

漁港施設水中部の点検効率化に向けた 水中ドローンの活用方法と適用性について

(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所 ○大井 邦昭

三上 信雄

(一社) 水産土木建設技術センター 米山 正樹

完山 暢

岩本 典丈

いであ(株) 古殿 太郎

坂本 葉月

水産庁漁港漁場整備部 中瀬 聡





1. 研究背景と目的
2. 従来技術（潜水目視調査）
3. 本研究で用いた水中ドローンの基本性能
4. 現地試験の概要
5. 現地試験の記録
6. 水中ドローンの適用性の検証
7. まとめ

1. 研究背景と目的

漁港施設（防波堤、岸壁など）の老朽化がすでに顕在

⇒ **インフラ長寿命化計画**を策定（令和3年、水産庁）

「水産基盤施設機能保全計画策定の手引き」（平成27年、水産庁）

「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン」（平成27年、水産庁）

⇒ **施設の現状や性能を知るため、施設水中部の「点検」は必須**

「老朽化対策」のために「点検業務」を進めるための課題は何か。

課題：潜水士不足、点検・診断精度のばらつき（潜水士の技量に影響をうける）

解決策：点検の効率化（潜水士の負担軽減）、客観的データ提示（ばらつきの低減）

働き方改革

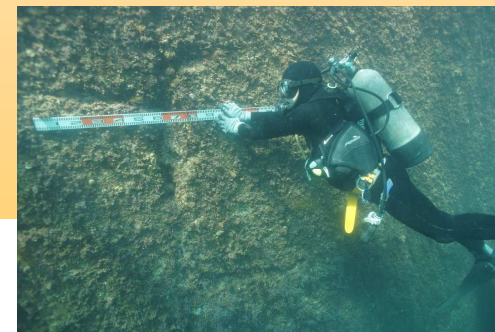
小規模変状（概ね10cm以下）、鋼材の発錆等の色変化に関する変状の抽出が困難（大井ら、2020）

どのような方法で：**センシング技術**、**水中ドローン**、and more？

（ナローマルチビーム
、3Dスキャナー）

本研究の対象技術（画像という客観的
データ提示が可能と期待）

2. 従来技術（潜水目視調査）



教育機構

「コンクリート構造」および「鋼構造」
施設※の水中部の点検はどんなときにやるのか？

⇒ 一般的に定期点検（詳細調査）で実施

⇒ 10年間隔が標準※
ガイドライン

どのような方法で？

⇒ 潜水士による目視調査＋簡易計測

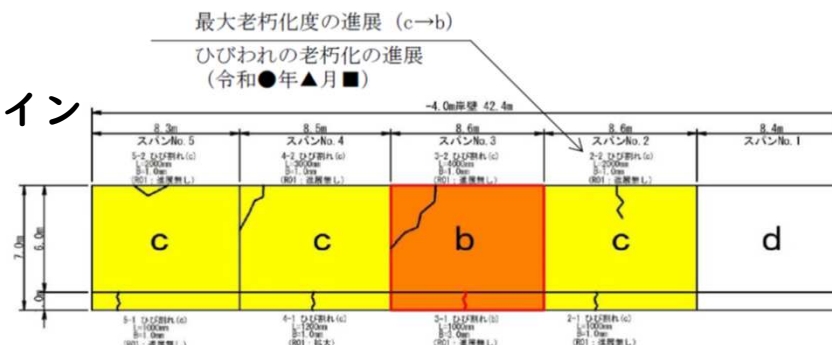


図-4.4 様式4'のスパン別最大老朽化度の図中への点検結果の記録要領

作業内容（点検項目）は？

⇒ コンクリート構造：劣化（ひびわれ）、損傷（欠け） ↓対象外とする

⇒ 鋼構造：損傷（亀裂、孔食、発錆）、防食陽極不具合、~~肉厚減少~~

⇒ それぞれの項目ではa～dの判定レベルが定められており※、老朽化の進行が著しいaおよびbを検出（健全度評価）する「簡易潜水」と、老朽化の初期状態であるcおよびdの検出および老朽化要因の特定のための変状寸法計測などの調査内容を含む「詳細潜水」がある。

