



ICT技術による漁港施設の施設点検の有効性について

農業水産部 水産課 ○藤池 貴史
井本 丈博
(株)クマシロシステム設計 小竹 元己

漁港施設の長寿命化対策は、施設ごとに施設点検方法や頻度等をまとめた機能保全計画を策定し戦略的に取り組んでいる。しかしながら、施設の点検に必要な不可欠な潜水士の不足等により調査が長期化していることから、その解決策として技術進歩が著しいICT技術を活用した水中部の点検手法の検討が進められている。本報文では、透明度の高い海域において、水中ドローン等を用いた現地試験を通じて、各種調査方法による計測精度・計測効率について明らかにした。

キーワード：長寿命化、ICT技術、漁港施設の施設点検

1. 背景・目的

水産基盤整備事業では、施設の長寿命化やライフサイクルコスト削減を目的として、施設の老朽化予測を基に対策時期や補修工法をとりまとめた機能保全計画を策定し、ストックマネジメントに取り組んでいる。

一方、水中部調査を行う潜水士等の点検従事者の減少・高齢化等に伴い調査期間が長期化する傾向にあり、多数の施設を有する北海道の第3種、第4種漁港における施設点検の効率化が課題となっている。その対応策として、音響測量機器や水中ドローン等のICT技術の活用に向けた検討が行われているが、各ICT技術の計測精度や計測効率が不明である。

以上の背景から、ICT技術(音響測量機器・水中ドローン)の施設点検における計測精度・計測効率を把握するため、従来の潜水目視調査と比較・検討することを目的とした現地試験を行った。検討フローを図-1に示す。

2. 現地試験

(1) 対象漁港

漁港施設のICT技術による施設点検は、波高、潮流、海水の濁り等の海象条件が大きく影響する。このため、定期点検を想定した初めての現地試験となる今回は濁りや流れの影響が比較的少ない美国漁港(積丹町)で実施した。

(2) 対象施設

試験対象施設は、漁港の主要な基本施設である外郭施設、係留施設から簡易調査(重点項目)の老朽化評価項目を網羅するように構造形式が矢板式・重力式・消波ブロック被覆堤の施設を選定した(図-2、表-1)。なお、北防波堤においては、直立堤の港外側・港内側の両側を対象範囲として設定した。

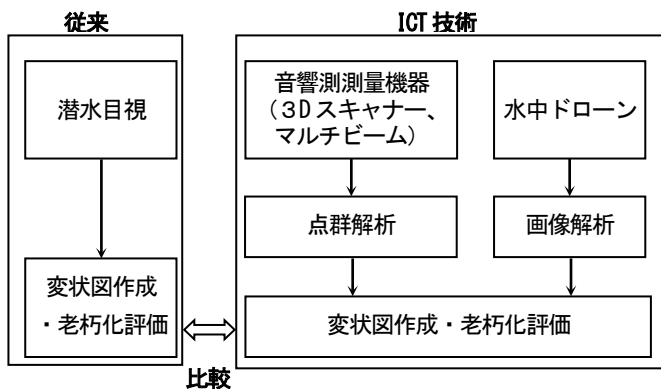


図-1 検討フロー



図-2 対象施設(美国漁港)

表-1 対象施設の概要

施設名	構造形式	老朽化度	水深	延長	没水部面積
-4.0m岸壁	矢板式	d	-4.0m	68m	272m ²
-4.5m岸壁	重力式	b~d	-4.5m	362m	1,629m ²
北防波堤	重力式	b~d	-3.0m	149m	447m ²
北外防波堤	重力式	不明	-8.5m	35m	297.5m ²
南防波堤	重力式	b~d	-3.1m	20m	279m ²
合計				634m	2,707.5m ²

(3) 調査時期

調査期間は、2022年9月12日~10月5日のうち、計10日間で実施した。また、いずれの調査日をとおして、透明度は3.2m~3.8mで推移し、水中部の見通しが確保されていた。

(4) 調査手法・機器

現地調査は、潜水目視調査に加え、ICT機器の内、水中3Dスキャナー(以下、3DS)、マルチビーム(以下、NMB)、水中ドローンを選定した。各調査機器の概要を図-3~図-5、表-2~表-4に示す。3DSは国内代理店で唯一流通しているTeledyneBlueView社製BV5000、NMBは浅海域に適用可能なTeledyne Reson社製SeaBat T20を選定した。また、水中ドローンは、変状規模算定のスケール合わせに有効なレーザースケイラーを搭載可能なCHASING社製CHASING M2 Proを選定した。



