

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

水産庁漁港漁場整備部整備課

# 目次

1	本書の概要 .....	1
1.1	目的 .....	1
1.2	本書の構成 .....	2
1.3	手引きの記載の仕方 .....	3
1.4	位置づけ .....	4
1.5	用語の解説定義 .....	5
2	水産基盤施設における光学機器の活用 .....	6
3	光学機器の適用条件 .....	7
3.1	対象施設 .....	7
3.2	対象とする変状 .....	8
3.3	使用機器の選定 .....	10
4	点検種類ごとの活用範囲と点検手法 .....	13
4.1	活用範囲 .....	13
4.2	点検手法 .....	18
4.3	データの結合作業 .....	27
5	行政手続き .....	32

# 1 本書の概要

## 1.1 目的

本書は、水産基盤施設の水中点検を安全で効率的に実施するため、施設管理者及び点検実施者が水中ドローンや垂下式カメラ等の光学機器を用いて、水中部の点検を行うにあたっての適用条件、活用範囲、点検手法などをまとめたものである。

### 【解説】

水中ドローンは、水中に潜水・潜航して自由に移動しながら撮影などの作業ができる水中ロボットの一種であり、小型のカメラを搭載した ROV (Remotely Operated Vehicle) の一部に定義づけられる。近年は我が国において産業利活用が進み、潜水士による目視点検業務の代替、潜水作業が困難な場面での活用、潜水士作業と比較してコストの削減、取得データの高度利用などのメリットが注目されている。

また、垂下式カメラは、耐圧防水ハウジングを装備した小型カメラを伸縮ポールで水中に垂下する簡易な水中撮影手法である。近年、バッテリーやメモリの性能向上、防水・防塵機能や撮影ソフトの発展により、長時間・高画質の撮影が可能となっている。

本書は、水産基盤施設の水中点検を安全で効率的に実施するため、施設管理者及び点検実施者が小型化・高機能化・低価格化が進んでいる水中ドローンや垂下式カメラを用いて、水産基盤施設の水中点検に活用するにあたっての、対象とする施設等の適用条件、定期点検・日常点検・臨時点検における活用範囲、老朽化度の評価基準を満足する効率的な点検手法などをまとめたものである。

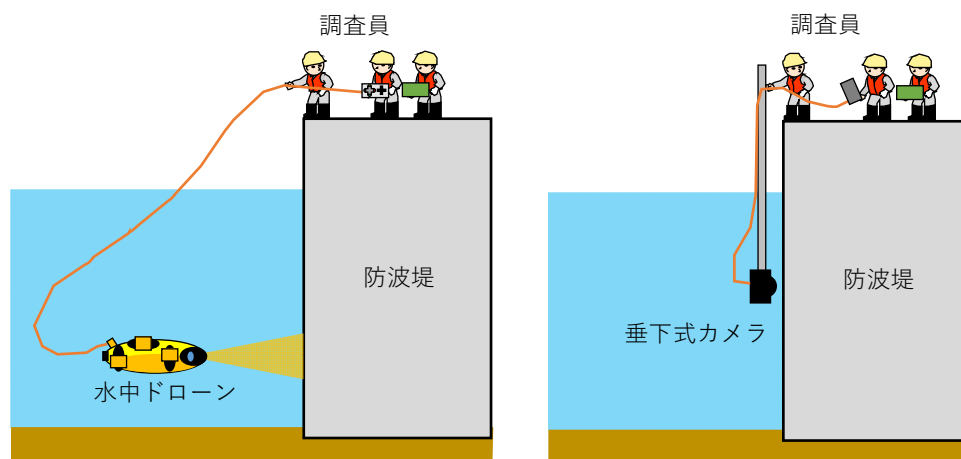


図 1-1 光学機器を用いた水中点検の概念図

## 1.2 本書の構成

本書の構成は、以下に示すとおりである。

**表 1-1 本書の構成**

章	頁	内 容
第1章	1	概要（構成・対象者・用語説明など）
第2章	6	水産基盤施設における光学機器の活用
第3章	7	水中ドローン・垂下式カメラの適用条件
第4章	13	水中ドローン・垂下式カメラの活用範囲と点検手法
第5章	32	行政手続き

### 1.3 手引きの記載の仕方

本書は「基本的考え方」、「解説」、「参考情報」を以下の記述方法で記載する。

<b>【基本的考え方】</b>
-----------------

各章の冒頭に基本的考え方を整理
-----------------

**【解説】**

基本的考え方を文章、図表、写真などで解説

--- **【参考情報】** -----

・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠組み

-----

## 1.4 位置づけ

本書は、水産基盤施設ストックマネジメントのための光学機器を用いた水中心点検の活用に適用する。陸上目視が標準となっている日常点検においても、必要に応じて水際線の施設点検を簡易に行うことが可能である。

### 【解説】

水産庁インフラ長寿命化計画（行動計画）において、「技術の開発状況と導入実態を踏まえて、新技術の採用が速やかに進むように、従来の点検方法が新技術により代替可能であるものについては、その適用性を検証しつつ基準・マニュアル等に反映していく必要がある。」とされており、水中心点検における新技術の普及を目指すものである。

また、水産基盤施設ストックマネジメントにおける機能診断は、簡易調査（重点項目）や詳細調査等を実施して、調査結果に基づく部材の老朽化度及び施設の健全度の評価を行うフローとなっていることから、本書では簡易調査（重点項目）や詳細調査に係る部分を取り扱うものである。加えて、陸上目視が標準となっている日常点検の簡易調査（簡易項目）についても、本書にある新技術を水際線において活用することで、これまでよりもきめ細かい調査を簡易に実施することができ、機能診断の精度向上が期待される。

**表 1-2 水中心の点検診断における現状・課題と光学機器活用による解決方策**

水中心の点検診断における現状（潜水目視調査）と課題		光学機器による対応策	
点検精度	・目視困難な海象条件（濁り、波浪）	・濁りの影響は潜水目視調査と同程度であるが、安全に点検・診断が可能	
	・局所的な変状の把握は可能 ・大規模な変状全体を俯瞰することが困難 ・連続的・空間的な変状把握が困難	水中ドローン ・連続的に取得して結合した画像により変状全体を俯瞰することが可能	垂下式カメラ ・水際線に限定されるが、局所的な変状の把握は可能
点検記録の有効活用	・寸法計測によるスケッチは、潜水士の技量に左右	・客観的な画像データとして、設計・施工に活用可能 ・災害発生時の初期データとして有効利用可能	
安全性・作業環境	・水中の厳しい作業条件（潜水事故、潜水病）	・潜水作業を伴わない陸上・海上作業により危険作業を低減	
	・高齢化による潜水士の減少	・省人化が可能 ・特殊技能は不要	
生産性向上・点検費用	・潜水目視調査の作業効率は1,200 m <sup>2</sup> /日（計測面積）	・ケレンが不要な場合等、適用条件下であれば、詳細潜水目視調査の代替手法としての活用により、潜水目視調査費用を低減 ・作業効率1,800 m <sup>2</sup> /日（計測面積）	

## 1.5 用語の解説定義

本書の記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

表 1-3 用語の解説

用語	解説
老朽化	経年変化等の要因で発生した「移動」、「沈下」、「劣化」や「損傷」により施設や部材の性能が低下すること。
老朽化度	部材の性能低下の程度を示す指標。なお、本書では、a、b、c、dの4段階で評価することを基本とする。
潜水目視調査	簡易潜水目視調査と詳細潜水目視調査の総称。
簡易潜水目視調査	構造物の状況を概略的に確認する潜水目視調査。評価基準に基づく老朽化度判定（a・b判定に相当する変状の確認）を行うと同時に、詳細潜水目視調査が必要な箇所の抽出も行う。
詳細潜水目視調査	スケール等の計測機器を用いて老朽化要因の特定等の調査を行う潜水目視調査。
水中ドローン	水深数十メートルまでの比較的浅い水域において、機体とコントローラーをケーブルで接続して遠隔操縦できる小型の無人潜水艇。
垂下式カメラ	陸上から防水小型カメラをポールで水中に垂下して撮影できる機材一式。なお、本書では、5 mの伸縮ポール先端に小型防水カメラを簡易に固定し、陸上から有線でリアルタイムに動画を確認できる形式のものを指す。
面的撮影	既知の変状情報は意識せず、垂直または水平方向に移動しながら施設全体をくまなく撮影すること。
スポット撮影	予め位置を把握している既知の変状を撮影すること。取得する画像から変状規模を計測するため、基準となるスケール等を同時に映り込ませる。