ガイドライン

センシング技術で代替可能

水中ドローンでこの代替が可能かを検証する

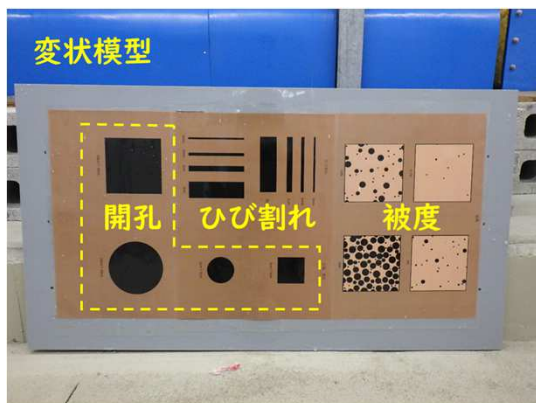
詳細潜水Output：老朽化度判定、写真集、変状図（寸法、および判定結果の記入があるもの）

3. 本研究で用いた水中ドローンの基本性能



【主な仕様】

機体サイズ	: 383mm×331mm×143mm
空中重量	: 5kg
最大速度	: 3ノット
稼働時間	: 6時間
カメラ解像度	: 4K
ライト照度	: 6000ルーメン
搭載機能	: ソナー(前方・下方)、レーザースケイラーなど



撮影可能な濁度：7度

- 抽出すべき変状の内、最も小さいもの(3mmのひび)が検出可能な範囲
- 濁度12度以上になるとセンシング技術で検出可能なサイズ(10cmの欠損)をも検出不能となる

撮影距離：1.0mを標準とする

- 老朽化度評価に必要な解像度および撮影効率を勘案

4. 現地試験の概要

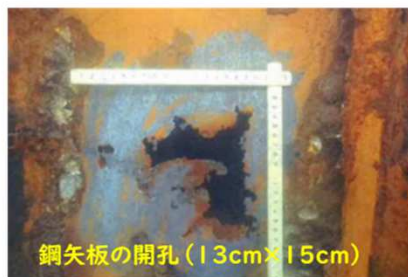
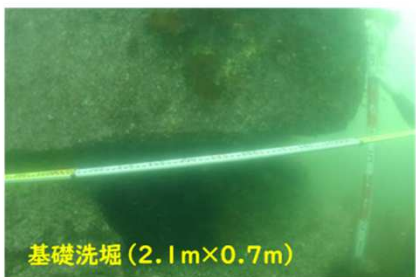
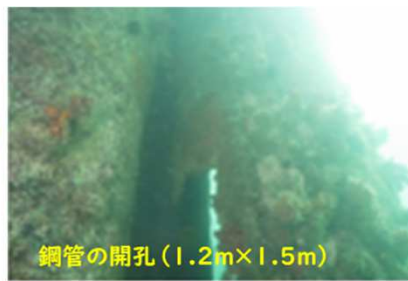
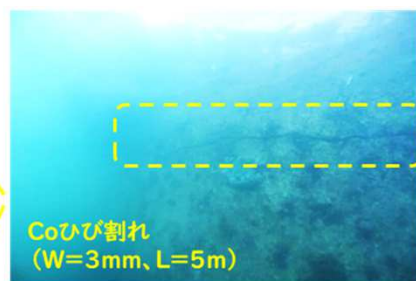
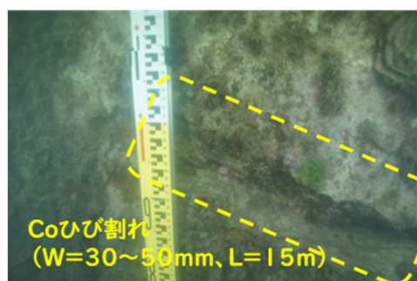
[モデル漁港]

既往の潜水目視調査記録があり、小規模変状が既知な施設を有する5漁港（A～E漁港）を対象とし、水中ドローンを用いた点検手法の適用性を検証

[撮影方法]