図-3 水中3Dスキャナー(BV5000-1350)

表-2 水中3Dスキャナーの概要

製品名	BV5000-1350
周波数	1350kHz
ビーム数	256本
ビーム幅	1°×1°
スワ幅	42°



図-4 マルチビーム(SeaBat T20-P)

表-3 マルチビームの概要

製品名	SeaBat T20-P
周波数	400kHz
ビーム幅	1°×1°
スワ幅	140°



図-5 水中ドローン(CHASING M2 PRO)

表-4 水中ドローンの概要

製品名	CHASING M2 PRO
サイズ	480×267×165mm
重量	5.7kg
バッテリー	300Wh
最大深度	150m
最大速度	2m/s(4ノット)
バッテリー航続時間	最大4H
バッテリー循環回数	>300回
動作温度	-10°C~45°C

(5) 調査方法

音響測量機器(3DS、NMB)は、船舶艀装を行った上で試験を行い、3DSは、操船1名、機器操作2名の3名体制、NMBは、操船1名、機器操作1名の2名体制で実施した。音響測量機器における計測状況を写真-1、写真-2に示す。3DSは、ビームのスワ幅が水面から海底まで確保されていないため、ビームの照射角度を調整して、計3回の計測により全没水部を可視化した。一方、NMBはスワ幅が広く全没水部を計測可能であるが、点群密度が粗く精度が確保できないため、計2回の計測を行い、点群を合成することで精度向上を図った。

また、船舶と対象施設は約5m程度の距離を保って航行し、航行速度は2~3knotとした。



写真-1 水中3Dスキャナー試験状況



写真2 マルチビーム試験状況

水中ドローンは、操縦者・ケーブル技師・見回り員の3名体制にて調査を行い、ケーブル技師を配置することでリモコンと本体を結ぶケーブルが障害物(防舷材や係留索等)に引っかかる事がないように配慮した。また、計測作業は、事前にリボンを下してスパン割を行い、計測範囲を操作画面で確認できるようにした。水中ドローンの計測状況を写真-3に示す。

ここで、水中ドローンの航跡は、直立壁では、鉛直移動(図-6)を繰り返す方法とし、直積消波構造では、水平移動(図-7)を基本として計測を行った。さらに、変状を発見した際には、変状の位置・大きさ(幅、高さ、形状、水深)をスケッチし、記録を取った。



写真3 水中ドローンの計測状況

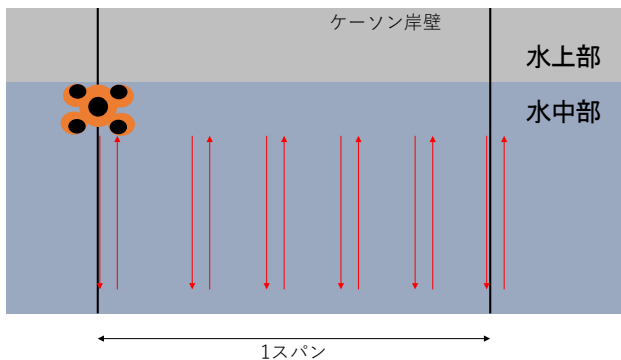


図6 水中ドローン試験(直立壁)の航跡イメージ

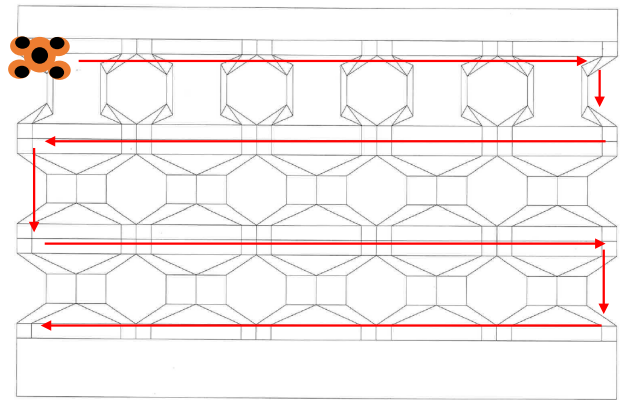


図7 水中ドローン試験(直積消波)の航跡イメージ

3. 点群データ・画像解析手法

(1) 点群データ解析方法

点群データによる変状の解析では、基準平面を生成し基準平面と点群の距離を解析することで、欠損等の変状の抽出を行った。基準平面の生成は、「RANSAC」アルゴリズムを活用し、点群と最も一致する平面を基準平面として採用した。ここで、「RANSAC」アルゴリズムとは、点群中のサンプルからサンプル平面を作成し、サンプル平面と点群の一致度が最も高い平面を採用するアルゴリズムである。「RANSAC」アルゴリズムの概念は図-8に示す。