## 2 水産基盤施設における光学機器の活用

水中部の水産基盤施設において適用可能な新技術として、水中ドローンや垂下式カメラ等の光学機器の活用についてとりまとめている。

### 【解説】

水産基盤施設における老朽化度の評価にあたって、適用可能と考えられる新技術を表 2-1 に示す。水中部の水産基盤施設に適用可能な新技術として、水中ドローンや垂下式カメラ等の光学機器以外に、ナローマルチビームや水中 3D スキャナー等の音響機器、レーザー、固有振動を挙げることができる。

本書は、これら水中ドローンや垂下式カメラを用いた水産基盤施設での活用についてとりまとめたものである。

表 2-1 水産基盤施設（水中部）において適用可能な新技術

項目	概要	適用範囲	利点	欠点	
光学機器	水中ドローン	・陸上または船上から水中ドローンを操作して動画または静止画を取得	・濁度、波浪、潮流の影響が小さい環境下において適用	・音響機器と比べると準備が容易で、操作も容易 ・潜水土と比べると撮影速度は速い	・位置把握のため補助装置が必要な場合がある ・濁度や潮流の影響を受ける
	垂下式カメラ	・水中カメラを陸上から垂下して直接撮影を行う	・水際線での使用に限定される	・陸上から簡易に撮影できる ・安価	・大規模な範囲や大水深には適さない ・潮流の影響を受けやすい
音響機器	ナローマルチビーム ・水中 3D スキャナー	・水面から水深 400m まで計測可能（機械の性能による）	・音波による計測のため水中の濁りや暗部の影響がない	・コンクリートのひび割れ・欠損、鋼材の発錆、変色は判別困難	
レーザー	グリーンレーザー	・透明度の 1.5～2 倍の水深まで計測可能	・広範囲かつ水陸シームレスな 3 次元点群データを取得可能	・濁度や砕波（白泡）の影響を受ける ・音響機器よりも精度は低い	
固有振動	固有振動法	・コンクリート構造物の防波堤の基礎部欠陥に適用	・陸上部から短時間で水中部の欠陥の有無が検査できる ・1 スパン当たりの計測時間は概ね 3 分程度	・振動を計測するため、外的要因（降雨、波浪等）の影響を受けやすい	
参考	潜水作業	・水深 0～30m 程度（適切な機材が必要）	・目視結果をそのまま成果として採用できる ・詳細な計測が可能	・潜水土によって調査精度にばらつきが生じる	

※   は本書に掲載した新技術。

### 3 光学機器の適用条件

#### 3.1 対象施設

本書で対象とする施設は、漁港施設の外郭施設・係留施設と、これに類する漁場施設の一部とする。

#### 【解説】

水中ドローンおよび垂下式カメラによる水産基盤施設の水中部の点検診断は、表 3-1 を対象とする。施設の構造形式ごとに定期点検、日常点検、臨時点検の適用を、表 3-2 に整理している。検証した施設については、すべて同じ結果となっている。

**表 3-1 水中ドローンおよび垂下式カメラの活用が有効な対象施設と適用性の例**

対象施設		水中ドローンおよび垂下式カメラ
係留施設	岸壁、物揚場等	水中部の老朽化箇所若しくは被災箇所を俯瞰的および局所的に調査することができる。
外郭施設	防波堤、護岸等	水中部の老朽化箇所若しくは被災箇所を俯瞰的および局所的に調査することができる。 また、消波施設のような潜水士の接近が危険な箇所での点検が可能となる。
増殖場	消波施設等	
養殖場	消波施設等	

**表 3-2 水中ドローン・垂下式カメラの対象施設**

対象施設	定期点検		日常点検	臨時点検	
	簡易調査 (重点項目) 陸上海上目視 ※水際線含む	詳細調査		簡易調査 (簡易項目) 陸上目視 ※臨時点検後の水中調査含む	
		簡易潜水	詳細潜水		
	垂下式カメラ (水中ドローンも可)	水中ドローン	水中ドローン	垂下式カメラ (水中ドローンも可)	水中ドローン
重力式防波堤	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
矢板または杭式防波堤	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
浮防波堤	-	-	-	-	-
重力式護岸	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
矢板式護岸	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
重力式係船岸	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
矢板式係船岸	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
栈橋式係船岸	-	-	-	-	-
浮体式係船岸	-	-	-	-	-
船揚場	-	-	-	-	-

◎：新技術で点検可能、○：新技術で概ね点検可能、-：未検証

※垂下式カメラによる水際線の点検は、水中ドローンでも代替可能であるが、垂下式カメラの方が簡易かつ安価である。

※水中ドローンによる点検は、対象範囲が狭く水深が浅い場合には、垂下式カメラでも代替可能である。

※臨時点検では日常点検に準じた陸上目視を行うが、本書ではその後必要となる場合がある水中点検の項目までを含む。

### 3.2 対象とする変状

対象とする変状は、水中部（水際線を含む）におけるコンクリートのひび割れ・欠損、鋼材の発錆・孔食、被覆防食工や電気防食工の欠陥、被覆工および消波工の移動・散乱等とする。

#### 【解説】

水中ドローンおよび垂下式カメラによる水産基盤施設の老朽化点検・診断は、潜水士が水中部で目視するのと同等の取得動画により実施できることから、構造物の状況を概略的に確認する簡易潜水目視調査や、スケール等計測機器を用いて老朽化要因の特定等の調査を行う詳細潜水目視調査において活用することが有効である。ただし、付着物や堆積土砂がある場合、表面的な動画しか取得できないことから、活用には留意する必要がある。

本書では、「水産基盤施設機能保全計画策定の手引き/H27.5」の判断基準のうち、コンクリートのひび割れ・欠損、鋼材の発錆・孔食、被覆防食工および電気防食工の欠陥、被覆工および消波工の移動・散乱等を対象とする。

表 3-3 水中ドローンおよび垂下式カメラによる老朽化度判定の適用性

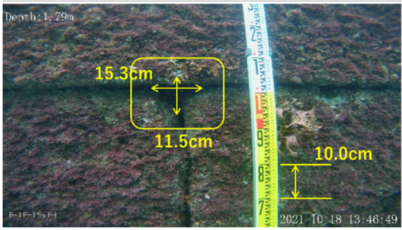
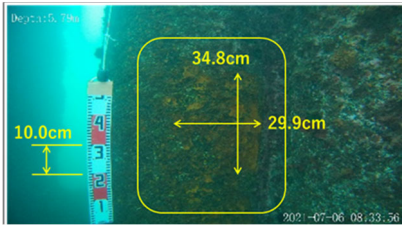
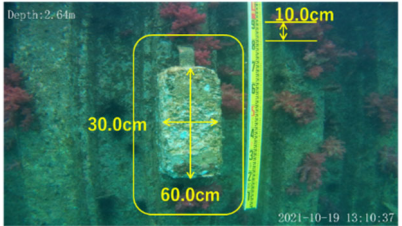
構造	適用可能な判断基準	備考（判定例）
重力式	<p>【本体工（コンクリートの損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。</li> </ul> <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。</li> </ul>	<p>小規模の欠損（判定 b）</p>  <p>部分的な発錆（判定 c）</p>  <p>電気防食異常なし（判定 d）</p> 
矢板式 又は 杭式	<p>【矢板・杭式（鋼材の損傷）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。</li> </ul> <p>【被覆防食工（塗装、被覆）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。</li> </ul> <p>【電気防食工（陽極）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。ただし、「b」の内、ボルトのゆるみは判定不可。</li> </ul> <p>【被覆工（移動・散乱）】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「a」～「d」すべて判別可能。</li> </ul>	

表 3-4 水中ドローンおよび垂下式カメラの適用範囲（調査項目）

調査項目		定期点検		日常点検	臨時点検	
		簡易調査 (重点項目) 陸上海上目視 ※水際線含む	詳細調査		簡易調査 (簡易項目) 陸上目視 ※水際線含む	簡易調査 (簡易項目) 陸上目視 ※臨時点検後の 水中調査含む
			簡易潜水	詳細潜水		
		垂下式カメラ (水中ドローンも可)	水中ドローン	水中ドローン	垂下式カメラ (水中ドローンも可)	水中ドローン
本體工	コンクリートの劣化、損傷	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
	鋼材の亀裂、損傷 ※腐食は点検不可	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
	被覆防食工	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
	電気防食工	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
被覆工	移動、散乱	/	◎	◎	/	◎
消波工	移動、散乱、沈下	○水際線	◎	◎	○水際線	◎
	損傷、亀裂	○水際線	◎	◎	○水際線	◎