面的撮影：既知の変状情報がない場合を想定し、施設全体をもれなく撮影することを目的にした方法

スポット撮影：変状情報が既知である場合を想定した方法で、特定の変状部分に焦点をあてて撮影するもの（老朽化の進展状況の確認や要因把握など）



既知の変状 (潜水目視調査より)

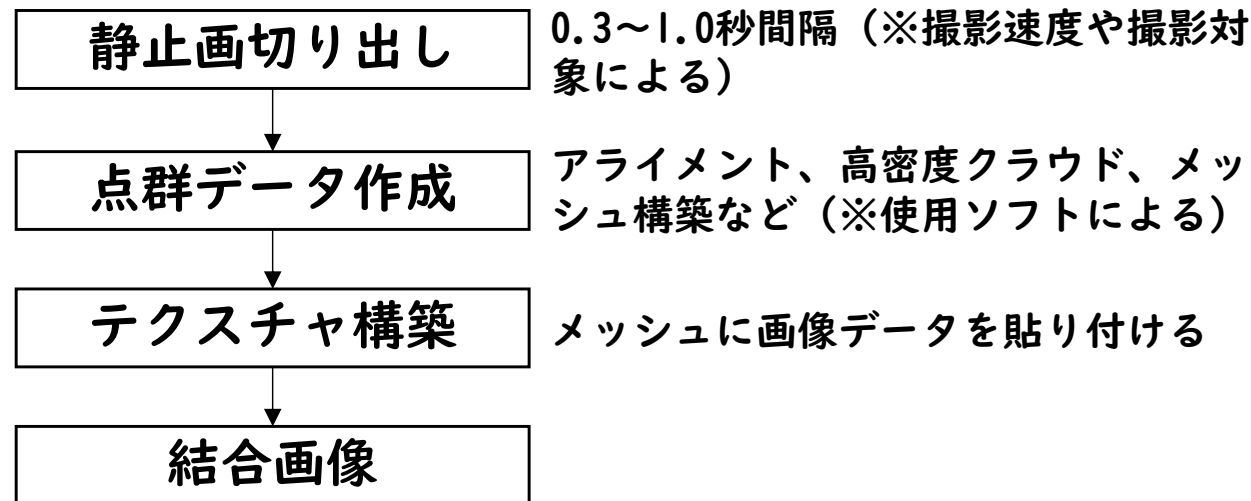
水ドロ撮影状況



〔撮影画像の結合〕

構造物との距離1.0mで撮影した動画からは、ある時刻の画像が構造物のどの位置を撮影したものが即座に理解しにくい

⇒画像処理ソフトも用いた「結合画像」を成果物として製作することが有効か（ソフト内では「オルソ化」と称されるが、カメラキャリブレーションやExif情報編集などは行っていないため、厳密にはオルソ化ではない）



結合画像作成フロー

5. 現地試験の記録

[撮影時間と効率]