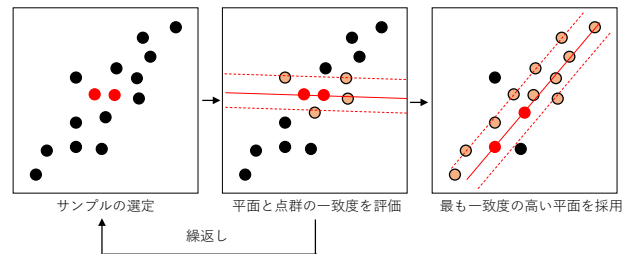


図8 「RANSAC」アルゴリズムの概念

(2) 画像解析方法

画像データによって変状部を抽出するには、変状部を強調する解析処理が有効である。ここでは、画像の色合いに対して閾値を設けることで2値の画像(白黒)へ変換する二値化処理により、変状部の抽出を行った。二値化処理の概念図を図-9に示す。一方で、変状部が周囲と色合いに変化がない場合は、二値化処理で変状を抽出することができないため、変状規模をCADで読取ることによって変状規模を算定した。

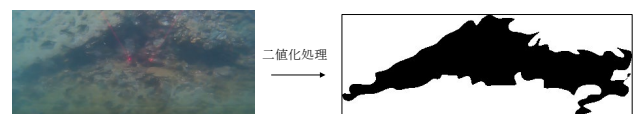


図9 二値化処理の概念

4. 調査結果

(1) 点群の取得状況

各施設の点群画像を図-10～図-12に示す。3DS、NMBにおいては、4.0m岸壁の係留船舶がビームを遮蔽し、一部点群が取得できない箇所が発生したが、矢板式構造や消波ブロックの形状を計測することができた。また、図-10に示すとおり、4.0m岸壁の電気防食の陽極については、NMBでは陽極の形状を捉えることができなかったが、3DSではより高密度で点群を取得し、陽極が傾いた状況も確認できた。また、北防波堤の変状や北外防波堤の消波ブロックの形状も概ね計測することができた。

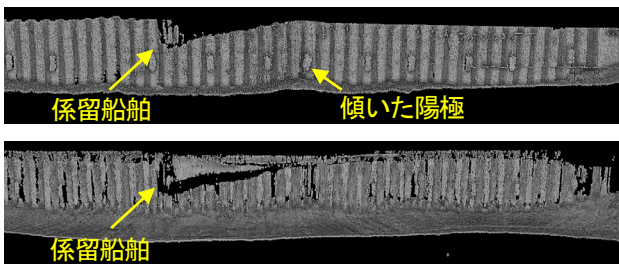


図-10 4.0岸壁(上段：3DS、下段：NMB)

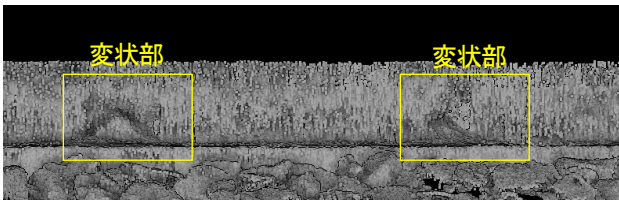
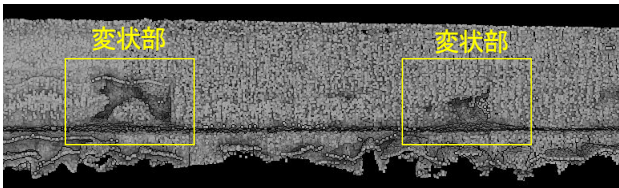


図-11 北防波堤(上段：3DS、下段：NMB)

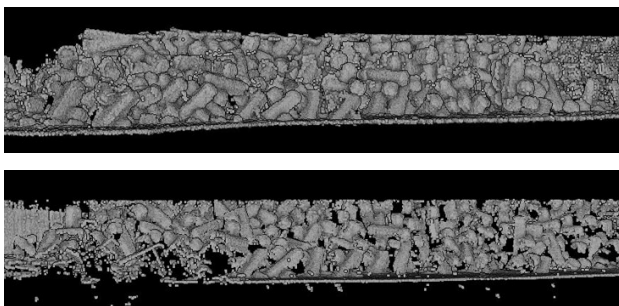


図-12 北外防波堤(上段：3DS、下段：NMB)