◎：新技術で点検可能、○：新技術で概ね点検可能、/：対象外、-未検証

※垂下式カメラによる水際線の点検は、水中ドローンでも代替可能であるが、垂下式カメラの方が簡易かつ安価である。

※水中ドローンによる点検は、対象範囲が狭く水深が浅い場合には、垂下式カメラでも代替可能である。

※臨時点検では日常点検に準じた陸上目視を行うが、本書ではその後必要となる場合がある水中点検の項目までを含む。

### 3.3 使用機器の選定

使用する水中ドローンは、操作性、水中での航行の安定性、撮影機能、経済性の観点から適切なものを選定する。垂下式カメラは、十分な防水機能、有効画素数を有したカメラを水面下で撮影できるものを選定する。

#### 【解説】

水産基盤施設の老朽化点検・診断の使用に適した機器の推奨仕様を表 3-5、

表 3-6 に示す。これらの仕様を参考に、適切なものを選定する。本書では、当該仕様を満たす機器を用いることを前提としているが、現場条件や点検内容によっては当該仕様を必ずしも満たす必要はなく、例えばフロートと錘で浮力調整するものでも施設点検は可能である。

将来的には、水中測位や自動航行等の機能を搭載した水中ドローンの普及により、経済的にも性能の向上が期待される。

垂下式カメラは、伸縮ポール等にカメラを取り付けたものを用いるが、自作などする場合はカメラが外れないように十分に注意するものとする。

表 3-5 水中ドローンの推奨仕様

		水中ドローンの推奨仕様
	サイズ	波浪や潮流の影響を受けにくい形状のもの
	重量	施設上での持ち運びに適した軽量のもの
	浮力調整	ジャイロやスラスタ等により自動制御できるもの
	最大速度	2ノット以上（約 1.0m/s 以上）
	最大深度	20m程度（防波堤等の最大水深以上）
	有効画素数	1200 万画素以上
	動画画質	1080P 以上（画像を結合する場合は 4K 以上推奨）
操作性	水中測位	— （水中ドローンの水中測位機能はまだ一般的ではないため、目印付き補助ロープ等で位置を把握する。なお、必要に応じて水深計機能を求めることとする。）
	姿勢制御	ジャイロやスラスタ等で機体を水平に保つ機能を有するもの。 （なお、必要に応じて、ソナーにより対象との距離を測定・固定する機能を求めることとする。）
	変状計測	— （スケール（箱尺等）や目印付き補助ロープを垂下させて計測する。なお、必要に応じてレーザースケイラー機能を求めることとする。）

**表 3-6 垂下式カメラの推奨仕様**

	垂下式カメラの推奨仕様
垂下方法	伸縮ポール等に固定したカメラを水中に垂下して撮影
最大水深	アーム長 5m程度（老朽化が進行しやすい潮間帯に届く延長）
有効画素数	1200 万画素以上
動画画質	1080 P 以上
補正機能	手振れや露出の自動補正

## 4 点検種類ごとの活用範囲と点検手法

### 4.1 活用範囲

水中ドローンおよび垂下式カメラの活用範囲は、潜水目視で行っている範囲を基本とする。ただし、点検箇所の濁度、波浪、潮流の条件を満たす必要がある。

#### 【解説】

点検目的・点検範囲に応じて水中ドローンか垂下式カメラを選択する。

水中ドローンは、施設全体の概観把握に有効（簡易潜水目視調査と同等）であるとともに、変状の規模計測にも有効（ケレンが伴わない詳細潜水目視調査と同等）であるため、定期点検や臨時点検における俯瞰的・局所的な状況把握に向いている。

垂下式カメラは、適用範囲が限定的であるが、水中ドローンと比べて簡易かつ安価な手法であり、潮間帯の鋼材腐食の進行状況を観察すること等で有効であるため、日常点検におけるスポット的な状況把握に向いている。この場合は、陸上目視と同時に実施することが想定される。

表 4-1 定期・日常・臨時点検における水中ドローンおよび垂下式カメラの考え方

点検種類	従来手法		水中ドローン／垂下式カメラ	
	定期点検	潜水土による目視調査	簡易潜水目視調査	老朽化状況の概観把握
詳細潜水目視調査			老朽化箇所の規模の計測	水中ドローン
日常点検	水中部の調査は実施していない		潮間帯の老朽化箇所の把握	垂下式カメラ (水中ドローン)
臨時点検	水中部の調査は実施していない (日常点検に準じて実施される)		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、より安価かつ簡易な垂下式カメラを基本とした。

