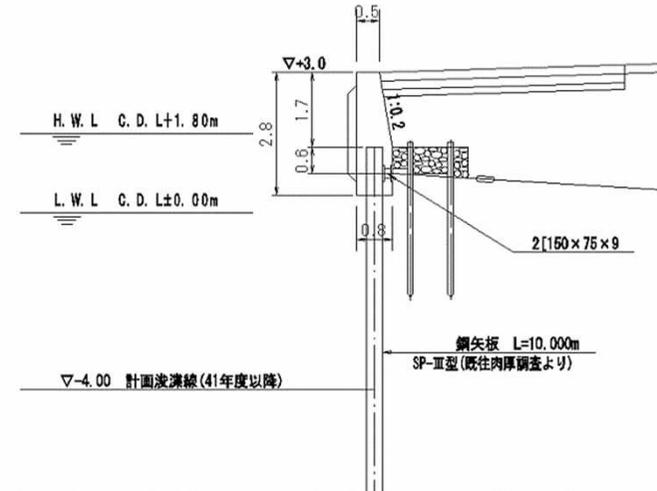
河川 構造物調査

(2) 現場試行計画

① 現場試行場所 徳島小松島港末広地区

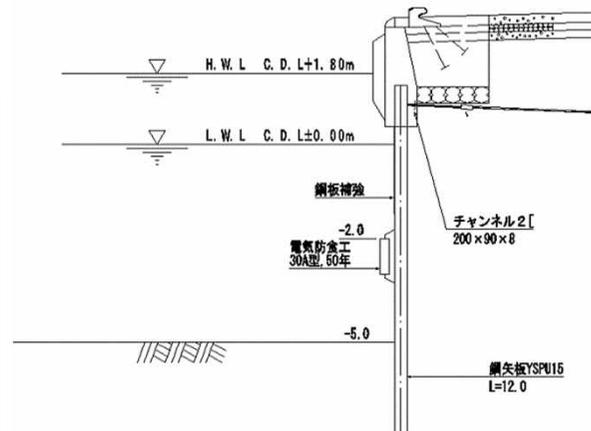


○ 末広物揚場(-4.0m)

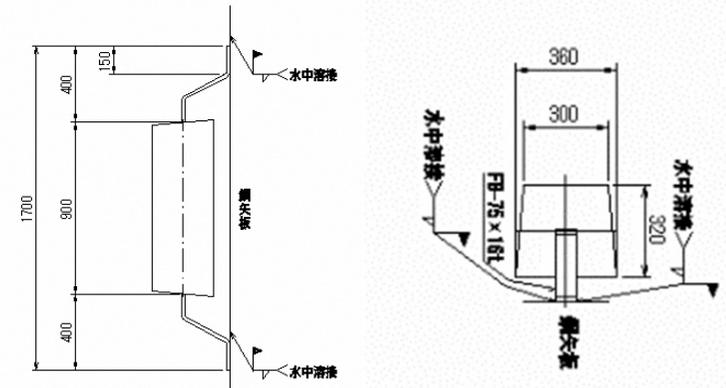


末広物揚場(-4.0m)標準断面図

○ 末広岸壁(-5.0m)



末広物揚場(-5.0m)標準断面図



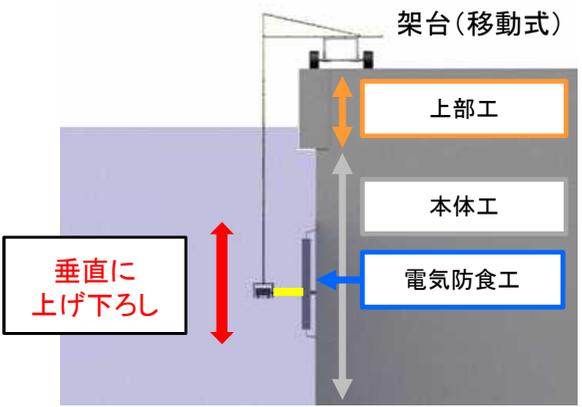
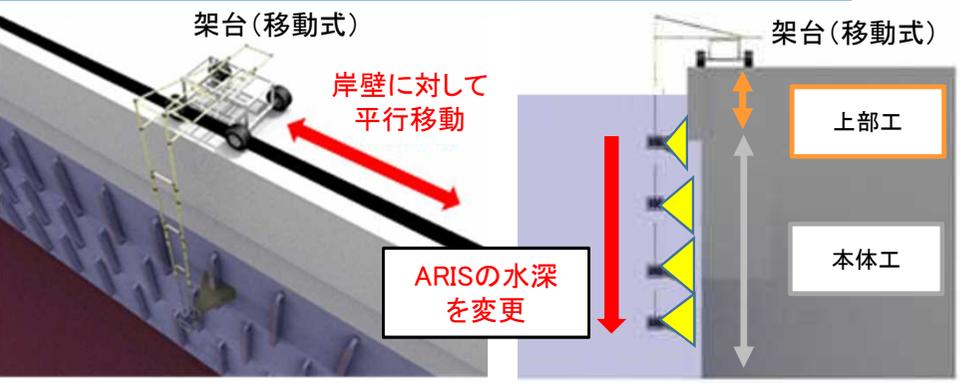
電気防食工