(2) 水中ドローンの画像取得状況

水中ドローンによる取得画像を写真4～写真6に示す。水中ドローンでは写真4や写真5のような水深1.6m～2.4m帯の欠損部を鮮明に捉えることができたが、海底付近では水中ドローンのスクリーにより砂を巻き上げる

ことで濁りが発生し、視界が遮られることがあった。また、写真6は矢板構造の陽極を鮮明に撮影することで、陽極が傾いている様子を撮影することができた。



写真4 4.5m岸壁(スパン64、水深2.4m付近)

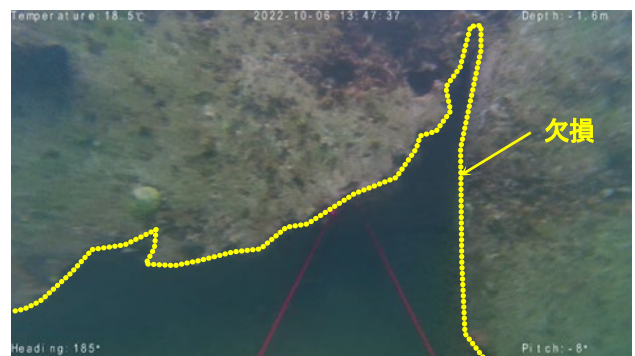


写真5 北防波堤(港外)(スパン9、水深1.6m付近)

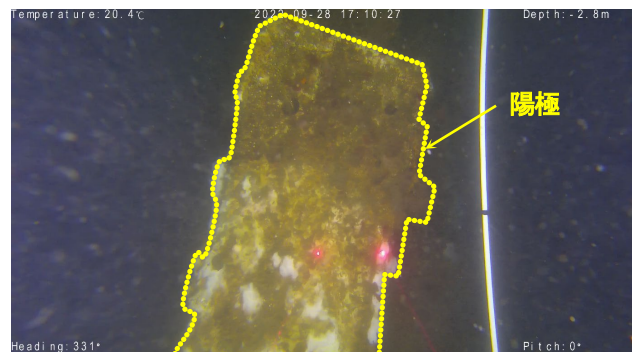


写真6 4.0m岸壁(スパン5、水深2.8m付近)

(3) 計測効率

潜水目視と水中ドローンの現場作業は先ず、対象施設のスパン割と水深測定を行い、計測条件を整理した。さらに、機材搬入の後、潜水目視では、変状を発見次第、スタッフにより変状部の幅、高さ、深さと位置を測定し、スケッチ図を作成した。水中ドローンでは、本体の映像を頼りに調査し、変状を発見した際、画面上のレーザースケーラのレーザー光を参考に、形状や本体の位置(水深)を記録した。ここで、水中ドローン試験の現場スケッチは、簡易に変状の位置・形状を把握し、野帳として記録することを目的とした。

上記の作業における潜水目視と水中ドローンの現地調査(以下、外業)、及び内業に費やした時間を表-5～表

-6に、3DSとNMBの比較を表-7～表-8に、調査手法の外業・内業時間の比較を表-9に示す。

水中ドローンにおいては、外業は潜水目視よりも効率的となる結果が得られた(表-5)。一方、内業においては、変状図の作成では潜水目視と同等程度だったものの、作業(画像分析等)に長時間を要した(表-6)。また、3DSとNMBにおいては、1日で外業を完了し(表-7)、取得点群の補正作業や変状規模の分析等を1日の労働時間内(約8時間)で完了することができた(表-8)。

表-5 潜水目視と水中ドローンの外業時間の比較

外業	潜水目視	水中ドローン
分割	57分	
水深測定	2時間32分	
準備作業※1	40分×8回=320分	20分×10回=200分
-4.5m岸壁	18時間9分	16時間36分
-4.0m岸壁	2時間42分	1時間45分
北防波堤	13時間32分	8時間37分
南防波堤	1時間00分	42分
北外防波堤	1時間14分	40分
撤収作業※1	27分×8回=216分	14分×10回=140分
合計	49時間2分	37時間29分

※1：平均作業時間

表-6 潜水目視と水中ドローンの内業時間の比較

内業	潜水目視	水中ドローン
画像分割	-	3時間
動画見直し	-	19時間
変状規模の分析	-	15時間
変状図フォーマット作成	4時間30分	
変状図作成※2	7時間30分	6時間30分
合計時間	12時間	48時間

