

「光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き」の紹介 ～水中ドローンと垂下式カメラの活用～

令和4年11月9日

一般社団法人 水産土木建設技術センター

○牟田 直樹
完山 暢
岩本 典丈
三上 信雄
大井 邦昭

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

本日の発表内容

1. はじめに
2. 手引きの概要
 - (1)手引きの構成
 - (2)活用範囲
 - (3)点検方法
 - (4)データの結合作業
3. おわりに

1. はじめに

背景

【インフラ点検における新技術の活用促進】

【光学機器の必要性・可能性】

- 音響探査機器では水中部の施設点検において効率化が図れるものの、コンクリートのひび割れや小規模欠損、鋼材の開孔や発錆などの**老朽化初期段階の検出は困難（潜水土の目視が必要）**
- 潜水土の作業軽減のためこれらを代替する点検方法が必要



目的

【光学機器を用いた水中部の漁港施設点検手法の考案】

- 潜水目視調査の代替促進
- 水中部の漁港施設点検を効率的に行う新手法を提案
- 光学機器の適用性を検証するとともに活用方法を取りまとめ



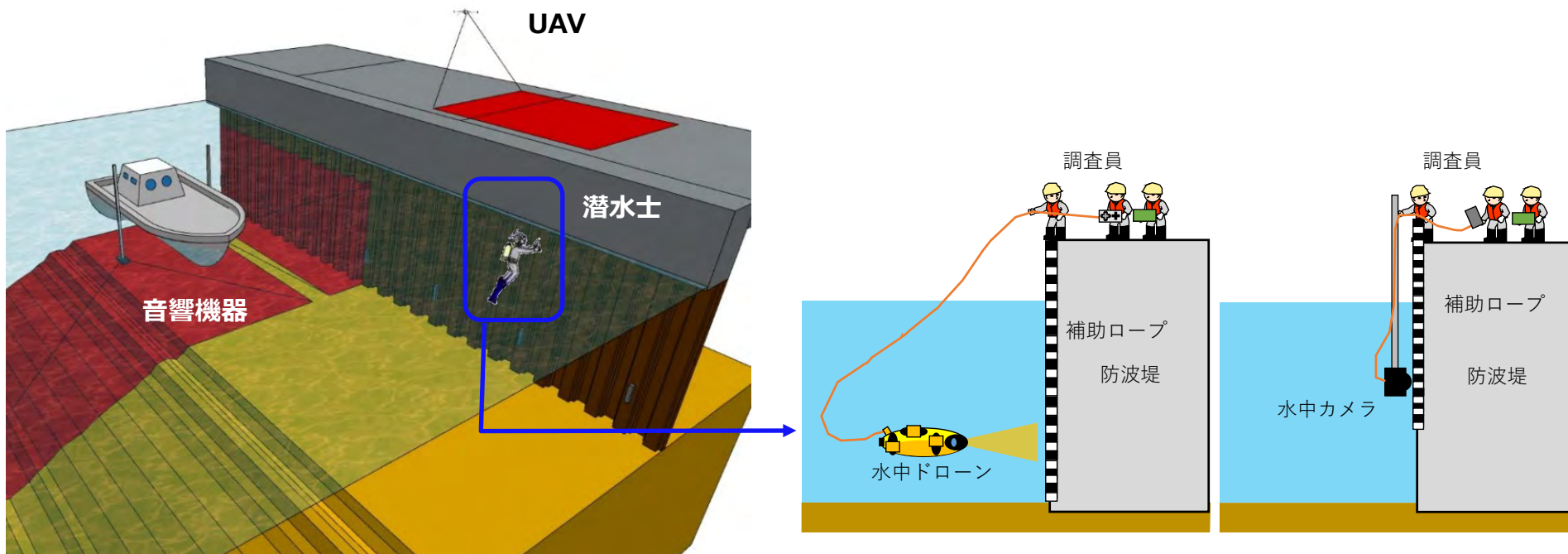
「光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き」を作成

2. 手引きの概要

【手引きで紹介している点検技術】

高性能化と一般普及化が進んできた光学機器を活用し、老朽化初期段階の小規模変状（ひび割れ、小規模欠損、開孔・発錆等）を含めて撮影画像による変状確認を行い、その判別精度や適用条件を検証

