



ICT計測機器を活用した漁港施設の 点検方法について（第2報）

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

水産基盤施設は、高度経済成長期に整備されてから半世紀を経過したものが多く、施設の更新・点検が必要となっている。一方で、水中部の点検を担う潜水士の減少を契機にICT機器への代替が求められており、過年度は実証試験により透明度が良好な漁港において有効性を確認したところである。本報告では、海象条件が異なる漁港においてICT計測機器の現地試験を行い、透明度及び流れに対する有効性や適用条件等について検証し、ICT計測機器を活用した漁港施設の点検方法についてとりとめたものである。

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、長寿命化やライフサイクルコスト削減を目的として、施設点検に基づくストックマネジメントの導入を進めている。一方、漁港の施設点検では、潜水士等の点検従事者の減少・高齢化に伴い点検作業の長期化が問題となっている。このため、効率的な点検方法の導入に向け、R4年度に美国漁港において潜水目視とICT技術の比較試験を実施した。その結果、水中3Dスキャナー(3DS)、ナローマルチビーム(NMB)、水中ドローン、垂下式カメラの有効性が確認されたりが、濁り・流れに対する適用性の評価が課題として残った。

以上の背景から、本報告では、R5年度に実施した遠別漁港・厚岸漁港の調査結果、及びR4年度の調査結果を基に、ICT技術の濁り・流れに対する適用性、計測精度・計測効率への影響を明らかにすることを目的とした。検討フローを図-1に示す。

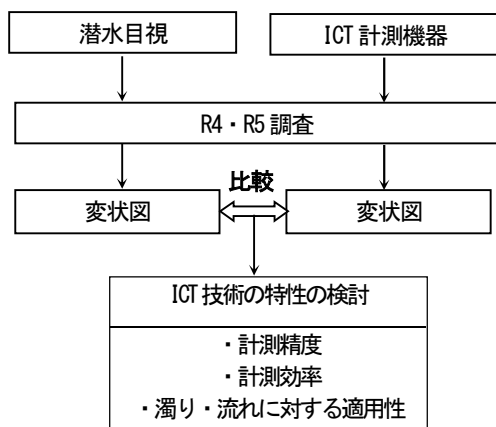


図-1 検討フロー

2. 調査概要

(1) R4・R5現地調査の対象施設

対象漁港は、R4年度調査は美国漁港、R5年度調査は遠別漁港・厚岸漁港を選定した。対象漁港の選定にあたっては、透明度の高い美国漁港、浮遊砂・プランクトンにより透明度が低い遠別漁港・厚岸漁港を対象とすることで、透明度の変化による水中ドローンの視認性を検証した。なお、調査施設は、矢板式・重力式施設を含めることで老朽化評価項目を網羅するように留意した。各漁港の対象施設を図-2、図-3、図-4に、対象施設の構造形式・調査数量を表-1に示す。



図-2 美国漁港の対象施設



図-3 遠別漁港の対象施設



図-4 厚岸漁港の対象施設

表-1 対象施設の概要

R4年度		R5年度			
美国漁港		遠別漁港		厚岸漁港	
-4.0m岸壁	矢板式	南 防波堤	重力式	-3.0m 岸壁	重力式
-4.5m岸壁	重力式				
北防波堤	重力式				
北外防波堤	重力式				
南防波堤	重力式				
合計	2708㎡	合計	984㎡	合計	1251㎡

(2) 調査手法・機器

現地調査における調査手法・機器を表-2 に、各機器の概要を表-3、表-4、表-5 に示す。美国漁港では、水中ドローン・3DS・NMB と潜水目視を比較することを目的とした。一方で、遠別・厚岸漁港の調査では、濁り・流れの影響を受ける水中ドローンと潜水目視・3DS を比較することを目的として機器を選別した。ここで、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ーラーを搭載可能な CHASING 社製 CHASING M2 Pro を選定した。

表-2 調査手法・機器

手法機器	潜水目視	水中ドローン	3DS	NMB
美国漁港	○	○	○	○
遠別漁港	○	○	○	-
厚岸漁港	○	○	○	-

表-3 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°

表-4 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°

表-5 水中ドローンの概要

	製品名	CHASING M2 PRO
	サイズ	480×267×165mm
	バッテリー	300Wh
	航続時間	最大 4H
	最大深度	150m
	最大速度	2m/s(4ノット)

(3) 調査方法

音響機器(3DS、NMB)は、機器を船舶機装した上で計測作業を行った。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。音響機器における計測状況を写真-1に示す。