※2：北防波堤(港内外)、-4.5m岸壁を対象

表-7 3DSとNMBの外業時間の比較

外業	3DS	NMB
準備作業	3時間55分	2時間6分
計測※3	1時間40分	30分
パッチ等	1分	50分
撤収作業	1時間30分	1時間
合計	7時間6分	4時間26分

※3：-4.5m岸壁、-4.0m岸壁、北防波堤、南防波堤、北外防波堤

表-8 3DSとNMBの内業時間の比較

内業	3DS	NMB
補正処理	3時間	2時間15分
点群出力	1時間20分	1時間
データ圧縮	30分	15分
データチェック	1時間50分	1時間40分
RANSAC処理※4	15分	15分
変状部の可視化※4	1時間10分	1時間30分
合計時間	8時間5分	6時間55分

※4：北防波堤(港内外)、-4.5m岸壁を対象

表-9 調査手法における外業・内業時間の比較※5

項目	潜水目視	水中ドローン	3DS	NMB
外業	49:02	37:29	7:06	4:26
内業	12:00	48:00	8:05	6:55
合計時間	61:02	85:29	15:11	11:21

※5：(時間)：(分)として表記

(4) ICT機器の計測精度

対象施設のうち、老朽化度bの変状が確認された北防波堤(港外)(スパン7~11)に着目して、潜水目視とICT機器の変状図と点群解析結果を整理した。さらに、簡易調査(重点項目)(詳細)の評価基準に則って、各スパンの老朽化度を評価した。各変状図を図-13~図-14に、老朽化度の評価基準を表-10に、老朽化度評価を表-11に示す。

北防波堤のスパン8・9・11の幅・高さ1m以上の欠損は、全ICT機器で検出し、変状規模は潜水目視と比較して±50cm以内の精度を確保した。また、潜水目視と水中ドローンを比較して、幅・高さ1m未満の変状の位置・規模は概ね一致し、水中ドローンは潜水目視と同程度の測定精度となった。一方で、幅・高さ1m未満の欠損は、音響測量機器(3DSとNMB)においては検出されなかった。

老朽化評価においては、潜水目視と水中ドローンで老朽化評価が一致したものの、音響測量機器(3DSとNMB)は、スパン9~10に跨る小規模な変状を捉えられず、潜水目視で老朽化度b2に対して、音響測量機器は老朽化度dと過小評価となった。

表-10 簡易調査(重点項目)(詳細)の評価基準(参考文献2)より

項目	老朽化度の評価基準	
本 体 工 (無 筋)	a	性能に影響を及ぼす程度の欠損
	b1	部材背面に達する幅1cm以上のひび割れがある
		大規模(10%以上)の欠損がある
	b2	幅1cm以上のひび割れがあるが、部材背面までは達していない
		小規模(10%未満)の欠損がある
c	幅1cm未満のひび割れ	
d	老朽化なし	

表-11 各調査手法の老朽化度評価の比較

調査位置	調査手法	老朽化度評価				
		7	8	9	10	11
北防波堤(港外)	潜水目視	d	b1	b1	b2	b1
	水中ドローン	d	b1	b1	b2	b1
	水中3Dスキャナ	d	b1	b1	d	b1
	マルチメータ	d	b1	b1	d	b1

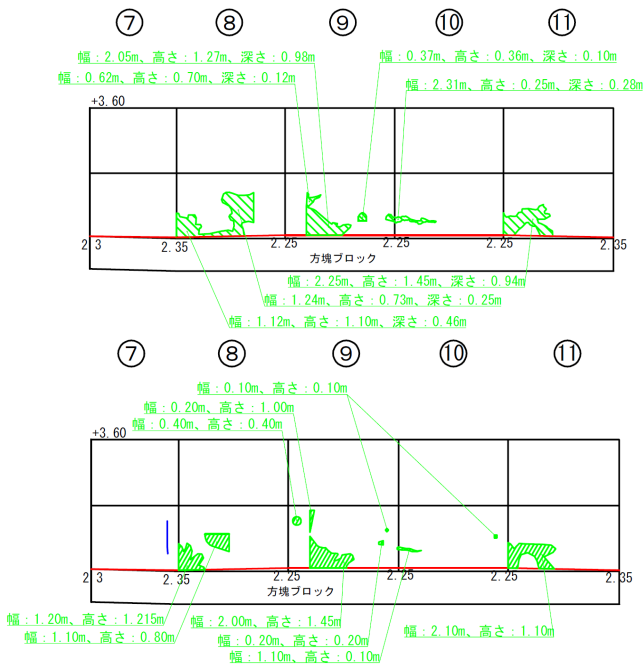


図-13 北防波堤の分析結果
(上段：潜水目視、下段：水中ドローン)