平均して50m²に対して5分程度。構造形式による違いは小さい。
ただし、流れが強い領域では姿勢制御に手間取る。

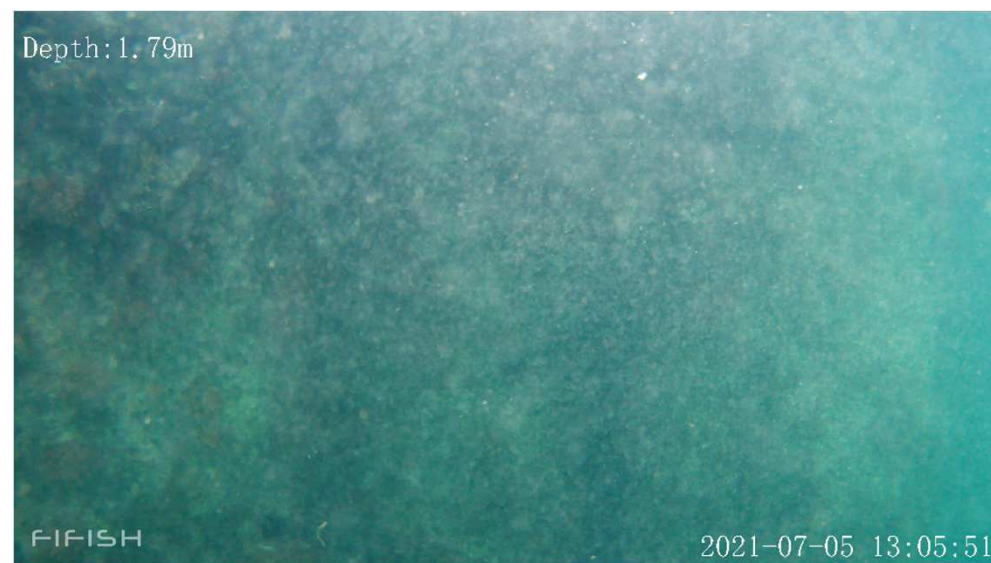
項目		時間 (分)	備考
外業	調査準備	目印ロープ展張	10 2m間隔
		セットアップ	10 ケーブル配線等
		海底障害物確認	5
	撮影	5	撮影範囲：約50m ² （外郭施設1~2スパン程度）
	片付け	10	
	ファイル確認	25	撮影画像と野帳を紹介
内業	変状抽出	10	面的撮影動画から
	変状図作成	20	変状寸法解析、写真集作成含む
その他	結合画像作成準備	30	静止画キャプチャ、ソフト設定等
	統合画像作成	300	ソフト稼働時間
合計		95	外業+内業
合計		125	外業+内業+その他（ソフト稼働時間除く）

内業に必要な時間なども考慮した**水ドロが1日に点検できる範囲は1,800m²で、潜水目視の1,500m²を上回る。** Key：充電時間、減圧時間

[撮影した画像 (動画)]