水中ドローン調査は、操縦者・ケーブル技師・記録員の3役を設定し、計3～4名（4名時は機材運搬等の作業員として従事）にて調査を行った。記録員はスケッチ用紙に変状の位置と変状発見時の時刻に加え、調査中のインシデント（航走波による一時避難等）を記録した。また、計測作業は、事前にリボンを下してスパン割を明示し、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-2に示す。R4年度調査では、スケッチ時間に多くの時間を要したことから、変状を発見した場合は、変状発見時刻と位置をスケッチし、さらに、操作用スマホ（またはタブレット）のスナップショットを撮り、スケッチと画像データを時刻で紐づけすることで、作業の効率化を図った。水中ドローン調査方法を図-5に示す。

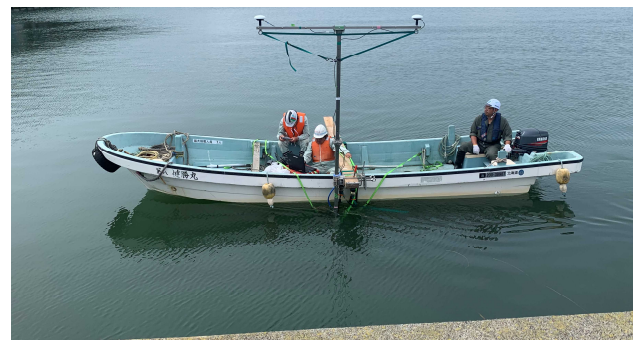
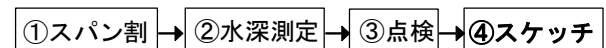


写真-1 水中3Dスキャナー調査(厚岸漁港)



写真-2 水中ドローン調査(遠別漁港)

【水中ドローン調査の流れ】



④スケッチ項目

R4美国調査

- ・位置
- ・規模
- ・形状

R5遠別・厚岸調査

- ・位置
- ・時刻

+スナップショット
形状・規模は内業で補完

図-5 R4・R5年度の水中ドローン調査方法

(4) 海象条件

現地調査時における海象条件を表-6 に示す。美国漁港は透明度 3.2～3.8m と透明度が高く、海底付近まで目視が可能であった。一方で、遠別漁港は透明度約 3.5m と高い透明度が確保されていたが、一部区間で浮遊砂により透明度 1.2m まで低下した。さらに、厚岸漁港は夏季調査で透明度 1.1～1.8m であったが、10 月末の補足調査では透明度 2.2～2.6m まで向上した。また、厚岸漁港-3.0m 岸壁周辺の流れは 10～30cm/s で推移し、当該水域における平均的な流速であった。

表-6 調査実施時の海象条件

対象漁港	調査実施日	透明度	流れ
美国漁港	2022/9/26～10/6	3.2～3.8m	-
遠別漁港	2023/7/4～7/6	1.2～3.5m	-
厚岸漁港	2023/8/8～8/9	1.1～1.8m	10～30cm/s
	2023/10/31	2.2～2.6m	10～20cm/s

3. ICT機器の濁り・流れに対する影響

(1) ICT技術による計測結果

ICT技術による計測結果を図-6～図-9に示す。3DSにおいては、遠別漁港南防波堤の消波ブロックの形状や厚岸漁港-3.0m岸壁で岸壁の欠損部を計測した。水中ドローンにおいては、遠別漁港南防波堤の消波ブロックや厚岸漁港-3.0m岸壁で上部工・本体工の欠損部を計測した。

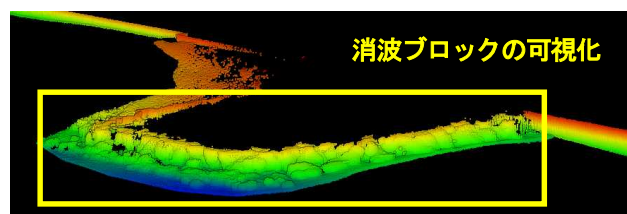


図-6 遠別漁港南防波堤（3DS）

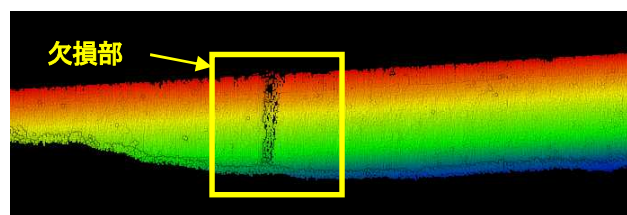


図-7 厚岸漁港-3.0m岸壁（3DS）



図-8 遠別漁港南防波堤周辺（水中ドローン）



図-9 厚岸漁港-3.0m岸壁（水中ドローン）

(2) 水中ドローンの透明度別の見え方の比較

水中ドローン調査の取得画像を図-10 に示す。美国漁港、遠別漁港では透明度 3.0m 以上が確保されており、構造物の状況を鮮明に視認することが可能であった。一方で、厚岸漁港では、透明度 1.1m～1.8m 程度と濁りの影響により岸壁の状況を視認することが困難な状況であった。また、遠別・厚岸漁港においては、水深 1.0m～2.0m はコンブが繁茂し、水中ドローンに絡まる事象が発生し、調査の支障となった。