⇒汎用機器として「**水中ドローン**」、
漁港管理者が容易に点検できる機器として「**垂下式カメラ**」を選定



2. 手引きの概要

【検証で使用した光学機器（水中ドローン）】

最新型（廉価版）：（FIFISH V6s / V6 PLUS）

- ・ジャイロ+スラスタで水中姿勢制御
- ・流線形で操作性・動力性能が著しく向上

水中ドローン

仕様

QYSEA社製 FIFISH V6s



参考本体価格：40万

機体サイズ：383mm×331mm×143mm
空中重量：5kg(V6PLUS),3.9kg(V6)
最大速度：3ノット
駆動時間：6時間（バッテリー交換不可）
カメラ解像度：12MP、4K UHD
カメラ視野角：水平166°
ライト照度：6000ルーメン(V6 PLUS)
4000ルーメン(V6s)

FIFISH V6 PLUS



参考本体価格：150万

[FIFISH V6 PLUS 独自機能]

- ・ソナー（前方、下方）、距離ロック
- ・レーザースケーラー
- ・ARスケーリング機能

オプション機能：

- ・測位システム（U-QPS）
- ・デュアルカメラ（Qカメラ）

従来型（BlueROV 2）

- ・浮力体と錘で姿勢制御
- ・箱型が多く水の抵抗が大きい
→操作・取扱いに習熟が必要

BlueRobotics社製 BlueROV2



参考本体価格：150万

機体サイズ：
457mm × 338mm × 254mm
空中重量：10kg
最大速度：3ノット
駆動時間：4時間
（バッテリー交換可能）
カメラ解像度：2MP、1080p
カメラ視野角：水平110°
ライト照度：6000ルーメン
GoPro等外付け可能

2. 手引きの概要

【検証で使用した光学機器（垂下式カメラ）】

機器名	型式	仕様
水中カメラ  参考本体価格：5万	GoPro社製 GoPro HERO7	寸法：62.3mm × 44.9mm × 33mm 空中重量：116g カメラ解像度：12MP、4K UHD カメラ視野角：水平122.6°

伸縮ポール型

ロープ型



(1) 手引きの構成

手引きの目次構成

第1章 概要（位置づけ・用語説明等）

第2章 水中部点検に適用可能な新技術

第3章 光学機器の適用条件

第4章 光学機器の活用範囲と点検手法

第5章 行政手続き

※赤字＝本発表で紹介する内容

(2) 活用範囲

【安定的な撮影が可能な環境条件の参考値（室内試験の結果）】

- 潜水土による目視調査と**同等**の点検が可能
- 安定的な撮影が可能な環境条件も潜水作業と比べて**遜色がない**

⇒ 水中ドローンは、定期点検における潜水目視調査（変状の規模計測等）や臨時点検後に実施される場合の水中部調査（被災状況の把握等）において**有効**

環境条件	測定項目	機体形状	
		流線形 (FIFISH)	矩形 (BlueROV)
波浪	波高 (cm)	14 ※造波限界まで確認	14未満
	周期 (sec)	1以上	1以上
流速	流速 (m/s)	0.5以下	0.3以下

環境条件	変状	動画画質	
		4K (FIFISH)	1080P (BlueROV)
濁度 (度)	欠損・開孔5×5cm	12以下	9以下
	ひび割れ3mm	7以下	4以下
	被度0.3%	5.5以下	5.5以下

※FIFISH：V6s及びV6PLUS

最新型（FIFISH）



従来型（BlueROV 2）



(2) 活用範囲

【各点検における光学機器の考え方①】

点検	従来手法		水中ドローン／垂下式カメラ	
定期点検	潜水土による目視	簡易	老朽化状況の概観把握	水中ドローン
		詳細	老朽化箇所の規模の計測	水中ドローン
日常点検	水中部の調査は必須とされていない		潮間帯の老朽化箇所の把握	垂下式カメラ
臨時点検	臨時点検の結果を踏まえ、潜水目視調査が実施される事もある		被災状況の概観把握	水中ドローン

※日常点検（陸上目視）において垂下式カメラや水中ドローンを付加的に使用することで、水際線の状況把握を行うことが可能であるが、より簡易且つ安価な垂下式カメラを基本とした。