② 現場試行内容

調査施設	調査項目	調査方法	比較・検証方法 (従来調査)
末広物揚場(-4.0m)	鋼矢板の腐食、亀裂、損傷の状況	ARIS① 下図参照	潜水調査
	海底地盤の洗掘・堆積状況	マルチビーム測深	レッド測深
末広岸壁(-5.0m)	鋼矢板の腐食、亀裂、損傷の状況	ARIS① 下図参照	潜水調査
	電気防食工の現存状態	ARIS① 下図参照	潜水調査
	電気防食工の現状(消耗量測定)	ARIS② 下図参照	潜水調査
	海底地盤の洗掘・堆積状況	マルチビーム測深	レッド測深

・鋼矢板の状況
・電気防食工の現存状態 } 調査 ARIS ①

電気防食工の現状(消耗量測定)調査 ARIS ②



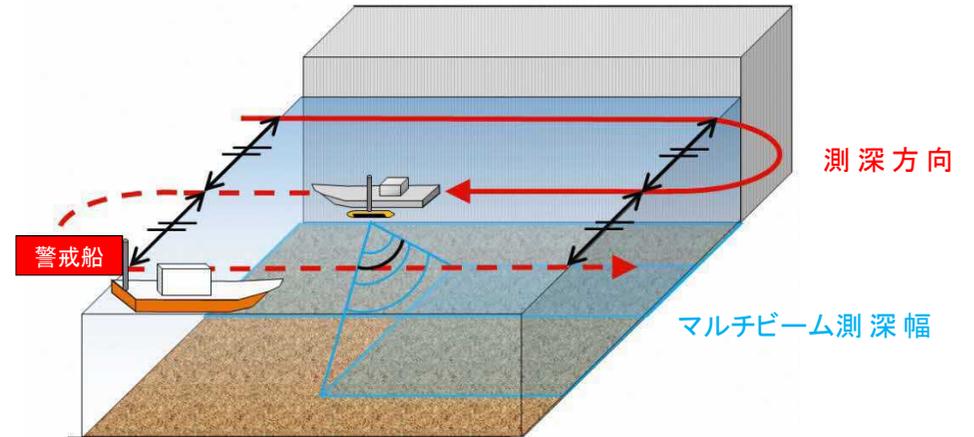
架台(移動式)に取付けたARISを岸壁に対して平行に移動し、鋼矢板を撮影(ARISの水深を約1m毎に変更し、繰り返し撮影することで全体の状況を把握した。)

架台に取付けたARISを秒速3~4cmで垂直に上げ下ろし、電気防食工の画像を取得

海底地盤の状況調査 マルチビーム測深



○ マルチビーム測深イメージ



マルチビーム測深機をゴムボートに機装。岸壁と平行に順次航行し、海底の地形データを取得

2. 現場試行結果

現場試行実施日 気象情報

日付	天気	気温（最高／最低）℃	風速（平均／最大）m/s	波高※1	海中濁度※2	調査内容
令和1年12月10日	晴れ時々曇り	15.4／5.1	1.7／4.6	0.5m未満	1.8m	・ ARIS① ・ ARIS②
令和1年12月11日	曇りのち晴れ	13.8／6.0	1.4／3.6	0.5m未満	—	マルチビーム測深

出典：気象庁 過去の気象データ 徳島県徳島 2019年12月(日ごとの値)より
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=71&block_no=47895&year=2019&month=12&day=&view=