遠別漁港のスパン 25・スパン 57 における取得画像を図-11 に示す。スパン 57 を始め遠別漁港では透明度 3.3m を確保されており、構造物の状況が鮮明に視認できたが、スパン 25 においては、付近の浚渫工事の影響により細かな浮遊砂が舞い上がり、透明度が 1.2m まで低下したことで視界の低下を招いた。

また、厚岸漁港の夏季、秋季の取得画像を図-12 に示す。前段のとおり夏季(2023/8/8)の画像では透明度が低く、岸壁の状況を鮮明に視認できないが、秋季(2023/10/31)の画像においては透明度 2.6m まで改善し、岸壁の状況を鮮明に確認することが可能となった。また、コンブの末枯れ期にあたることで付着物が少なく、円滑な調査が可能であった。以上より、水中ドローン調査においては、浮遊砂や濁りの影響が軽微な海象条件が好ましく、概ね透明度 2.0m 以上で運用が可能である。また、濁りの影響は海藻類の末枯れ期に加え、プランクトンが減少する秋季(10月～11月)に調査することで緩和できる。

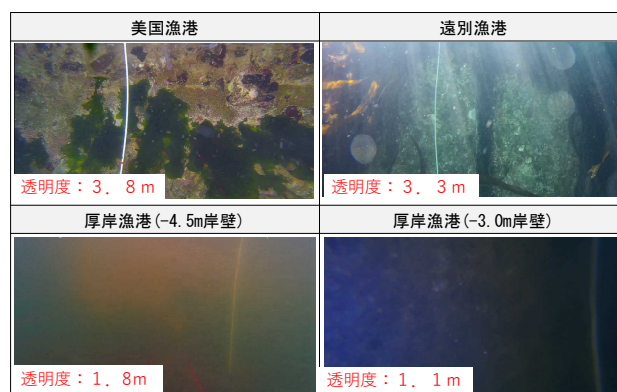


図-10 透明度別の取得画像

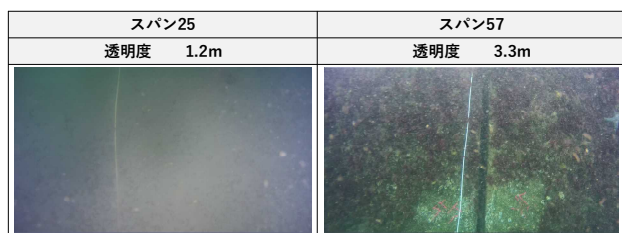


図-11 浮遊砂による影響(遠別漁港)

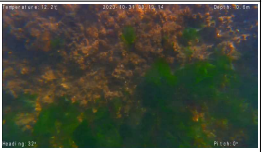
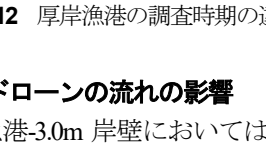
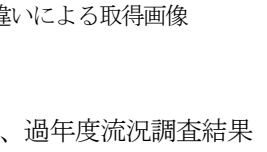
調査日	8/8	10/31
水温	22.9	14.6
付着物	コンブ	なし(未枯れ期)
透明度	1.1m	2.6m
厚岸漁港 湖北地区 ~3.0m岸壁		
スパン10 水深~0.5m		
スパン10 水深~3.0m		

図-12 厚岸漁港の調査時期の違いによる取得画像

(3) 水中ドローンの流れの影響

厚岸漁港-3.0m 岸壁においては、過年度流況調査結果を基に水面流速を推算し、流れが水中ドローンの操縦性に与える影響を検証した。調査時は、10cm/s~30cm/s(推算値)の上げ潮・下げ潮の流れに対して、進行方向と流向が一致しない場合、水中ドローンの操作が困難になり調査の支障となった。一方で、進行方向と流向が一致する場合、操作に影響がなく、スムーズな調査が可能であった。このため、図-13 に示すとおり、水中ドローン調査においては、潮位変動等より調査箇所の流向や流速を把握した上で、進行方向と流向が一致するタイミングで水中ドローン調査を実施することが必要であると考ええる。