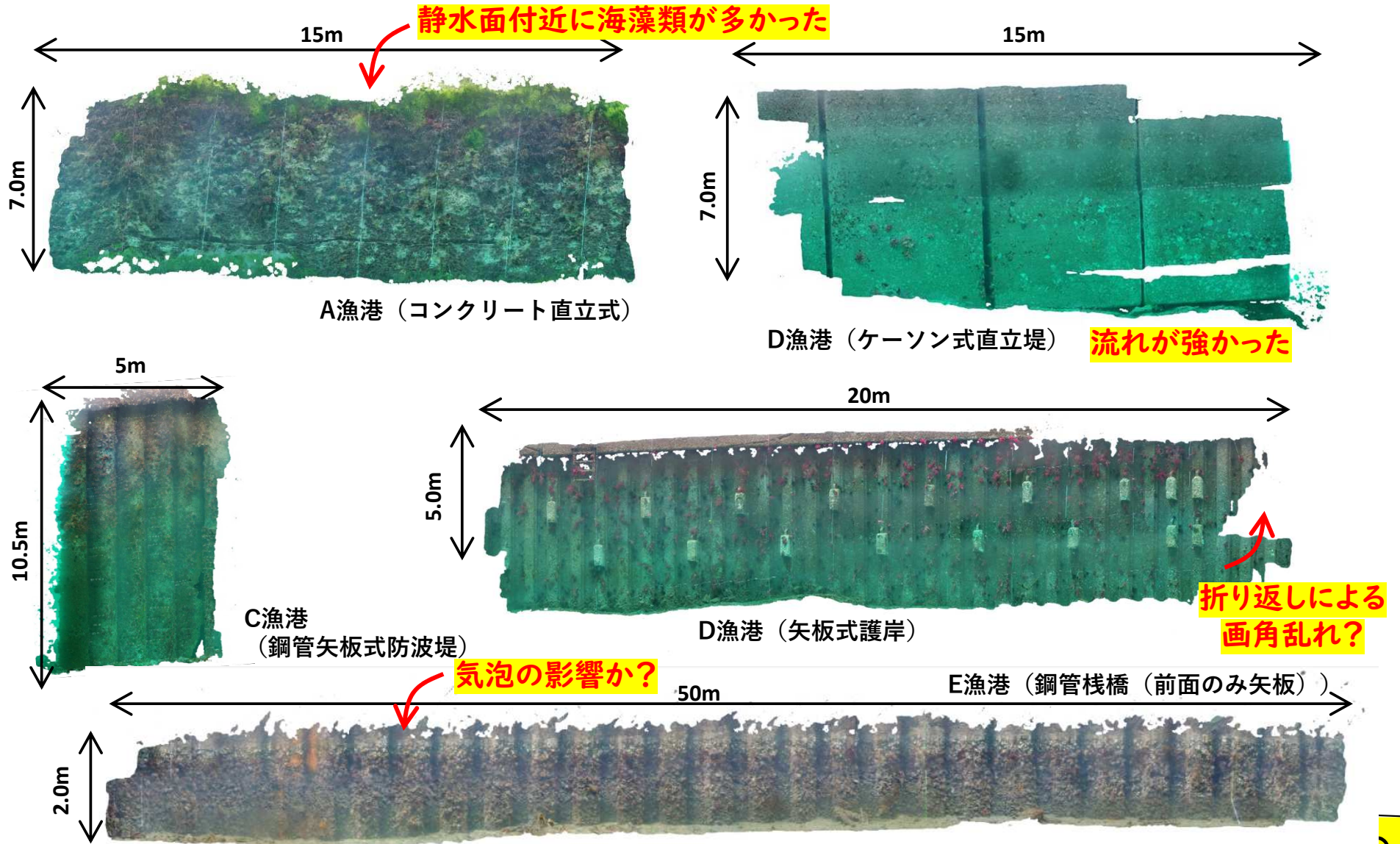
#重力式 (D漁港) 面的撮影



#鋼管矢板式 (C漁港) スポット撮影



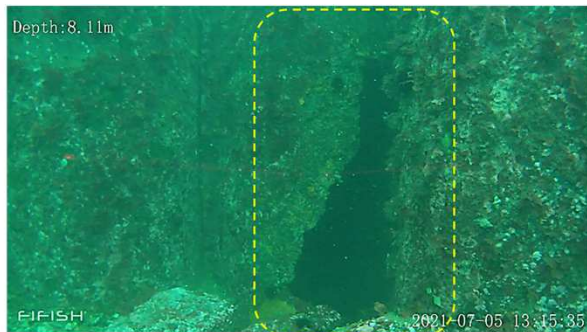
[撮影した画像 (結合画像)]