※1 目視観測による

※2 濁度板計測による



現場試行 & 検証結果 (末広物揚場 (-4.0m))

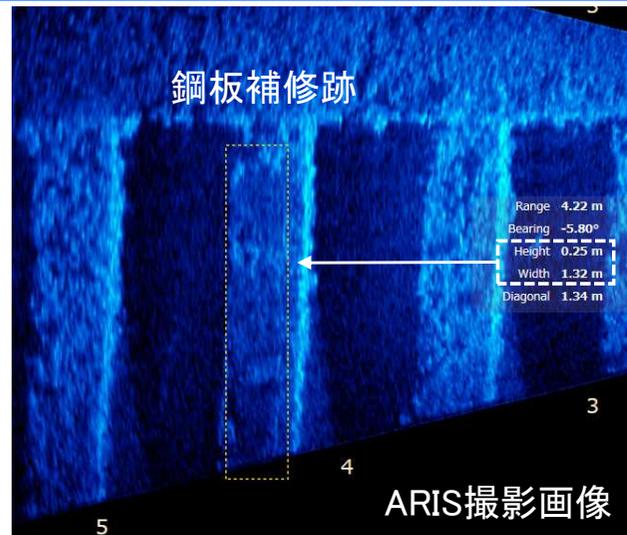
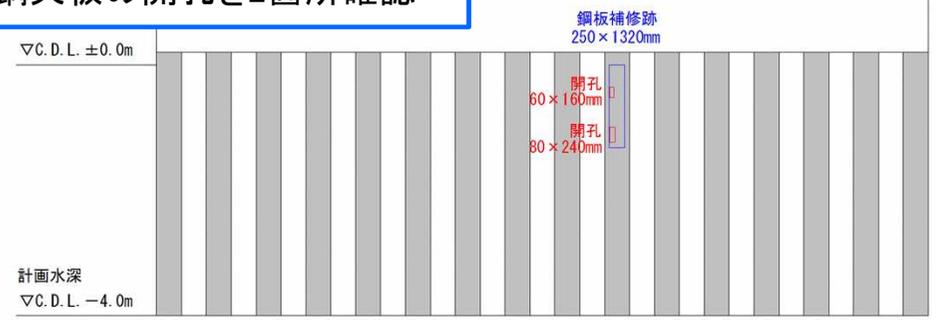
鋼矢板の状況調査 ARIS ①

ARIS調査結果 (収録画像データ)

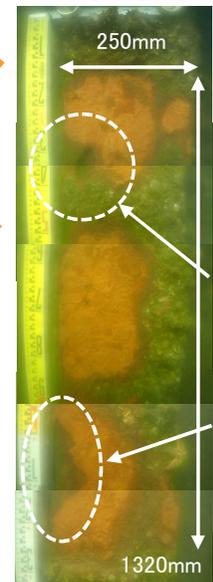
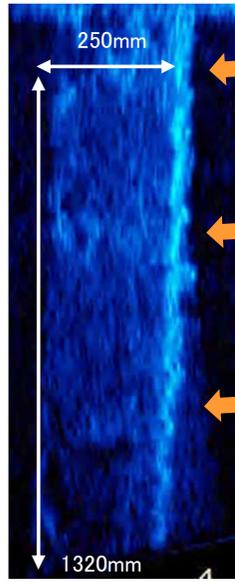
ARISによる調査では、鋼矢板に異常は確認することができなかった。(潜水調査により判明した開孔箇所を、ARIS撮影画像を詳細に確認したが、開孔の有無を確認することはできなかった。)

比較・検証 潜水調査結果

鋼矢板の開孔を2箇所確認



鋼板補修跡



a	<input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある <input type="checkbox"/> 開孔箇所から裏埋材が流出している
b	<input checked="" type="checkbox"/> L.W.L付近に孔食がある / 全体的に発錆がある
c	<input type="checkbox"/> 部分的に発錆がある
d	<input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形はない

潜水士撮影 開孔1(60×160mm)