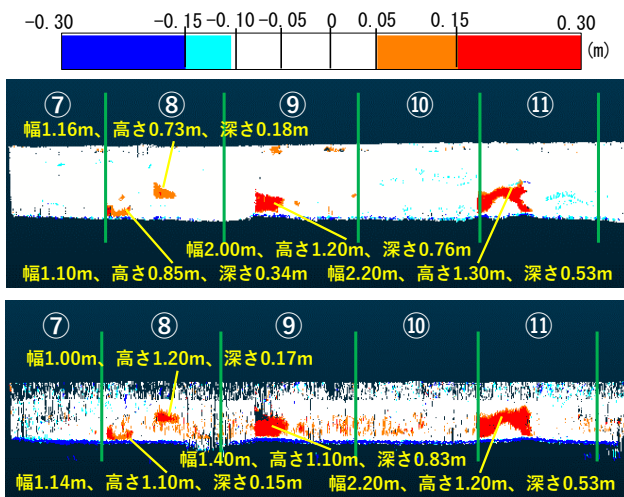


図-14 北防波堤の分析結果(上段：3DS、下段：NMB)

5. まとめ

(1) ICT機器の特徴

以上の成果を基に、音響測量機器(3DS、NMB)、水中ドローンの施設点検の特徴を比較整理すると以下のとおりである。

1)音響測量機器(3DS、NMB)

- ①幅・高さ1m未満、かつ深さ0.20m未満の変状は検出することが困難であるが、それ以上の変状は潜水目視と同程度の算定精度である。
- ②老朽化度b2以下の細かい変状の評価が困難であるが、水中ドローンの計測結果で補完することで、潜水目視と同等の老朽化度評価が得られる。

- ③3DSとNMB(計測2回実施)の算定精度は同程度である。
- ④計測効率、潜水目視と比較して外業・内業ともに作業時間が短く、効率的である。

2)水中ドローン

- ①濁り・流れの影響が少ない漁港では、細かな欠損・ひび割れを潜水目視と同程度の精度で計測可能である。
- ②老朽化評価は、潜水目視と同等の評価が可能である。
- ③外業は、潜水目視よりも効率的であるが、内業においては、取得データの分析に多くの時間を費やす。

(2) 水中ドローンによる調査・分析の課題と対応策

水中ドローンによる外業は、潜水目視より効率的であったものの、変状発見時の現場スケッチに多くの時間を費やしたことから、外業の効率化が課題となった。

このため、図-15に示す作業フローのとおり、外業の現場スケッチを省略した作業フローを提案する。ここで、本検討の成果により、内業だけで十分な精度で変状規模を算定可能であることが明らかとなったが、外業のスケッチを省くと、変状の位置を記録した情報がなく、変状位置の精度が低下する恐れがある。このため、変状を確認した際には、水中ドローンを上下に移動するなど動きをルール化し、水深変化等の時系列ログを参考にして、変状の位置を推定できるように工夫することが必要と考える。

また、水中ドローンは美国漁港のような透明度(3.2m~3.8m)が高い漁港では、施設点検に有効であることが明らかとなったが、濁り・流れが卓越する漁港では適用できないことが懸念される。このため、浮遊砂やプランクトン由来の濁りに加え、潮流が卓越する漁港で現地試験を実施し、水中ドローンの適用性を検討することが必要と考えられる。

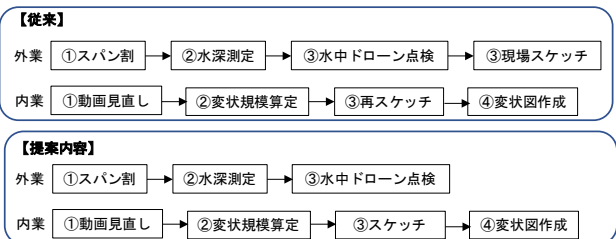


図-15 水中ドローン作業効率の改善案

参考文献

- 1)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
- 2)水産基盤施設機能保全計画策定の手引き、平成27年5月
- 3)センシング技術を活用した漁港施設の点検の手引き、令和3年3月
- 4)光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き、令和4年3月