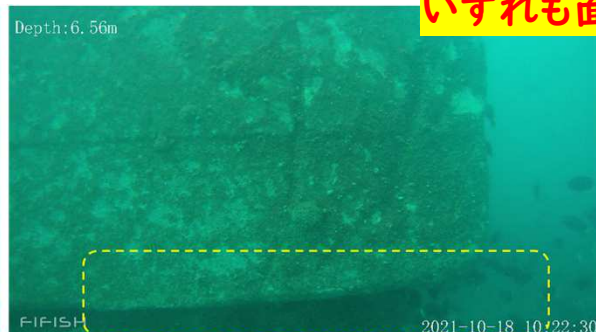
6. 水中ドローンの適用性の検証

[簡易潜水に対する適用性] 大規模変状（老朽化度a、b）の検出。センシング適用可

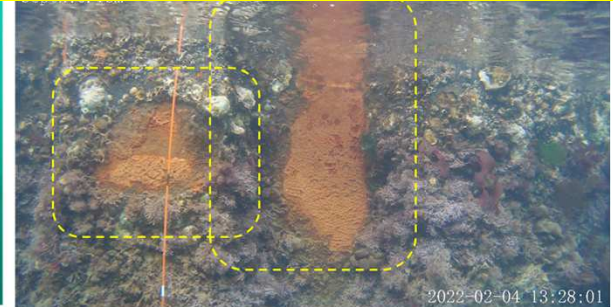
いずれも面的撮影時の動画からキャプチャした画像



No.4 開孔（C漁港、鋼管矢板式防波堤）



No.8 基礎部の洗掘（D漁港、ケーソン式直立堤）



（参考）発錆（E漁港、鋼管栈橋（前面矢板））

面的撮影（既知情報なし）から新規抽出が可能 ⇒

適用可！！

変状規模もある程度推定可能

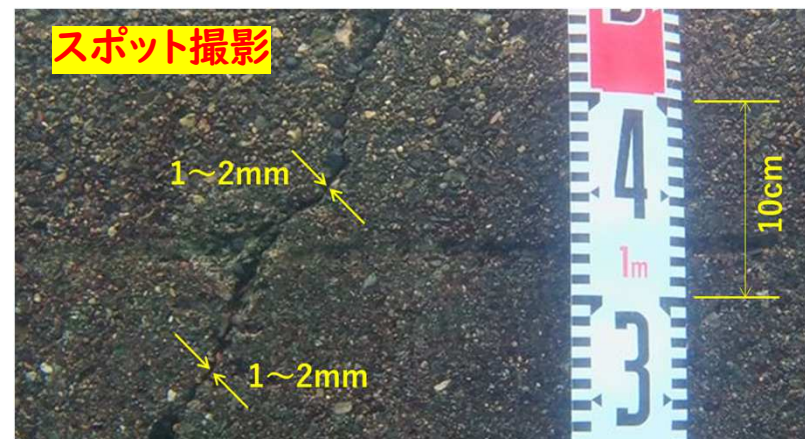
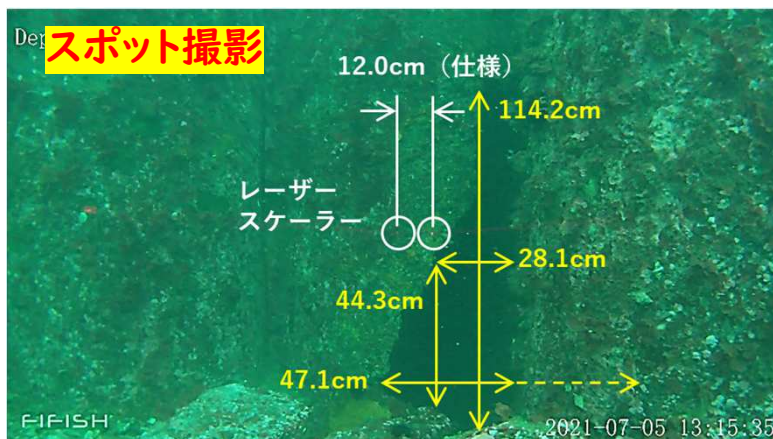
[詳細潜水に対する適用性] 小規模変状（老朽化度c、d）の検出。センシングは適用不可

#変状形状（寸法）を計測できるか ⇒

適用可！！

#小規模変状（最小で3mm程度のCoひび割れ）を抽出（計測）できるか ⇒

適用可！！



[機能診断]に対する適用性

ガイドラインに示される老朽化度判定 (a~d) が可能か否か

ほぼ全ての調査項目について、潜水目視の代替えが可能!!