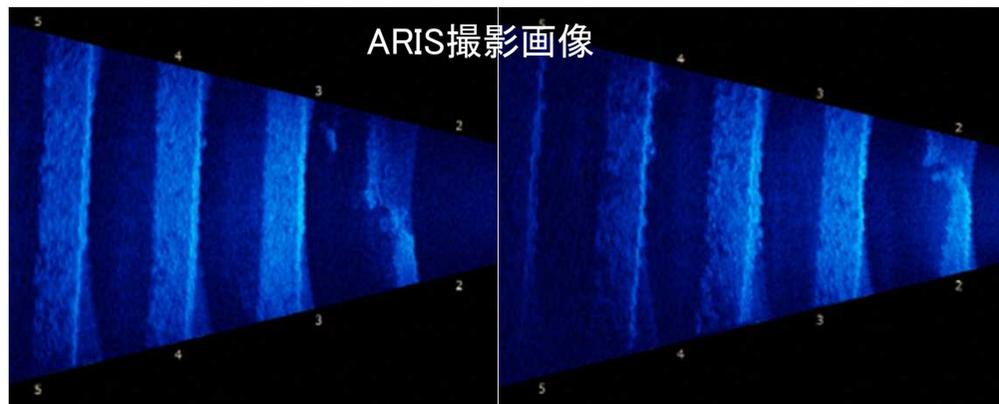
潜水士撮影 開孔2(80×240mm)

潜水士による目視調査と同等の結果を得ることはできず、現場実装に際して課題が残る。

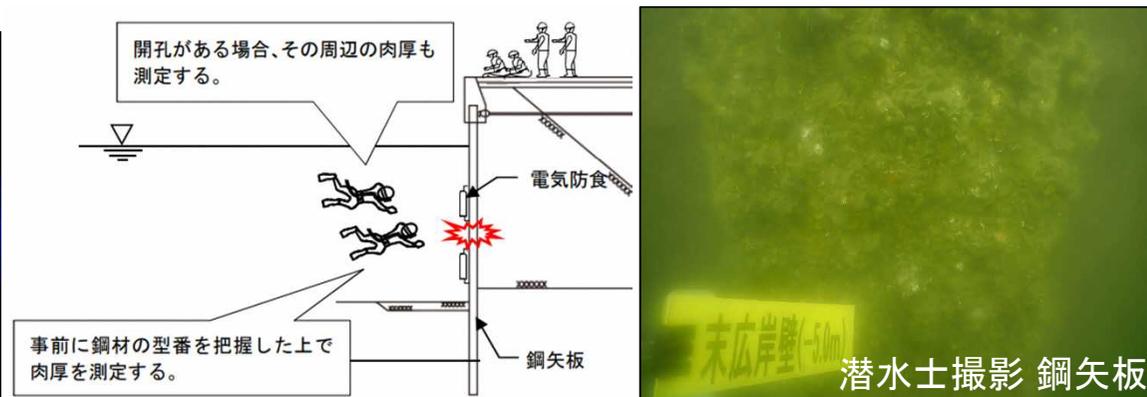
現場試行 & 検証結果(末広岸壁(-5.0m))

鋼矢板の状況調査 ARIS ①

ARIS調査結果(収録画像データ)



比較・検証 潜水調査結果



出典: 港湾の施設の点検診断ガイドライン

ARIS撮影画像により、鋼矢板の腐食、亀裂、損傷の状況を確認。

⇒ 鋼矢板の腐食、亀裂、損傷等の異常は認められない。

(ただし、画像から発錆の有無は確認できない。)

潜水士が、目視により鋼矢板の腐食、亀裂、損傷の状況を確認。

⇒ 鋼矢板の腐食、亀裂、損傷等の異常は認められない。

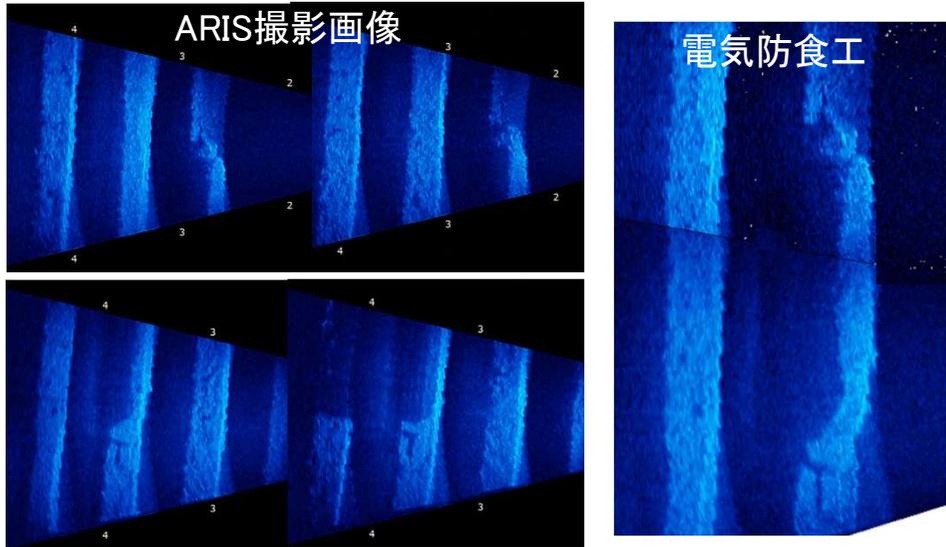
(潜水士は、目視により、発錆状況の確認することができる。)