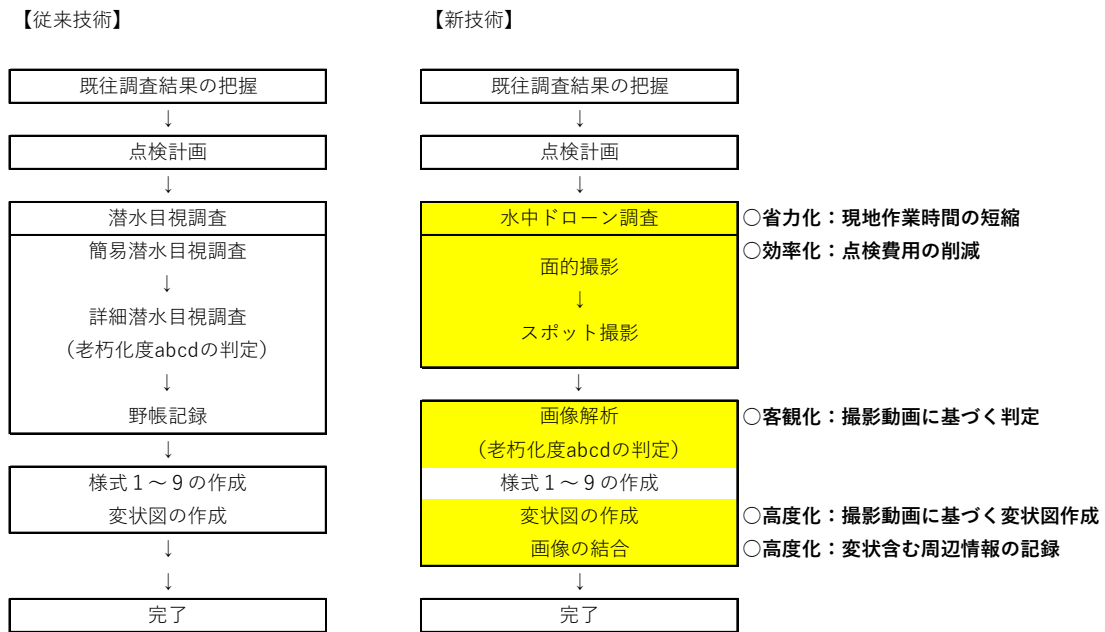


図 4-1 定期点検における光学機器の適用例

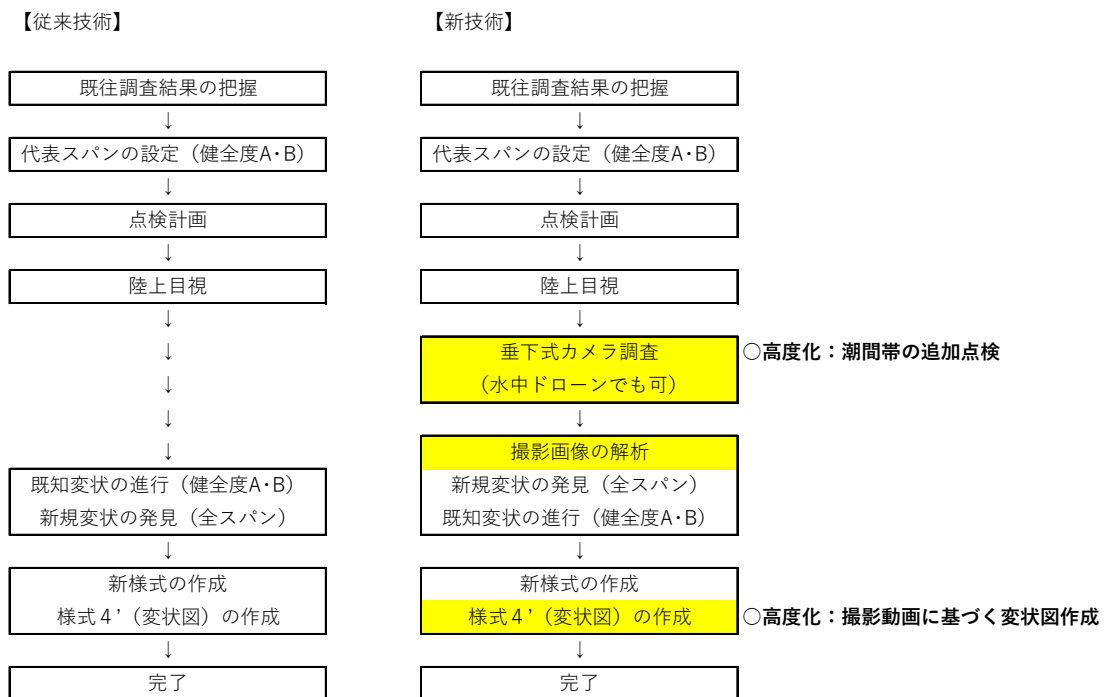


図 4-2 日常点検における光学機器の適用例

--- 【参考情報】 -----

【濁度と動画画質】

老朽化度評価が可能な濁度について、室内試験を行った結果を示す。

表 4-2 安定的な撮影が可能な濁度（撮影距離 1mの場合）

		動画画質	
		4K	1080P
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

※室内試験で確認できた限界値である。屋外では濁度が変化し、光や浮遊物の影響を受ける場合もある。

【水中ドローンの運動性能】

水中ドローンの運動性能について、室内試験を行った結果を示す。

表 4-3 安定的な撮影が可能な波浪・潮流（最大速度 3ノットの機種の場合）

		機体形状	
		流線形	矩形
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
潮流	流速 (m/sec)	0.5 以下	0.3 以下

※室内試験で確認できた限界値である。屋外では波浪や流速が変化する場合もある。

※波浪や流速の影響を受ける機種特性は形状だけでなく、オプション装置の着脱状態等にもよる。

※機体形状の「流線形」は FIFISHV6PLUS、V6s、「矩形」は BlueROV の検証結果。

適切な機能診断・老朽化度評価を行うためには「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」を満足する必要がある。

評価基準のうち、光学機器が適用可能な点検項目を表 4-4、表 4-5 に示す。

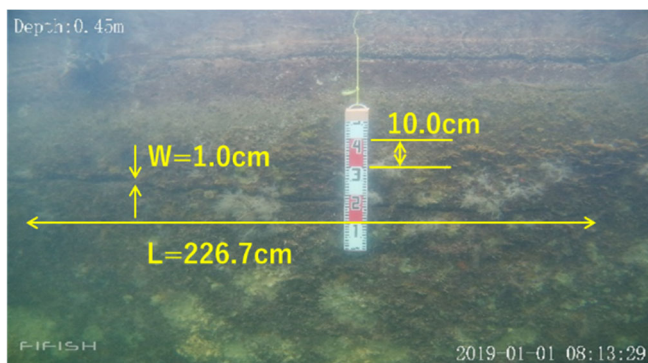
**表 4-4 重力式構造の判定基準と光学機器の適用性**

調査項目		老朽化度の評価基準		適用性		
				潜水目視		光学機器
				詳細潜水	簡易潜水	
本體工	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	○	△	○

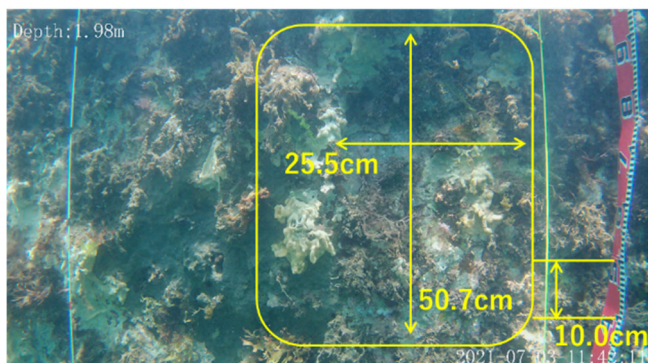
※簡易潜水目視調査：大規模な変状はサイズ計測・記録するが、小規模な変状やクラック、変色等は大まかな位置と状況のみ記録。

※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、潜水士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。



ひび割れ：判定 b



欠損：判定 b

**図 4-3 老朽化度の判定（ひび割れ・欠損）**

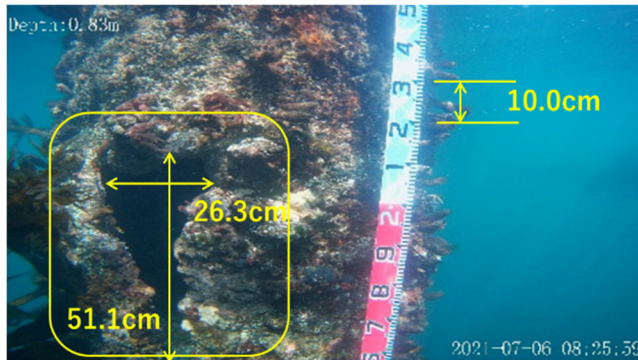
表 4-5 矢板・杭式構造の判定基準と光学機器の適用性

調査項目		老朽化度の評価基準		適用性		
				潜水目視		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	○	○	○
			部分的に発錆	○	△	○
	d	発錆、開孔、損傷は見られない（付着物はある）	○	△	○	
	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	○	△	○		
被覆工	移動散乱	a	被覆工の散乱かつ捨石材の流出	○	○	○
		b	被覆工の移動、散乱	○	○	○
		c	-	-	△	-
		d	老朽化なし	○	△	○

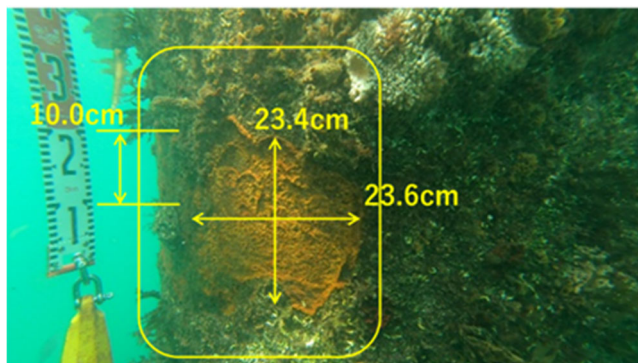
※簡易潜水目視調査：大規模な変状はサイズ計測・記録するが、小規模な変状やクラック、変色等は大まかな位置と状況のみ記録。

※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、潜水士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。



開孔：判定 a



発錆：判定 c

図 4-4 老朽化度の判定（開孔・発錆）

## 4.2 点検手法

点検計画に基づき、必要機材を準備する。点検に求められる精度を確保しつつ、安全に配慮して、画像を取得・解析し、機能診断を実施する。

### 【解説】

#### (1) 実施フロー

以下の実施フローに従って、点検を実施する。

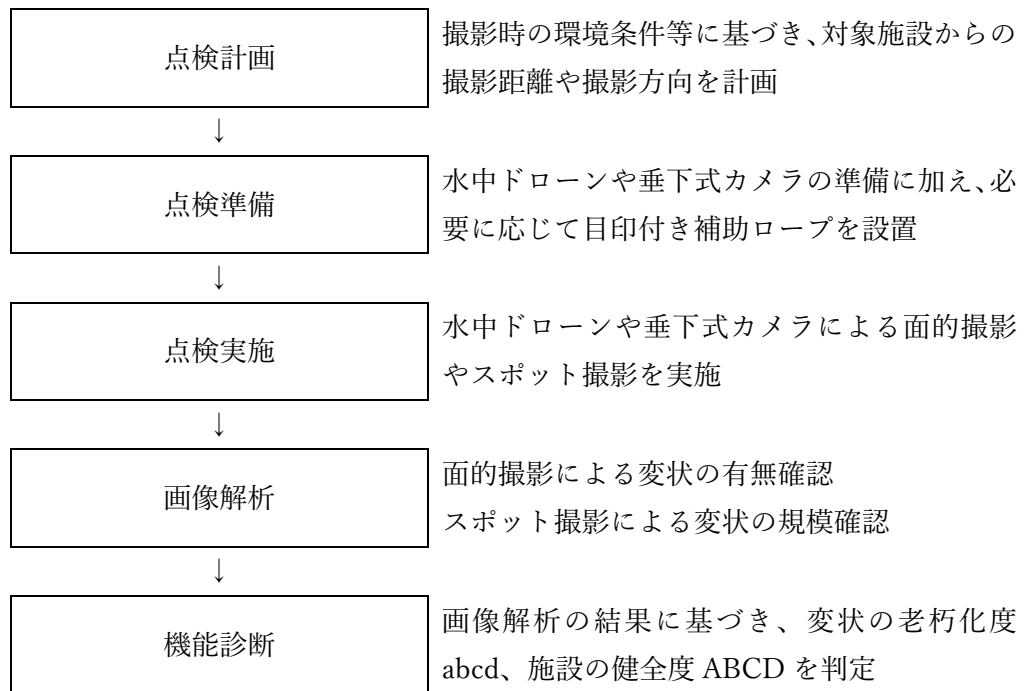


図 4-5 光学機器を用いた点検実施フロー

## (2) 点検計画

点検の体制は、操縦1名、ケーブル捌き1名、記録1名の3名体制を基本とし、操縦者が撮影中に移動する必要がないよう、調査対象スパンは1～2スパン毎に計画する。

また、調査対象スパンにおける過去の点検記録等に基づき、対象施設からの撮影距離や撮影の移動方向を事前に計画する。

対象施設からの撮影距離は、点検の精度と効率を両立する観点から「1m」を基本とし、現地における環境条件（濁度等）に応じて0.5m～2mの範囲で調整することが望ましい。