調査項目		老朽化度の評価基準		適用性			
				潜水目視		センシング	水ド口
				詳細潜水	簡易潜水		
本 体 工	CO劣化損傷 (RC)	a	中詰材等が流出する穴開き、ひび割れ、欠損	○	○	○	○
		b	広範囲の鉄筋露出	○	○	○	○
			複数方向に幅3mm程度のひび割れ	○	×	×	○
		c	一方向に幅3mm程度のひび割れ、局所的な鉄筋露出	○	—	—	○
	d	老朽化なし	○	—	—	○	
	CO劣化損傷 (無筋)	a	性能に影響を及ぼす程度の欠損	○	○	○	○
		b	小規模 (10%未満) の欠損	○	○	○	○
			幅1cm以上のひび割れ	○	○	×	○
c		幅1cm未満のひび割れ	○	—	—	○	
d	老朽化なし	○	—	—	○		
被 覆 工	移動散乱	a	被覆工の散乱かつ捨石材の流出	○	○	○	○
		b	被覆工の散乱	○	○	○	○
		c	-	—	—	—	—
		d	老朽化なし	○	○	○	○
矢 板 ・ 杭	鋼材腐食損傷	a	腐食による開孔・変形、著しい損傷、裏埋材の流出兆候	○	○	○	○
		b	LWL付近に孔食	○	○	○	○
			全体的に発錆	○	○	×	○
		c	部分的に発錆	○	—	—	○
	d	発錆、開孔、損傷は見られない	○	—	—	○	
	被覆防食 (塗装)	a	欠陥面積率10%以上	○	○	×	○
		b	欠陥面積率0.3%以上10%未満	○	○	×	○
		c	欠陥面積率0.03%以上0.3%未満	○	—	—	○
		d	欠陥面積率0.03%未満	○	—	—	○
	被覆防食 (被覆)	a	鋼材が露出し発錆	○	○	×	○
		b	鋼材まで達する傷・はがれ等の損傷、保護カバーに欠損	○	○	×	○
		c	鋼材まで達してない傷・はがれ等の損傷、保護カバーに損傷	○	—	—	○
		d	老朽化なし	○	—	—	○
	電 気 防 食	a	陽極の脱落・全消耗	○	○	○	○
		b	陽極取付の不具合 (固定部のはずれ、重度な消耗)	○	○	○	○
			陽極取付の不具合 (軽度な消耗)	○	×	×	○
陽極取付の不具合 (ゆるみ)			○	×	×	×	
c		-	—	—	—	—	
d	欠落等の異常なし	○	—	—	○		

※簡易潜水目視調査：大規模な変状はサイズ計測・記録するが、小規模な変状やクラック、変色等は大まかな位置と状況のみ記録。

※詳細潜水目視調査：小規模な変状もサイズを計測する。

※光学機器による老朽化度評価の適用性は、潜水土による目視調査が可能な環境下 (波浪、潮流、濁度、付着物等) における適用性を示す。



〔結合画像の活用〕

- 高解像度で面的撮影された動画から作成した結合画像からでも小規模変状の新規抽出、および一定程度（数cmまで）の変状規模計測が可能
- 結合画像は変状情報を書き込んだ従来の変状図と比べて、変状情報とその周辺状況を視覚的に理解（＝見える化）することができるため、従来の変状図とあわせて保管することで、より効果的なモニタリングの一助となる。