ARIS撮影画像により、開孔等が無いことが確認でき、潜水士の目視点検と同様の成果を得ることができた。ただし、発錆の有無については確認することができないことから課題が残る。

a	<input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある <input type="checkbox"/> 開孔箇所から裏埋材が流出している
b	<input type="checkbox"/> L.W.L付近に孔食がある / 全体的に発錆がある
c	<input type="checkbox"/> 部分的に発錆がある
d	<input checked="" type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形はない

現場試行 & 検証結果 (末広岸壁 (-5.0m))

ARIS調査結果 (収録画像データ)



ARIS撮影画像により、電気防食工の現存状態を確認
 ⇒ 電気防食工の脱落、全消耗、取付不具合等の異常は認められない。

潜水士による調査と同等の結果を得ることができた。
 また、画像データの蓄積、画像データから計測できるなど、
 従来技術である、潜水士による目視調査と比べ優れている。

電気防食工の調査 (現存状態) ARIS ①

比較・検証 潜水調査結果



潜水士が、目視により電気防食工の現存状態を確認。
 ⇒ 電気防食工の脱落、全消耗、取付不具合等の異常は認められない。

a	<input type="checkbox"/> 陽極が脱落又は全消耗している <input type="checkbox"/> 陽極取付に不具合がある(ぶら下がり)
b	---
c	---
d	<input checked="" type="checkbox"/> 脱落等の異常はない

現場試行 & 検証結果 (末広岸壁 (-5.0m))

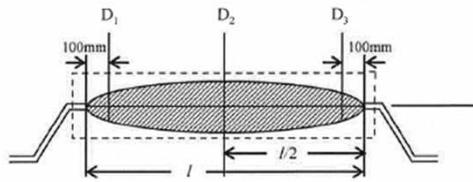
電気防食工の調査 (消耗量測定) ARIS ②

ARIS調査結果 (収録画像データ)

比較・検証 潜水調査結果

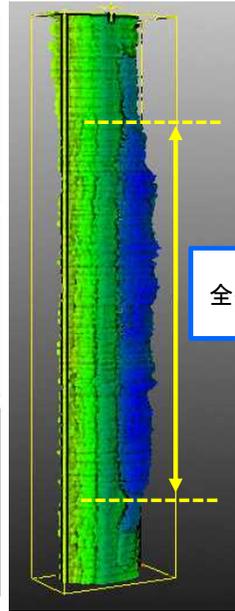
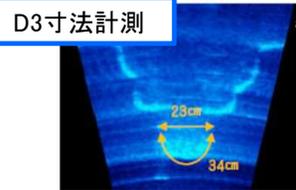
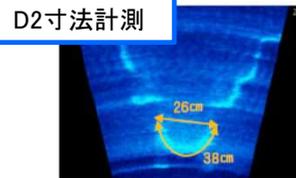
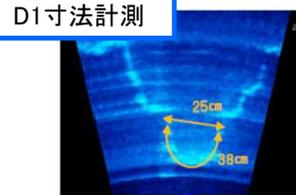
調査は海洋生物を除去した電気防食工で実施