【参考】

機能保全計画を策定した水産基盤施設においては以下の点検を行う。

- 定期点検：現行の機能保全計画書の見直しを目的とし、10年（標準間隔）に1回実施
- 日常点検：老朽化の進行確認、新たな老朽化の進行箇所の発見を目的とし、概ね1年に1回以上実施
- 臨時点検：高波浪、地震、船舶の衝突等が発生した場合、施設の変状の有無の把握を目的とし、事案発生後可能な限り速やかに実施

【各点検における光学機器の考え方②】

(水中ドローン)

- ・現地作業時間の短縮（省力化）
- ・点検費用の削減（効率化）
- ・撮影動画に基づく老朽化度判定や変状図作成（高度化）
- ・変状図以外の周辺情報の記録（高度化）

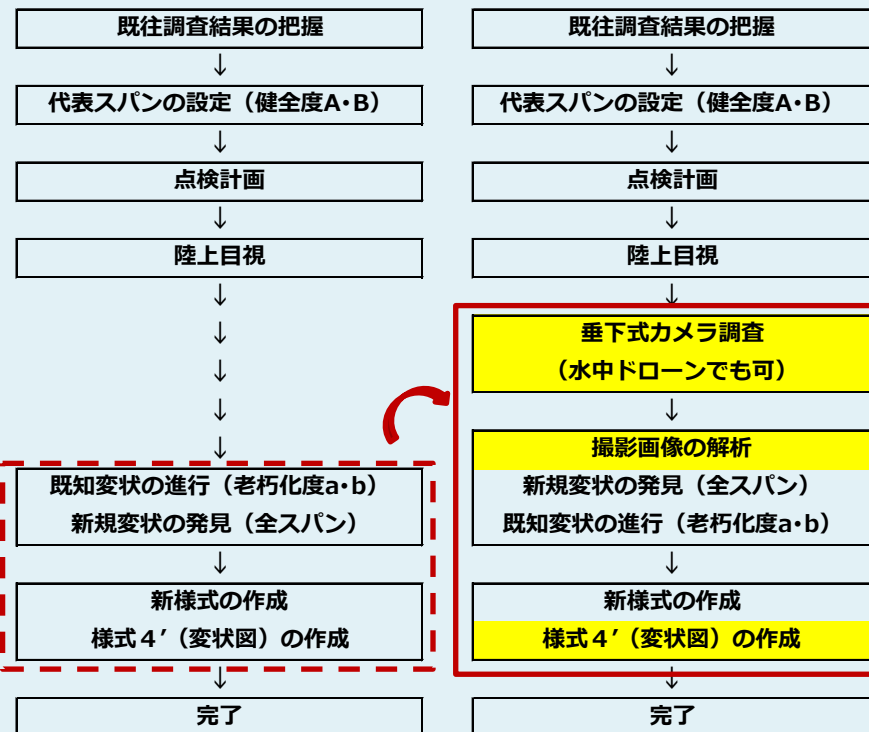
(垂下式カメラ)