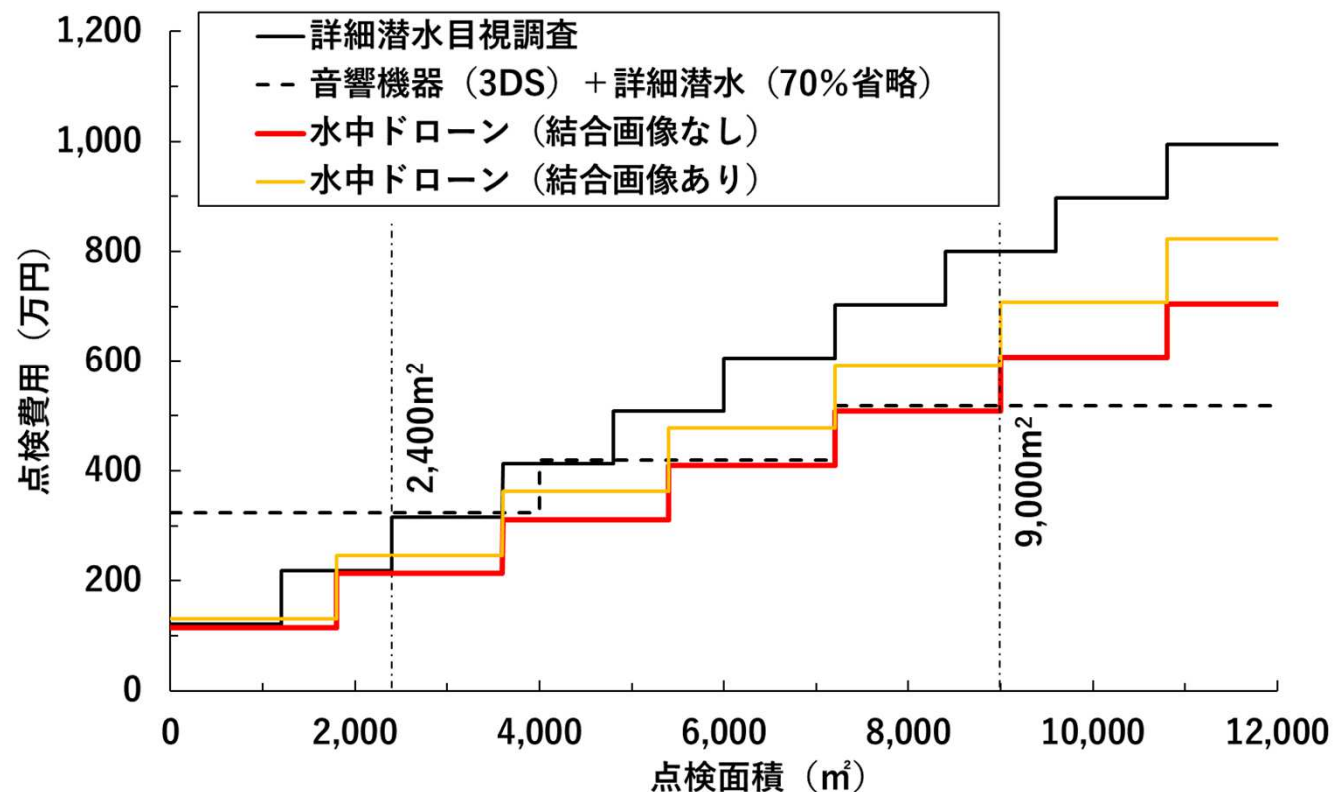
鋼矢板岸壁
(既出再掲)

点群データ化、
3D化も可能(精度未検証)

基礎捨石マウンド(上方からカメラを下向きにして撮影したもの)
(初出、論文掲載なし)



[費用比較]



点検面積が2,400m²を超えると、水ドロ (結合画像なし) が3割程度、水ドロ (結合画像あり) が2割程度、コンスタントに安価となる。

※作業限界は潜水、水ドロともに同程度である

※水深10m以深では潜水では減圧、水ドロではケーブル抵抗に伴う効率低下が生じる
(本研究は調査水域の水深は10m以下を想定している)

7. まとめ

1. 水中ドローンは老朽化判定の最小基準値である幅3mm未満のCoひび割れ等の小規模変状の抽出・計測可能であり、潜水目視調査の代替えが可能
2. 水中ドローンによる撮影において、①既知の変状情報がない場合には施設全体の確認が必要となるため面的撮影が有効。②既知の変状がある場合など精緻な変状情報や変状の進展状況を把握するためにはスポット撮影が有効である
3. 水中ドローンによる点検は潜水調査と比べてコンスタントに3割程度安価になる
4. 面的撮影結果から作成する結合画像からは変状箇所以外を含む施設全体の概観を記録することができる。老朽化状態の「見える化」により、客観的な評価が可能となるとともに、判定結果のばらつき抑制が期待される

水中ドローンによる漁港施設水中部の点検は、従来の潜水目視調査の作業効率を改善でき、潜水士の負担軽減に大きく寄与する

【施設点検業務の働き方改革に貢献！】

ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention

本研究は水産庁による令和3年度水産基盤整備調査委託事業「光学機器を用いた新技術導入検討調査」の内容を取りまとめたものです。現地試験にご協力賜った自治体や漁業関係者を含めた関係者各位に謝意を表します。

また、同事業の成果は「光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き、水産庁、令和4年3月」として公表されています。

(https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_guideline/attach/pdf/index-83.pdf)