○ 寸法計測方法

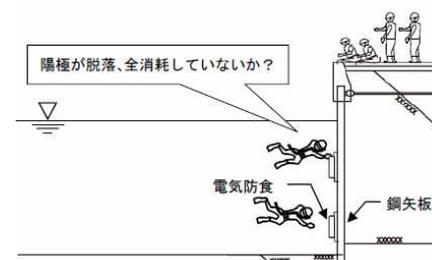


D1、D3: 残存電気防食工の端から約100mmの位置での外周長
 D2: 残存電気防食工中央部での外周長
 l: 残存電気防食工の長さ

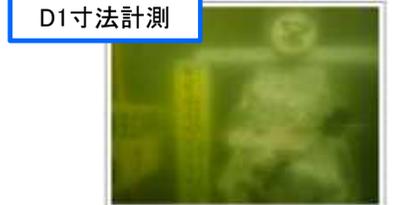
出典: 港湾の施設の点検診断ガイドライン (P3-28陽極の形状寸法の計測方法)



全長 l の計測



出典: 港湾の施設の点検診断ガイドライン



全長 l の計測

調査方法 / 寸法計測値 (cm)	参考図	ARIS調査	潜水調査
D1	130	63	57
D2	130	64	66
D3	130	57	58.2
l	90	118	126
残存体積 (cm ³)	95,063	27,713	28,729

潜水士による調査と同等の結果を得ることができた。
 ただし、計測に先立ち、海中生息物の除去が必要であり、
 現場実装に際して課題が残る。(海中生息物の影響を受ける)

現場試行 & 検証結果

マルチビーム測深結果

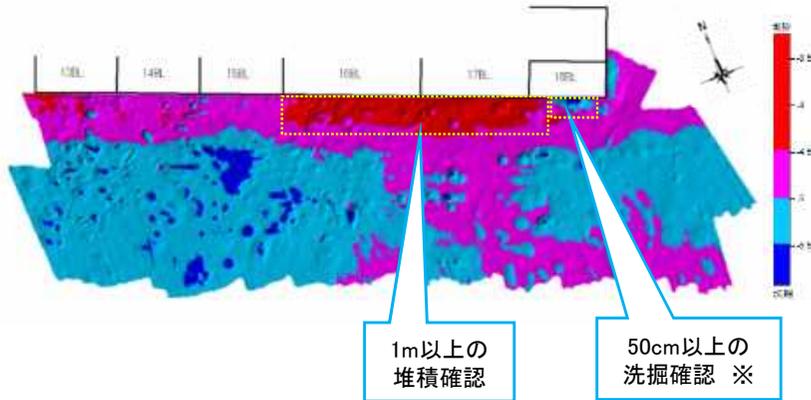


図: 末広岸壁(-5.0m)洗掘・堆積状況(計画水深 5.0m基準)
※航路確保のための影響と推測される。

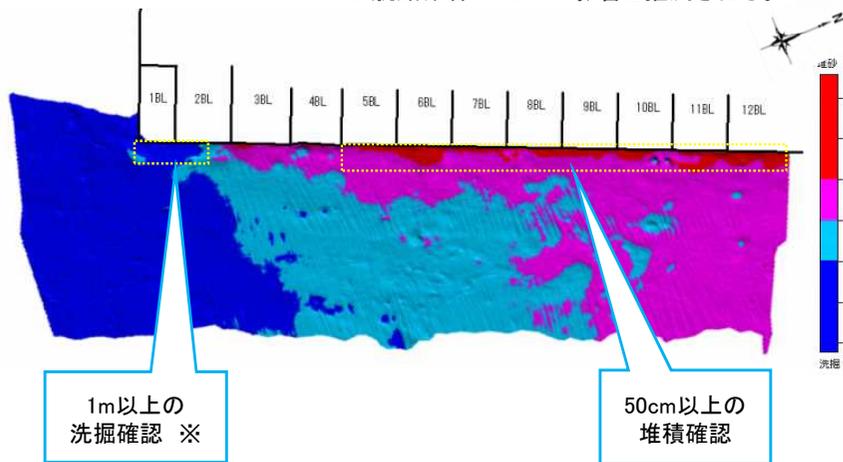


図: 末広物揚場(-4.0m)洗掘・堆積状況(計画水深4.0m基準)