- ・潮間帯の追加調査（高度化）
- ・撮影動画に基づく変状図作成（高度化）

【従来技術】



【従来技術】



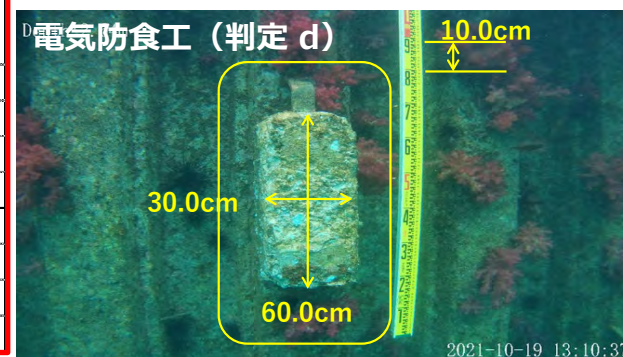
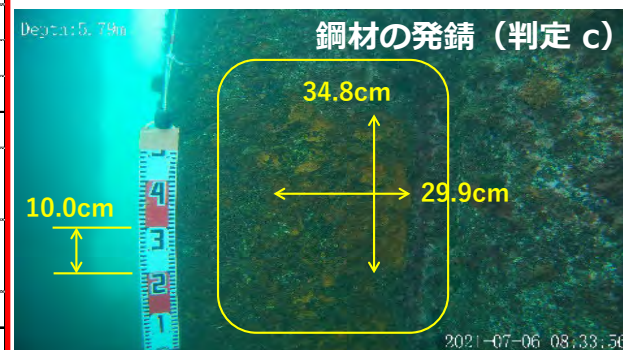
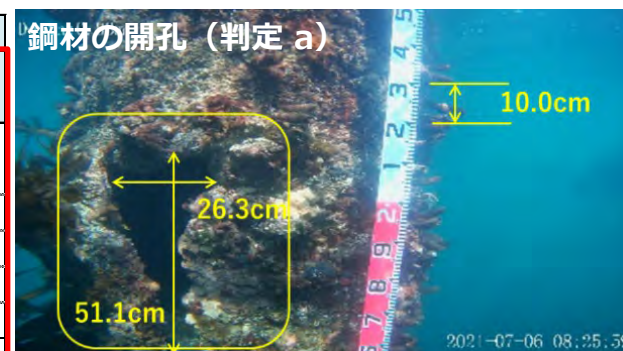
※黄色マーカー：効果が期待される作業

(2) 活用範囲

【老朽化度の評価基準と光学機器の適用性（例：鋼材）】

■ 潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準に対して、**ほとんどすべての項目で光学機器が適用可能**

潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準			適用性			
調査項目		老朽化度の評価基準	潜水目視		音響機器	光学機器
			詳細潜水	簡易潜水		
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	○			○
	被覆防食（塗装）	d 発錆、開孔、損傷は見られない	○			○
		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 -	-			-
被覆工	移動散乱	d 欠落等の異常なし	○			○
		a 被覆工の散乱かつ捨石材の流出	○	○	○	○
		b 被覆工の移動、散乱	○	○	○	○
		c -	-			-
		d 老朽化なし	○			○



(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

【①点検計画】

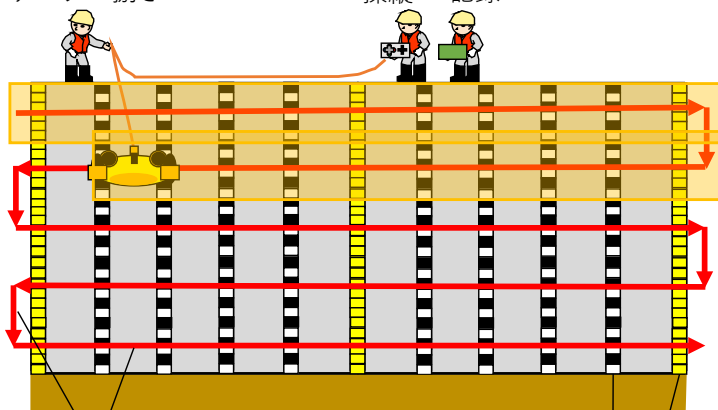
■ 下記に示す要領を参考とし、点検計画を立案

調査対象スパン (1～2スパン)

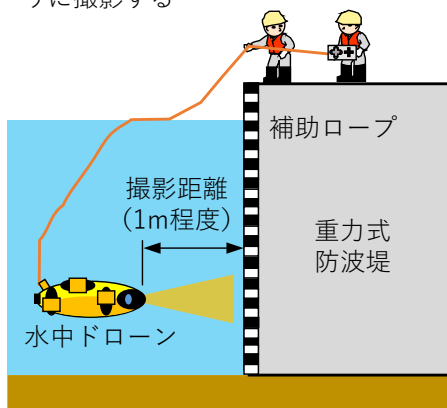
ケーブル捌き

操縦

記録



水中ドローンの撮影コース (横方向撮影時)
※未測が生じないように撮影範囲が重なるように撮影する



補助ロープ

重力式防波堤

補助ロープ
※1～2m程の間隔で設置するとよい
※10～20cm単位で目印を入れるとよい
※スパン境界は異なる色のロープがよい

【人員構成】

- ・ 操作1名、ケーブル捌き1名、記録1名の3名体制で計画

【調査対象スパン】

- ・ 1～2スパン毎に計画
- ※操作者は画面に注視しているため、移動がないように計画

【対象施設からの撮影距離と撮影方向】

■ 撮影距離

- ・ 点検の精度と効率を両立する観点から「1m」を基本
- ・ 現地における環境条件（濁度等）に応じて0.5m～2mの範囲で調整

■ 撮影方向

- ・ 現地における環境条件（水深、波浪、流速、障害物等）を踏まえて調整
- ・ 重力式コンクリート等の平面的な構造物の場合は水深を固定して撮影する「横方向撮影」が容易
- ・ 構造物の凹凸形状が目印になる矢板式等の場合は「縦方向撮影」のほうが容易