撮影の移動方向は、重力式コンクリート等の平面的な構造物や水深が浅い場合は水深を固定して撮影する「横方向撮影」の方が容易であり、構造物の凹凸形状が目印となる矢板式等の場合は「縦方向撮影」の方が容易であるが、現地における環境条件（水深、波浪、流速、障害物等）を踏まえて調整することが望ましい。

その他、安全対策として、撮影前に海藻や漁網の有無を確認する工程も計画するとよい。

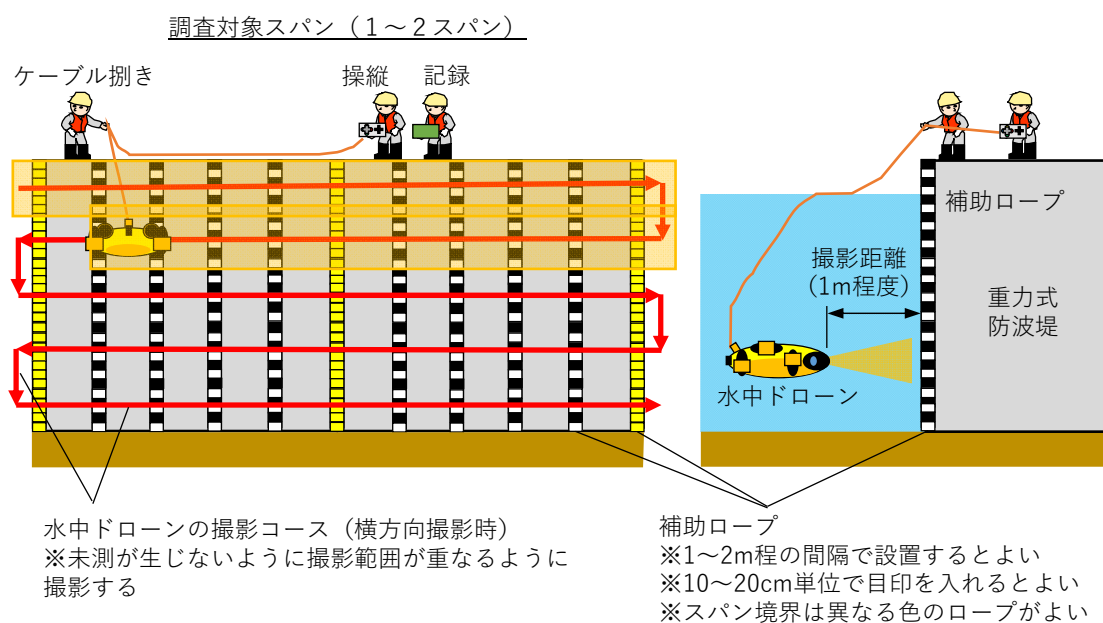


図 4-6 点検計画立案の例 (面的撮影、横方向撮影時)

### (3) 点検準備

購入・リース・委託等の選択肢を経て、水中ドローンや垂下式カメラの必要機材を準備する。また、操作性向上のための日よけ傘やタープ、レーザースケイラー機能のない機種の場合は変状規模の計測のためのスケール（箱尺や巻き尺等）や目印付き補助ロープを準備する。

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を特定したり、変状規模の計測の基準長として利用したり、静止画像を切り出す目印としたりする等の後処理補助としても有効である。ただし、矢板式等の上部工が沖側に張り出す構造物の場合、ロープが撮影の障害となり構造物の凹凸形状が目印となるためロープ垂下は不要であるが、最低限、起終点用の補助ロープは準備する。

なお、撮影距離 1 m の場合、補助ロープを「1 m ピッチ」で設置すると、同時に 2 本を確認することができる。



図 4-7 補助ロープ（1m間隔）およびスケール（巻き尺）の設置状況

#### --- 【参考情報】 -----

##### 【水中ドローンのレーザースケイラー機能】

水中ドローンのレーザースケイラー機能は、2本のレーザーを対象物に照射する機能である。レーザー間の距離は一定であるため、これを基準長とすることで、変状規模の計測が可能となる。基準長と変状は同時に映り込ませる必要があるため、スケール（箱尺等）や目印付き補助ロープを使用する場合に比べると、効率的である。

#### (4) 点検実施

##### 1) 水中ドローンによる点検実施

###### 【操縦】

- ・面的撮影の場合、前回点検等で事前に入手した変状情報がある場合でも、それは意識せず、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する。
- ・操縦者は通常、タブレット等の操作画面を注視するため、施設上を歩行することは非常に危険である。このため、1回の撮影で対象とするスパンは1～2スパン程度とし、操縦者が施設上を歩行する必要があるようにする。
- ・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する。変状の規模を計測する場合、垂下したスケール（箱尺等）や目印付き補助ロープ、照射したレーザースケーラーを変状と同時に撮影する。ただし、上部工が本体工よりも張り出した構造の場合には、垂下した巻き尺が本体工に接触しないため、レーザースケーラーがよい。
- ・屋外では操作画面が見えづらくなるため、確実な操縦のため、日よけ傘やタープで日陰を作り撮影する。
- ・海底面まで調査する場合、海藻、漁網、釣り具やガレキ等が沈んでいることが想定され、それにケーブル等が引っかからないよう、撮影前に必要な海底確認を行う。
- ・ライトの点灯は必ずしも良質な画像取得につながらない。必要に応じて使用する。

###### 【ケーブル捌き】

- ・操縦者に代わり調査対象スパン上を移動し、水中ドローンの航行に負荷をかけないようにケーブル捌きを担当する。
- ・水中に巻きだしたケーブルは大きな流体抵抗となるため、ケーブルの巻き出し長さは最低限にすることが望ましい。
- ・面的撮影において、調査対象スパン起終点では操縦者に合図を送る等、安全かつ円滑な撮影を補助する。

###### 【記録】

- ・現地に到着した際には、調査対象の施設・スパンへの誘導や、環境条件（濁度、波浪、流速等）の観測指示とその記録を担当する。
- ・操縦者に対して次の撮影内容を確認するとともに、撮影開始時刻と撮影終了時刻とあわせて撮影中の状況について記録する。

## 2) 垂下式カメラによる点検実施

### 【操縦】

- ・スポット撮影では、安全に操作できるポール（長さ5 m程度まで）を使用し、垂下したスケール（箱尺等）や目印付き補助ロープと同時に水際線の変状を撮影する。

### 【ケーブル捌き】

- ・ポールの保持を行う者とともに調査対象スパン上を移動し、安全確保に留意したケーブル捌きを担当する。
- ・その他、安全かつ円滑な撮影を補助する。

### 【記録】

- ・現地に到着した際には、調査対象の施設・スパンへの誘導や、環境条件（濁度、波浪、流速等）の観測指示とその記録を担当する。
- ・操縦者に対して次の撮影内容を確認するとともに、撮影開始時刻と撮影終了時刻とあわせて撮影中の状況について記録する。



図 4-8 水中ドローンによる撮影状況



図 4-9 垂下式カメラ（ポール式）による撮影状況

--- 【参考情報】 -----

【水中ドローンのソナー機能】

水中ドローンのソナー機能は、対象物に対して音波を発信して距離を算出し、操作画面にリアルタイム表示する機能であり、水中ドローンによる水中部点検において、均質な画像の取得や動画撮影時の未撮影箇所解消といった効果を期待することができる。