海底地盤の状況調査 マルチビーム測深

比較・検証 レッド測深結果

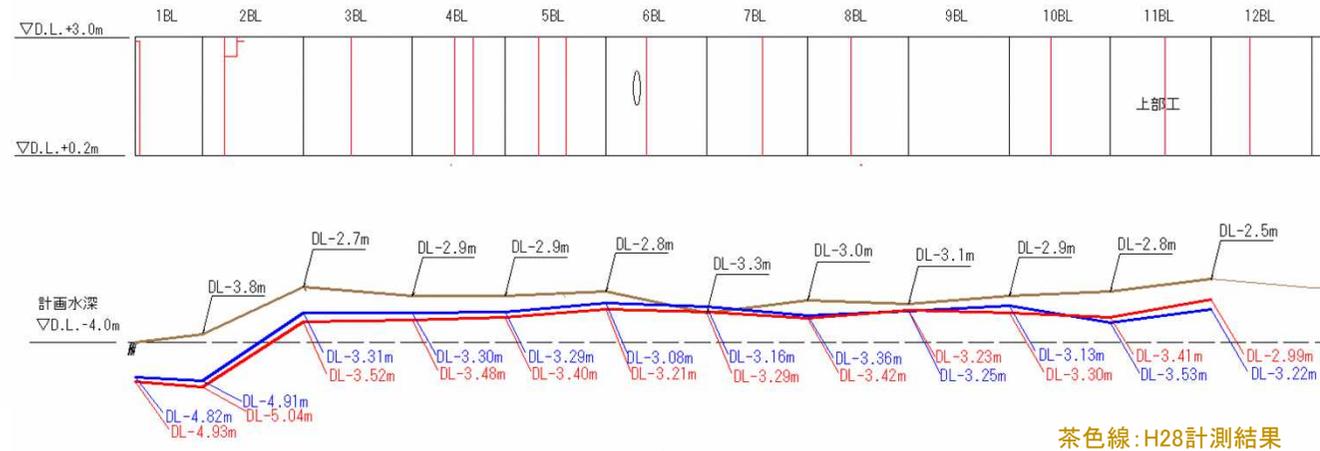


図: 末広物揚場(-4.0m) レッド、マルチ測深結果比較断面

茶色線: H28計測結果

赤線: R1マルチ計測結果

青線: R1レッド計測結果

マルチビーム音響測深機で取得したデータを解析し、水深図及び鳥瞰図等を作成。

測深結果より、末広岸壁(-5.0m)、末広物揚場(-4.0m)で海底地盤の洗掘、堆積箇所を確認。

a	<input type="checkbox"/> 岸壁全面で深さ1m以上の洗掘がある <input type="checkbox"/> 洗掘に伴い、マウンド等や岸壁本体への影響が見られる
b	<input type="checkbox"/> 岸壁全面で深さ0.5m以上1m未満の洗掘がある
c	<input checked="" type="checkbox"/> 深さ0.5m未満の洗掘又は堆積がある
d	<input type="checkbox"/> 変状なし



レッドによる測深とマルチビームによる測深結果は、ほぼ一致しており、マルチビームによる測深は十分な精度を要していることが確認できた。

- マルチビームの活用で、海底地盤の洗掘、堆積状況を面的に確認できる。
- マルチビーム測深は、1点毎に計測するレッド測深と比べ、コストは高いが、広範囲を短時間で計測することができる。
- 測深結果から詳細な洗掘・堆積状況(位置、量)を把握することができる。
- 測深データの蓄積による経年変化、洗掘・堆積の傾向分析が可能となる。

3. 作業コスト

○ 日当作業量

潜水調査 : 1,200(m²/日)

ARIS調査 : 1,200(m²/日)

・鋼矢板の状況・電気防食工の現存状態 調査 ARIS ①

1日当たり(1,200m²)の費用比較

単位:円

	ARIS (A)	潜水調査 (B)	差額 (A-B)
計画準備	163,000	216,500	-53,500
直接人件費	162,000	215,000	-53,000
その他	1,000	1,500	-500
計測	313,500	456,500	-143,000
直接人件費	96,500	261,000	-164,500
機器損料	214,000	49,500	164,500
雑費	3,000	3,000	0
その他(警戒船等)		143,000	-143,000
データ解析	511,500	0	511,500
直接人件費	506,500		506,500
雑費	5,000		5,000
合計	988,000	673,000	315,000
1m ² 当たり	約820円	約560円	約260円

※ 詳細な条件等については、参考資料に記載

※ 機材運搬費、諸経費は含まず

※ 潜水調査の費用は、維持管理計画書策定のための現地調査積算基準による

○ 日当作業量

潜水調査 : 50(箇所/日)

ARIS調査 : 24(箇所/日)