【安全対策】

- ・ 撮影前には海藻や漁網の有無を確認する工程を計画

(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

【②点検準備】

- 水中ドローンや垂下式カメラの準備とあわせて、以下の機材を準備し、操作性向上を図る。
 - ・ 日よけ傘もしくはタープ
 - ・ 変状規模を計測するスケール（箱尺や巻尺等）
 - ・ 目印付補助ロープ 等
- 目印補助ロープは、水中撮影を円滑に実施するための「操縦補助」であるとともに、取得した撮影動画から「変状位置の特定」、「変状規模計測の基準長としての利用」、「静止画像を切り出す際の目標物」とする等、後処理補助としても有効。

スケール（巻尺）の垂下状況



補助ロープの設置状況

(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

【③点検実施】

【水中ドローン】

■ 操作者

- ・ 面的撮影の場合、調査対象スパン全体を未測部が生じないようにくまなく撮影
- ・ スポット撮影の場合、既知の変状に対して意識的に多方向から撮影

■ ケーブル捌き者

- ・ 操作者に代わって調査対象スパン上を移動するとともに、起終点では操作者に合図を送る等、安全かつ円滑な撮影を補助

■ 記録者

- ・ 調査対象施設・スパンへの誘導、環境条件（濁度等）の観測指示、次の撮影内容の確認や撮影開始・終了時刻の記録



【垂下式カメラ】

■ 操作者

- ・ 安全に操作できるポールを使用し、垂下したスケールや目印付き補助ロープと同時に水際線を撮影

■ ケーブル捌き者

- ・ 操作者とともに移動し、安全かつ円滑な撮影を補助

■ 記録者

- ・ 水中ドローンと同様



(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

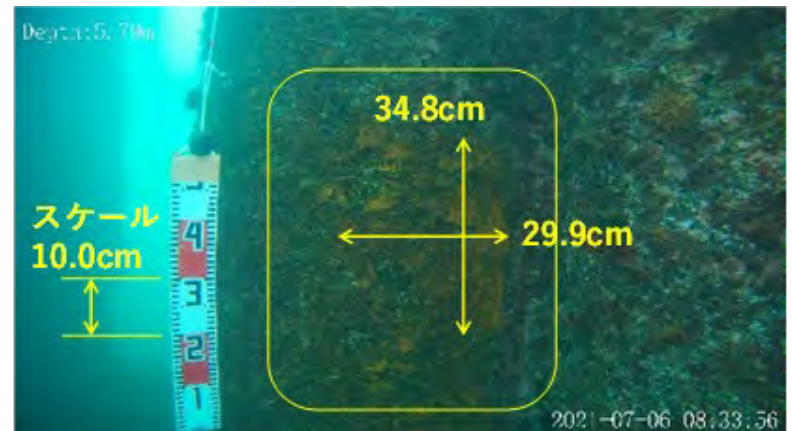
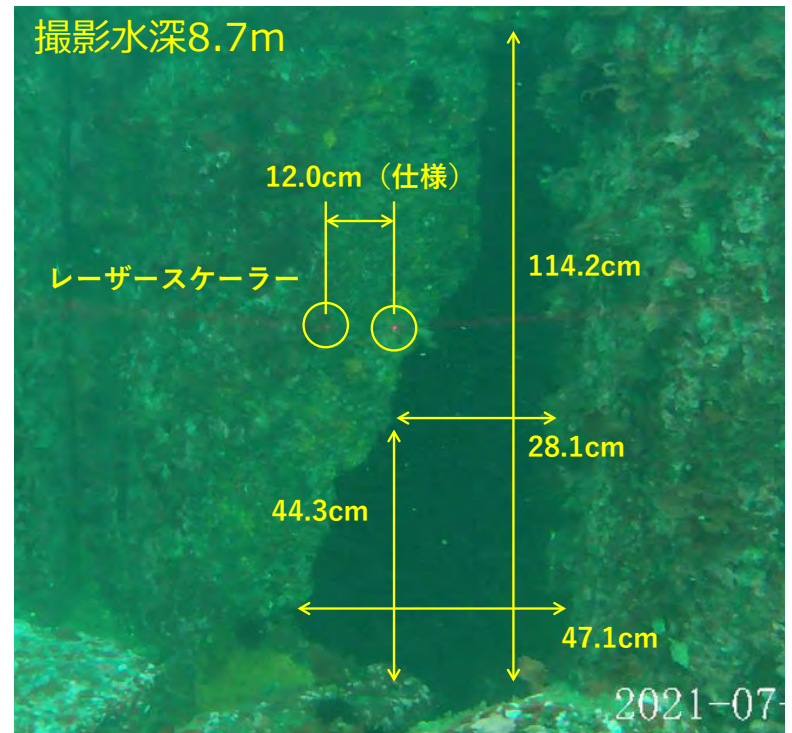
【④画像分析（整理）】