機種によっては、水中ドローンと対象物との距離を固定（ロック）するものもあるが、対象物の表面が凹凸構造（鋼管杭、スリット）の場合や海底付近、施設端部等ではソナーが乱れ、機能しなくなることもあるため、当該機能を使用する場面には留意する必要がある。

【垂下式カメラの撮影方法（ポール式とロープ式）の比較】

水中カメラを垂下する手法として、ポールとロープの場合を試験した。

ポール式の場合、取得可能な画像は水際線に限定され、撮影距離も近い（30cm 程度）ものの、明瞭な画像を速やかに取得できた。一方、方向板を取り付けて曳航させたロープ式の場合、深さに制限はないものの、施設と正対する画像の取得は困難であった。



図 4-10 垂下式カメラ（ロープ式）による撮影状況

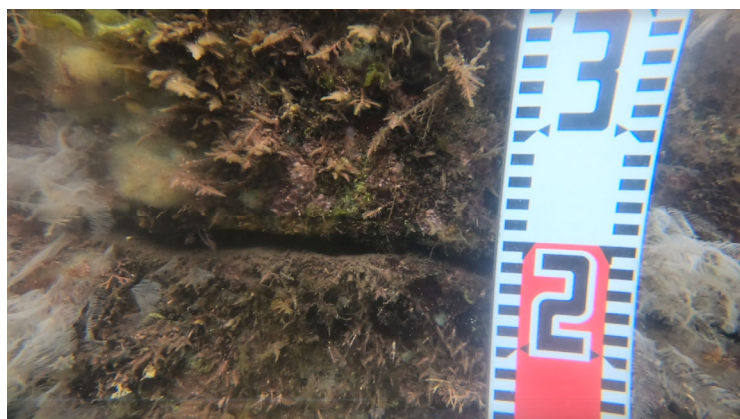


図 4-11 垂下式カメラによる撮影動画  
（重力式構造のひび割れ 1cm を撮影した例、壁面との距離 0.3m）

(5) 画像解析

1) 変状有無の確認

変状有無の確認のためには、以下の解析方法を推奨する。

- ・ 面的撮影で取得した動画に基づき、変状の有無を確認する。
- ・ 変状を確認した場合、水深や位置、変状種類を記録する。なお、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。
- ・ 面的撮影においては、対象スパン全体を漏れなく撮影することに加えて、鋼管杭のような場合には側面や裏面の変状を見落とさないよう、留意する必要がある。

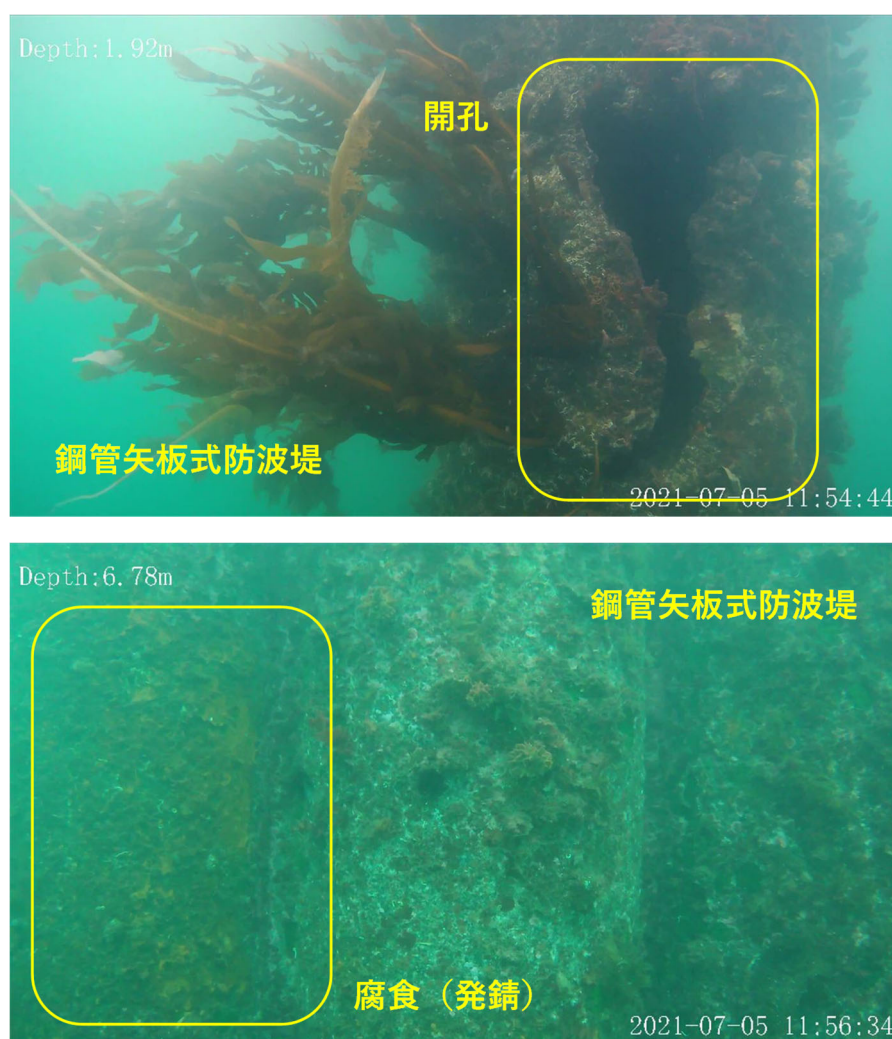


図 4-12 変状有無を記録した例

## 2) 変状規模の計測

変状規模の計測のためには、以下の解析方法を推奨する。

- ・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像に基づき、変状の規模を計測する。
- ・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となる。基準となる長さには、レーザースケイラーの機能がある場合には活用する。レーザースケイラーの機能がない場合は、変状近くに垂下したスケール（箱尺等）や目印付き補助ロープを基準長とする。
- ・基準となる長さに対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。
- ・ひび割れ幅は、コンクリート表面が欠けていると実際のひび割れ幅より大きく評価してしまうこともあるため、画像を拡大して評価する等、留意する必要がある。

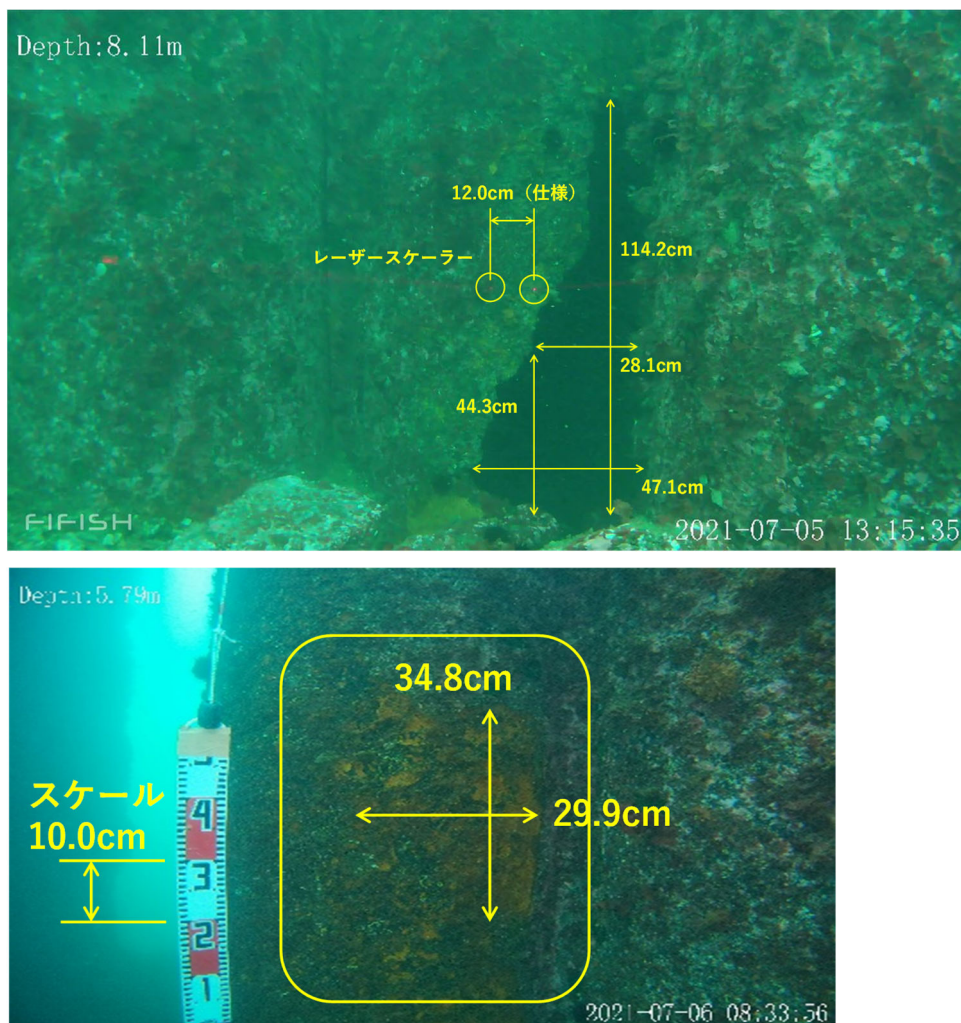


図 4-13 変状規模を記録した例

#### (6) 機能診断

「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」に基づき、適切に機能診断を行う。

なお、様式4（スパン割図）に変状情報を追加した「変状図」については、潜水士による目視観察結果だけに基づいて作成する従来に比べ、撮影動画に基づいて誰でもが確認して作成することができることから、客観性が向上する。