電気防食工の調査(消耗量測定) ARIS ②

50箇所当たりの費用比較

単位:円

	ARIS (A)	潜水調査 (B)	差額 (A-B)
計画準備	162,000	216,500	-54,500
直接人件費	162,000	215,000	-53,000
その他	0	1,500	-1,500
計測	627,000	498,000	129,000
直接人件費	193,000	261,000	-68,000
機器損料	428,000	90,500	337,500
雑費	6,000	3,500	2,500
その他(警戒船等)		143,000	-143,000
データ解析	784,000	0	784,000
直接人件費	776,000		776,000
雑費	8,000		8,000
合計	1,573,000	714,500	858,500
1箇所当たり	約31,500円	約14,300円	約17,200円

※ 詳細な条件等については、参考資料に記載

※ 機材運搬費、諸経費は含まず

※ 潜水調査の費用は維持管理計画書策定のための現地調査積算基準による

「データ解析」の工数削減が重要課題である

安全性

潜水調査



ARIS調査



ARISを用いた調査は、陸上から調査が可能であることから、一般的に潜水調査と比べ安全である。
また、陸上からの調査が可能となることにより、調査に必要な船舶の手配が不要となる、
海上作業に伴う届出※が不要となり、事務の削減ができる他、調査時期の自由度が増すことが期待できる。

※ 海上作業による届出等については、管轄する海上保安部との協議が必要となるが、不要と回答頂いた事例がある。

4. ま と め

調査項目	点検診断への適用	試行結果まとめ
鋼矢板の状況調査 ARIS①	△	ARISによる調査では、鋼矢板の異常、開孔の有無を確認することができなかった。また、発錆の有無についても確認することができなかった。潜水士による目視調査と同等の結果を得ることはできず、現場実装に際して課題が残る。
電気防食工の調査 (現存状態) ARIS①	○	ARIS撮影画像により、電気防食工の現存状態を確認することができた。潜水士による調査と同等の結果を得ることができた。 画像データの蓄積、画像データから計測できるなどのメリットもある。
電気防食工の調査 (消耗量測定) ARIS②	△	ARIS撮影画像により、電気防食工の消耗量(寸法計測)を確認することができた。潜水士による調査と同等の結果を得ることができた。 ただし、計測に先立ち、海中生息物の除去が必要であり、現場実装に際して課題が残る。(海中生息物の影響を受ける)
海底地盤の状況調査 マルチビーム測深	○	マルチビームによる調査では、レッド測深ではわからない海底地盤の洗掘、堆積状況を確認することができた。調査コストは高くなるが、広範囲を短時間で計測できるなどのメリットがある。

(2) 現場試行者としての課題・抱負

今回提案させていただいた水中音響ビデオカメラ「ARIS」及びマルチビーム音響測深機を、今後港湾の施設の点検診断に適用するにあたり前述の課題をクリアするための取組をするとともに、事業者としては運用時の作業工数、コスト縮減も課題であることが本現場試行で判明したため、作業効率をあげるための取組も同時に行う必要がある。

事業者としての課題

- 使用機器が多く、重量がかさみ扱い易くない
- 機材取付・組立、解除に人手と時間を要する
- 手動部分が多く、調査に人手を要する
- データ解析に人手と時間を要する
- 機器損料が高価

新技術の活用

現状解決すべき課題は多いが・・・

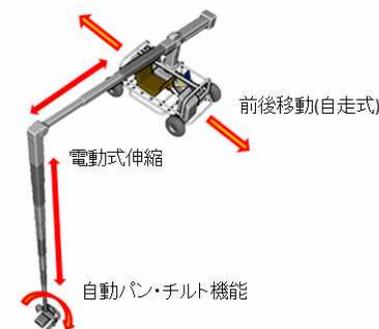
- 潜水士が入ることができない場所(濁水、速潮など)の調査
- 変化を推測するための概査データの取得などにARISの活用検討に取組みたい。

事業者としての取り組み・抱負

調査用治具の軽量化、自動化の改良に直近取組予定である。

引続き現場検証を行い、技術的、運用的課題解決のための方法を模索するとともに調査方法のノウハウの蓄積、マニュアル化を進め、誰でも調査ができる仕組み作りを進めていきたい。

また港湾施設以外(河川、橋梁、船舶調査など)でも新技術の活用について取り組み、調査、点検業務の安心・安全化、効率化に寄与していきたい。



図：調査用治具 改良イメージ