■変状の有無の確認

- 変状の有無は、面的撮影で取得した動画に基づき確認する。
- 変状を確認した場合、水深や位置、変状種類を記録するが、水深や位置の特定については、目印付き補助ロープや機種によって付属する水深計等の情報から行う。

■変状規模の計測

- 変状の規模は、スポット撮影で取得した静止画像や、面的撮影で取得した動画から切り出した静止画に基づき計測する。
- 変状規模の計測を行うためには、基準となる長さの映り込みが必要である。レーザースケーラーの機能がある機種の場合、その機能の活用が有効であるが、その機能がない機種の場合は変状近くに垂下したスケール（箱尺や巻き尺等）や目印付き補助ロープを基準長とする。
- 変状規模の計測は、描画ソフト等で基準長と変状規模のピクセル数を比較して行う。



(3) 点検手法

【光学機器を用いた点検実施フロー】

①点検計画

撮影時の環境条件等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影方向を計画



②点検準備

水中ドローンや垂下式カメラの準備に加え、必要に応じて目印付き補助ロープを設置



③点検実施

水中ドローンや垂下式カメラによる面的撮影やスポット撮影を実施



④画像分析（整理）

面的撮影による変状の有無確認
スポット撮影による変状の規模確認



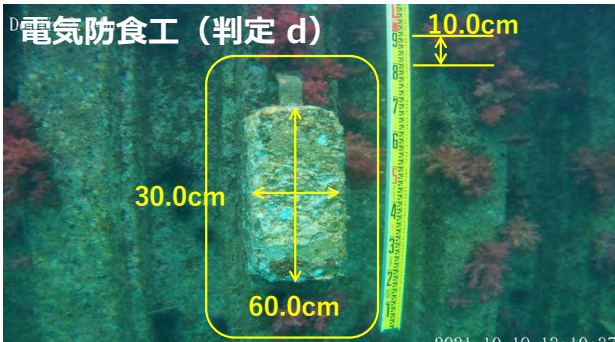
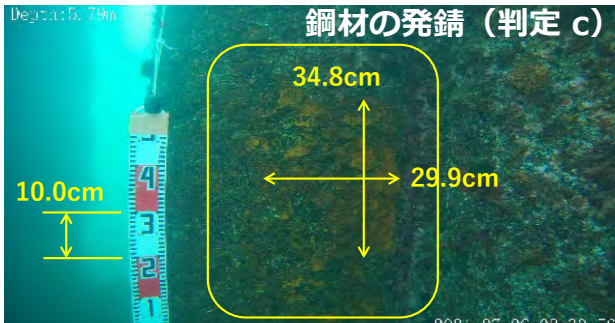
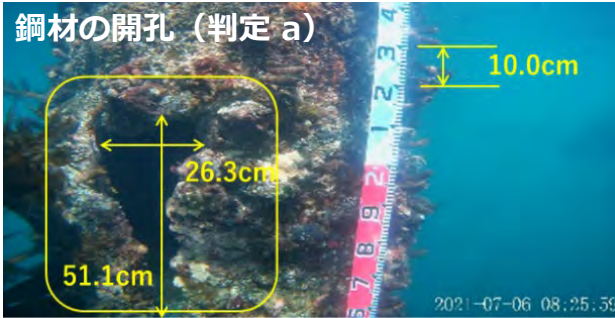
⑤機能診断