### 4.3 データの結合作業

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つの画像に結合できる。

#### 【解説】

##### (1) 結合された画像の特徴と利活用

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、潜水士が目視していた全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。
- ・また、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。

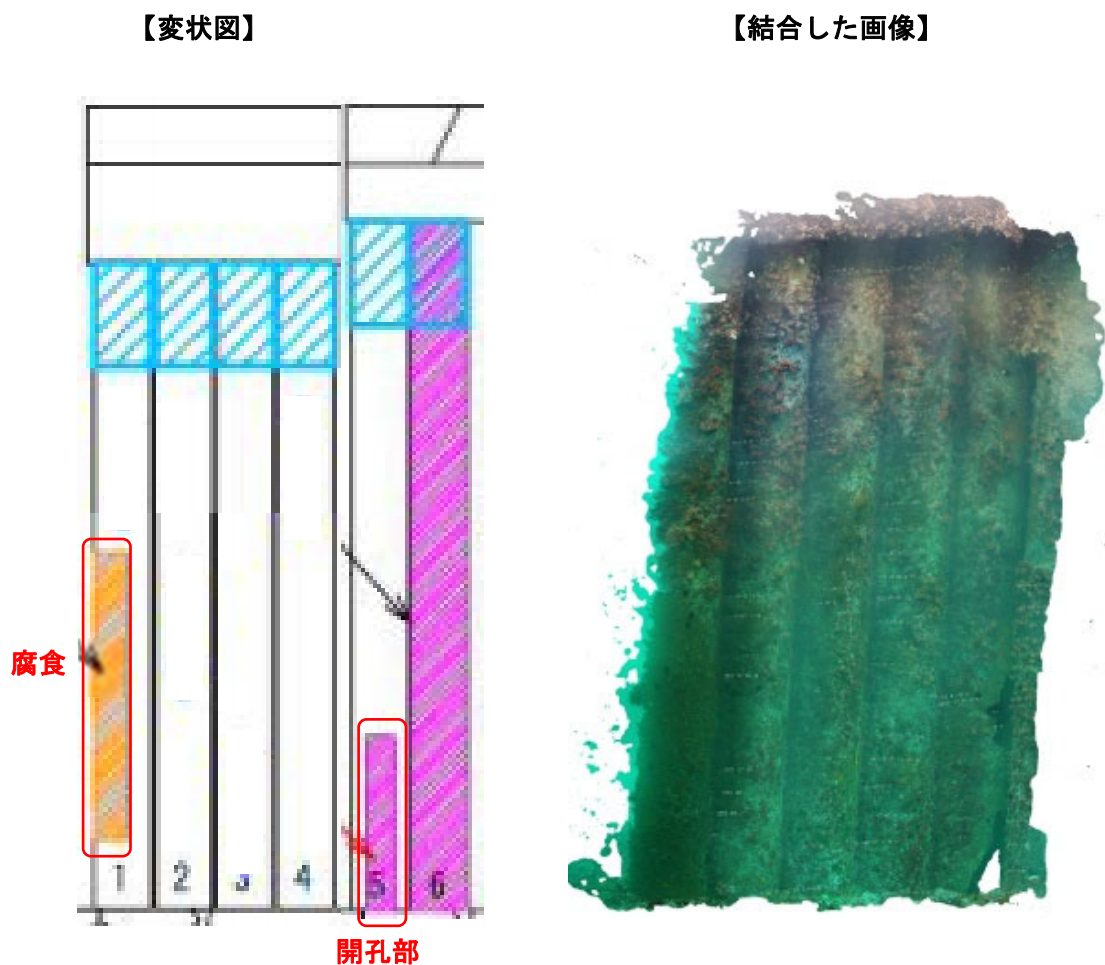


図 4-14 鋼管矢板式防波堤の変状図と結合した画像の例

## (2) 結合方法

動画データから市販の画像処理ソフトを用いて1枚の画像に結合する手順を以下に示す。本手順は、作業イメージを理解するために示したものであり、取得した動画、画質、速度、ソフト等にあわせて必要な調整・設定等を行う必要がある。

- ・市販の画像処理ソフトをPCにインストールする。
- ・PCの動作環境は、同時に処理する画像枚数と解像度に応じて高スペックのものが推奨されているが、調査対象スパン(1~2スパン)の場合、最低スペックでも時間はかかるが処理は可能である。
- ・面的撮影で取得した動画から一定の間隔で静止画をキャプチャする。5分間の動画を0.3~0.5秒間隔でキャプチャした場合、静止画数は600~1000フレームとなる。
- ・画像の結合処理(特徴点の検出やマッチング)に関わる条件は、適切に設定する。
- ・「Exif情報(撮影情報や位置情報)の編集」や「カメラキャリブレーション」等の工夫を施すことで、より精度の高い結合した画像を作成できる。

--- 【参考情報】 -----

### 【画像処理ソフトの最低動作環境】

画像処理に必要な時間はPC性能に左右されるため、画像処理ソフトメーカーが推奨する最低動作環境は少なくとも満たしたPCを使用する。

表 4-6 代表的な画像処理ソフトの最低動作環境

Metashape	Pix4D
<ul style="list-style-type: none"><li>・ Windows 7/8/10 32bit/64bit、Windows Server 2008 R2 以降 (64 bit)</li><li>・ Mac OS X High Sierra 以降</li><li>・ Linux OS Debian/Ubuntu with GLIBC 2.19+ (64bit)</li><li>・ Intel Core 2 Duo 以降の CPU 必須</li><li>・ 8GB 以上の RAM</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ Windows 7、8、10、Server 2008、Server 2012、64ビット (PCまたは Boot Camp を使用する Mac コンピュータ)。</li><li>・ あらゆる CPU (Intel i5/i7/Xeon を推奨)。</li><li>・ OpenGL 3.2 (Intel HD 4000 以上の統合グラフィックカード) と互換性のあるすべての GPU。</li><li>・ 中規模プロジェクト (14M ピクセルで 100 枚~500 枚の画像) : 8GB の RAM、20GB の HDD 空き容量。</li></ul>

出典：各社ホームページ (R3.2 時点)

### (3) 留意点

結合した画像の取り扱いに際し、以下の点に留意する。

- ・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、また、カメラキャリブレーションを行っていない場合もあり、単に結合しただけでは画像に「ゆがみ」があることに留意する。画像処理ソフト上や UAV 分野で用いられる「オルソ化」とは「ゆがみ」を補正したものを指し、ここで述べる結合した画像とは異なる。
- ・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。また、撮影速度が遅い方が、結合の精度はより高くなる。