画像解析の結果に基づき、変状の老朽化度a～d、施設の健全度A～Dを判定

(3) 点検手法

【⑤機能診断】

■画像解析の結果と「老朽化度の評価基準（参考）」に基づき、機能診断を行う。



対象施設	調査項目	調査方法	老朽化度の評価基準	
矢板式護岸 (航路護岸 泊地護岸 区画施設)	鋼材の腐食、亀裂、 損傷(防食工を施し ている場合)	潜水調査 ・穴あきの有無 ・水面下の鋼材の腐食 ・表面の傷の状況 ・継手の腐食状況	a	腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。
			b	開孔箇所から裏理材が流出している兆候がある。
			c	L.W.L.付近に孔食がある。
			d	全体的に発錆がある。
	塗装の場合	潜水調査 ・欠陥面積率	a	部分的に発錆がある。
			b	付着物は見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない。
			c	欠陥面積率10%以上
			d	欠陥面積率0.3%以上10%未満
	被覆防食工 有機被覆、ベトン 用被覆、金属被覆 の場合	潜水調査 ・鋼材の腐食、露出 ・被覆材の損傷 ・保護カバー等の状態	a	欠陥面積率0.03%以上0.3%未満
			b	欠陥面積率0.03%未満
			c	鋼材が露出し、錆が発生している。
			d	被覆材に鋼材まで達するすり傷、あて傷、はがれ等の損傷が生じている。
被覆工	電気防食工	潜水調査 ・状況の確認（全数）	a	保護カバー等に欠損がある。
			b	被覆材に鋼材まで達していないすり傷、あて傷、はがれ等の損傷がある。
			c	保護カバー等に損傷がある。
			d	老朽化なし。
	移動、散乱	潜水調査 ・被覆工等の移動・散乱	a	老朽化なし。
			b	陽極の欠落又は全消耗。
			c	陽極取付の不具合。
			d	欠落等の異状なし。
			a	被覆工の散乱があり、かつ捨石材の流出が見られる。
			b	被覆工の移動、散乱がある。

対象施設	調査項目	調査方法	老朽化度の評価基準	
重力式 保船岸	コンクリートの劣 化、損傷 (RCの場合)	潜水調査 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋露出 ・老朽化の兆候	a	中詰材等が流出するような穴開き、ひび割れ、欠損がある。
			b	複数方向に幅3mm程度のひび割れがある。
			c	広範囲に亘り鉄筋が露出している。
			d	一方に幅3mm程度のひび割れがある。
	コンクリートの劣 化、損傷 (無筋の場合)	潜水調査 ・ひび割れ、剥離、損 傷、欠損 ・老朽化の兆候	a	局所的に鉄筋が露出している。
			b	老朽化なし。
			c	性能に影響を及ぼす程度の欠損がある。
			d	幅1cm以上のひび割れがある。
			a	小規模な欠損がある。
			b	幅1cm未満のひび割れがある。

資料：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
巻末資料2 潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準（参考）

(4) データの結合作業

【結合された画像の特徴と利活用】

- 光学機器で取得した動画データから画像処理ソフトを用いて、撮影範囲全体を1つの画像に結合可能（面的撮影の場合に有効）。
- 画像を結合することにより、以下のような機能が得られる。
 - ・ 施設全体の概況等、潜水土が目視していたすべての情報を一枚の画像として保存できる。
 - ・ 拡大・縮小機能を用いて俯瞰的・局所的な状態把握が容易となる。
 - ・ 音響機器で取得した点群データよりも、視覚的に把握しやすい。
 - ・ 変状図と同様、機能保全計画の参考情報として有益なものとなる。
 - ・ 結合した画像は、変状図で記録した変状の周囲の状況を把握することができるため、変状図と併用して利活用することが望ましい。