(4) 結合された画像

結合された画像の作成例を以下に示す。

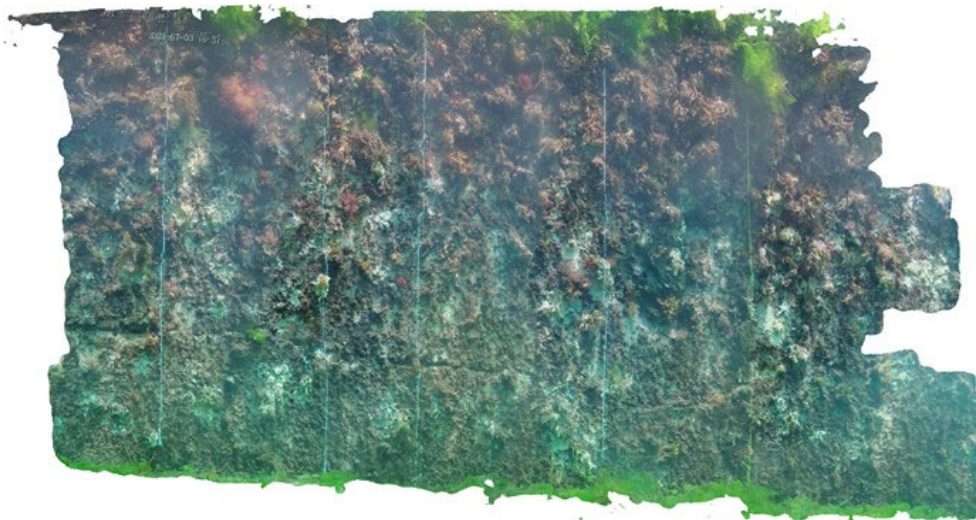


図 4-15 市販ソフトにより結合した画像の例（重力式防波堤）

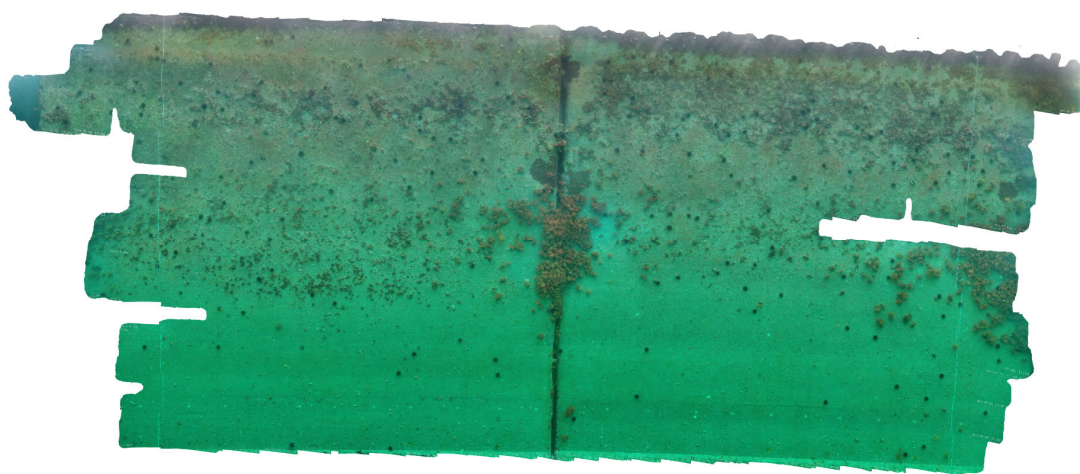


図 4-16 市販ソフトにより結合した画像の例（重力式防波堤）



図 4-17 市販ソフトにより結合した画像の例（重力式防波堤）



図 4-18 市販ソフトにより結合した画像の例（矢板式係船岸）



図 4-19 市販ソフトにより結合した画像の例（矢板式護岸）



図 4-20 市販ソフトにより結合した画像を3次元化した例（防波堤の被覆工）

## 5 行政手続き

水中ドローンの実施にあたり、事前に海上作業の許可・届出、他の関係する法令に規定する許可や届出を提出する。また、地方条例や各団体等によって定められた同意・承諾等を遵守してその履行に適切な対応を行う。

さらに、作業の実施にあたっては、調査海域を管轄する関係機関や関係者への作業内容、作業方法および作業工程の周知を行う必要がある。

### 【解説】

管轄海上保安部への海上作業の許可申請は、原則、作業を行う1か月前までに、受注者が管轄の港長又は海上保安部署等へ行う。

この許可申請に基づき、実施される測量作業区域、方法等の公示が行われるほか、水路通報や航行警報が発出され、測量作業について安全周知が行われる。

--- 【参考情報】 -----

### 【関係法令】

水中ドローンを用いた測量に伴う、海上作業については、関係する法令等を遵守する。

- (1) 港則法
  - (2) 海上交通安全法
  - (3) 海上衝突予防法
  - (4) 漁港漁場整備法
  - (5) 海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律
-

【参考文献等】

資料名	発行年	発行	備考
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	水産庁漁港漁場整備部	
漁港漁場設計・測量・調査等業務 共通仕様書	平成 30 年 5 月	水産庁漁港漁場整備部	

【参考資料】水中部点検で見込まれる水中ドローンの仕様や機能の例

	FIFISH V6S	CHASING M2	BW Space Pro
			
■機器仕様			
サイズ	383 x 331 x 143 mm	380 x 267 x 165 mm	430 x 330 x 130 mm
機体重量	4.1 kg	4.5 kg	3.9 kg
速度	3 Kn (1.5 m/s)	3 Kn (1.5 m/s)	3 Kn (1.5 m/s)
最大深度	100 m	100 m	100 m
有効画素数	1200万画素	1200万画素	1200万画素
ビデオ解像度	4K	4K	4K
稼働時間	最長4時間	最長2~4時間	2~3時間
ライト	2 x 2000 lm (3段階調光・アプリ内で10段階調光)	2 x 2000 lm (3段階調光)	2760lm x 2 (自動調節機能)
■動作			
動作	潜航、浮上、旋回、水平横移動、横回転(360°)、チルト(360°) その他の機能・性能: 深度ロック、姿勢ロック、VRヘッドトラッキング	潜航、浮上、旋回、水平横移動、横回転360° (±180° ロール)、チルト(±90°) その他の機能・性能: 深度ロック、バッテリー交換可能	潜航、浮上、旋回、チルト(±45°) その他の機能・性能: 深度維持ホバリング
■機能			
水中測位	×	×	×
姿勢保持	○深度固定	○深度固定	○深度固定
レーザースケラー	×	×	×
	MOGOOL	BlueROV	CHASING M2 PRO
			
■機器仕様			
サイズ	425 x 330 x 220 mm	457 x 338 x 254 mm	480 x 267 x 165 mm
機体重量	3.8kg	10~11 kg (バラスト含む)	5.7 kg
速度	1.8 Kn (0.9 m/s)	2 Kn (1m/s)	4 Kn (2.0 m/s)
最大深度	100 m	100m	150 m
有効画素数	200万画素	200万画素	1200万画素
ビデオ解像度	1080p	1080p	4K
稼働時間	給電式(無制限)	2~3時間	最長2~5時間
ライト	800lm x 4	1500lm x 4 (明るさ調整可能)	2 x 2000 lm
■動作			
動作	潜航、浮上、旋回 その他の機能・性能: 姿勢保持機能	潜航、浮上、旋回、水平横移動、チルト(±90°) その他の機能・性能: 深度維持、バッテリー交換可能	潜航、浮上、旋回、水平横移動、横回転360° (±180° ロール)、チルト(±90°) その他の機能・性能: 深度ロック、バッテリー交換可能
■機能			
水中測位	×	○(オプション対応)	○(オプション対応)
姿勢保持	○深度固定	○深度固定	○深度固定
レーザースケラー	×	○	○
	MOGOOL-PRO	FIFISH V6 PLUS	FIFISH W6
			
■機器仕様			
サイズ	560 x 450 x 370 mm	383 x 331 x 143 mm	700 x 469 x 297mm
機体重量	24kg	5 kg	20kg
速度	3 Kn (1.5 m/s)	3.2 Kn (1.65 m/s)	4 Kn (2.0 m/s)
最大深度	150 m	150m	350 m
有効画素数	200万画素	1200万画素	1200万画素
ビデオ解像度	1080p	4K	4K
稼働時間	給電式(無制限)	最長4~6時間	最長6時間
ライト	不明	2 x 3000 lm (3段階調光・アプリ内で10段階調光)	2 x 6000 lm (3段階調光・アプリ内で10段階調光)
■動作			
動作	潜航、浮上、旋回、水平横移動 その他の機能・性能: 深度ロック、方向ロック	潜航、浮上、旋回、水平横移動、横回転(360° ロール)、チルト(360°) その他の機能・性能: 深度ロック、姿勢ロック、距離ロック、VRヘッドトラッキング	潜航、浮上、旋回、水平横移動、横回転(360°)、チルト(360°) その他の機能・性能: 深度ロック、姿勢ロック、距離ロック、VRヘッドトラッキング、バッテリー交換可能、デュアルカメラ
■機能			
水中測位	○(オプション対応)	○(オプション対応)	○(オプション対応)
姿勢保持	○深度固定、方向固定	○深度固定、距離固定	○深度固定、距離固定
レーザースケラー	×	○	○

出典：各社ホームページ等 (R3.2 時点)