鋼管杭構造

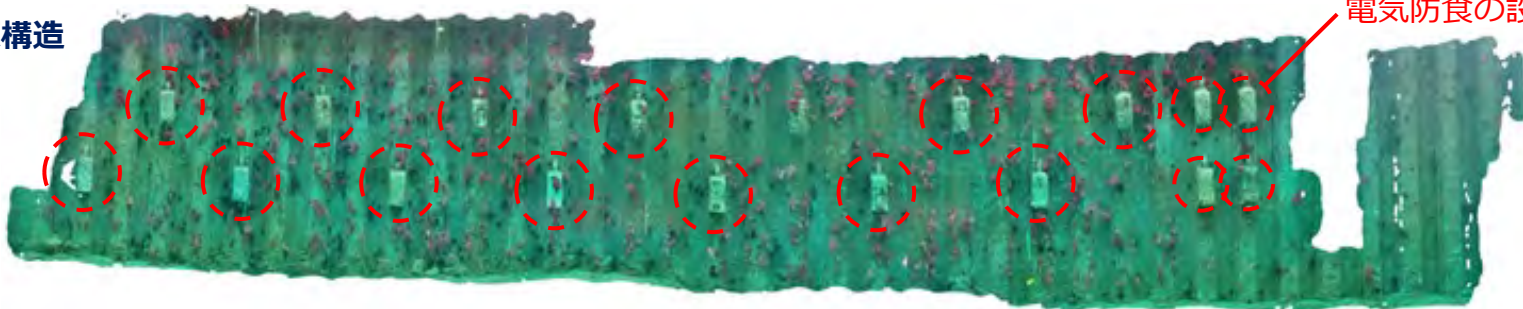


開孔部の状況

【留意点】

- 面的撮影で取得した動画から切り出した静止画には正確な位置情報が付与されておらず、かつ、カメラキャリブレーションを行っていない場合もあることから、「ゆがみ」があることに留意する。
- 水中ドローンの姿勢が乱れやすい起終点や水表面、海底近くでは、結合が十分に行えず、空白として処理される場合があるため、目標とする撮影範囲を超えた範囲で撮影することが望ましい。

矢板構造



電気防食の設置状況

まとめ

- 👉 水中部の漁港施設点検を効率的に行う新手法として「水中ドローン」、「垂下式カメラ」の活用方法を紹介
- 👉 これらの機器は近年、性能が向上しており、従来の潜水目視による調査方法と同等の成果が得られ、現場作業時間の短縮、客観的な老朽化度の判断が可能
- 👉 画像処理ソフトと組み合わせることで撮影範囲全体を1つの画像として保存することができ、視覚効果の高い成果を作成可能

3. おわりに

■ 厳しい財政状況や技術者の不足といった制約のなかで、今後の社会インフラの老朽化に適切に対処していくためには、インフラの効率的な維持管理を可能とする新技術の開発・活用を進めていくことが重要

■ 水産庁では本稿で紹介した光学機器の他に無人航空機（UAV）やセンシング技術（水中3Dスキャナー、ナローマルチビーム）等を活用した手引きを公表しているため、ぜひこれらの手引きを活用して今後の点検・診断調査に役立ててもらいたい

 キーワードから探す 水産庁 指針・ガイドライン等

検索

https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/

〈水産基盤施設の維持管理に関する基準類〉

◆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5月改訂）

◆水産基盤施設機能保全計画策定の手引き（平成27年5月改訂）

◆水産基盤施設の維持管理点検マニュアル（令和2年9月策定）

◆水産基盤施設の点検における新技術活用指針（令和4年3月改訂）

◆無人航空機（UAV）を活用した水産基盤施設の点検の手引き
（平成31年3月策定）

◆センシング技術を活用した漁港施設点検の手引き
～水中3Dスキャナーとナローマルチビームの活用～（令和3年3月策定）

◆光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き
～水中ドローンと垂下式カメラの活用～（令和4年3月策定）

◆漁港施設における固有振動及び透過弾性波を用いた基礎部と堤体内部欠陥の診断手法適用マニュアル（案）（令和3年10月策定）

◆漁港施設における機械インピーダンス法を用いた
コンクリート強度推定運用マニュアル（案）（平成28年4月策定）※

◆漁港施設における表面P波法による
簡易機能（老朽化）診断手法適用マニュアル（案）（平成28年4月策定）※

※機械インピーダンス法及び表面P波法は水産技術研究所HPに掲載