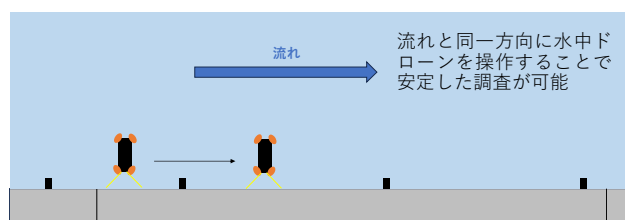


図-13 厚岸漁港-3.0m 岸壁の流れへの対応

(4) 水中ドローン調査におけるスケッチ時間の比較

R4年度国漁港、R5年度遠別・厚岸漁港調査における水中ドローンのスケッチ時間の比較を表-7に示す。R4年度調査では、変状を記録するスケッチ時間に変状1個あたり5分要するが、R5年度調査では、30秒~2分程度まで短縮した。これは、R4年度調査では、スケッチ項目で

は位置・形状・規模を記録したのに対し、R5年度調査では、スケッチ項目を位置と時刻に限定したこと(図-5)により、スケッチ作業が短縮された効果であると考ええる。また、R5年度調査で外業のスケッチ項目を減らしたが、形状・規模は内業で補完することにより、計測精度への影響は軽微と考える。

表-7 R4・R5年度調査の1スパンあたりのスケッチ時間の比較

	変状個数	計測時間				スケッチ時間 (1個あたり)※1
		0個	1個	2個	3個	
R4	美国漁港	4:58	8:51	13:20	21:00	5:21
R5	遠別漁港	5:47	6:00	9:30	-	1:52
	厚岸漁港	7:00	7:17	8:00	8:17	0:26

※1: 時間は (分: 秒) として標記

(5) 潜水目視とICT計測機器の結果の比較

対象施設のうち、厚岸漁港-3.0m 岸壁(スパン 1~3)に着目して、潜水目視と ICT 機器による変状図、点群解析結果を比較した。比較結果を図-14 に示す。厚岸漁港-3.0m 岸壁スパン 1 では、潜水目視で本体工と上部工の隙間、及び目地周辺に変状が確認され、ICT 機器においても同様の位置で変状が検出されている。一方で、スパン 3 では、潜水目視・3DS で本体工の欠損部が確認されたが、水中ドローンでは計測できなかった。これは、水中ドローン調査の夏季調査では、透明度 1.1m と周辺が暗く視界が悪いことで、岸壁の後退箇所を視認できなかったものと考ええる。

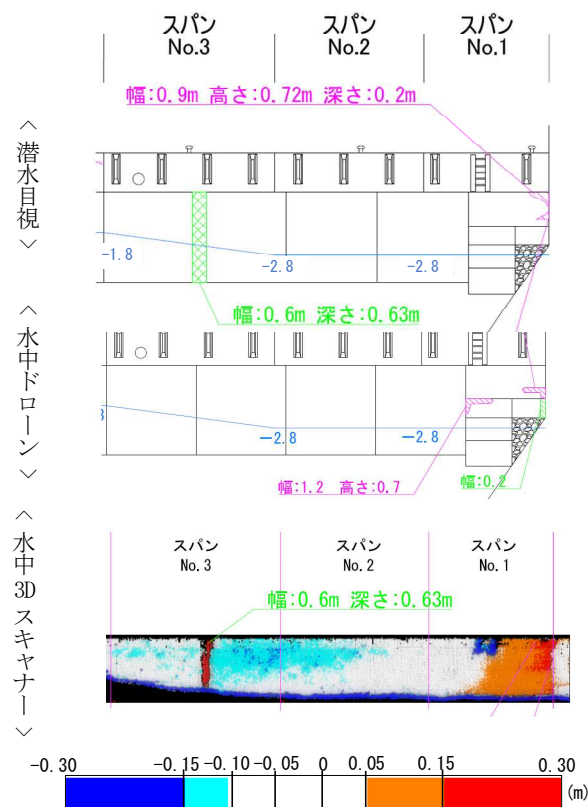


図-14 厚岸漁港-3.0m 岸壁(スパン 1~3)の調査結果

4. ICT計測機器の適用性

(1) 計測効率

各調査手法における外業・内業に費やした時間を表8～表10に示す。ここで、外業は現地調査の作業時間(準備～計測～撤収)、内業は、データの分析～変状図の作成まで経過した時間を対象に整理した。

外業においては、ICT 計測機器は潜水目視よりも作業効率が高い結果となった。また、3DS で最も作業効率が高く、1 日で作業を完了することが可能であった。また、内業は、美国漁港の調査では 3DS が最も効率的であったが、遠別・厚岸漁港の調査では、潜水目視が最も効率的となった。3DS は点群の位置合わせや補正処理等の下処理に時間がかかり、潜水目視よりも非効率となったと考える。また、遠別・厚岸漁港における水中ドローンの内業は、美国漁港より変状が少ないため、作業時間が短かったが、撮影動画の再確認や変状の規模算定の時間が嵩むことで、潜水目視・3DS と比較して非効率となった。

表-8 美国漁港における外業・内業時間の比較

美国漁港	潜水目視	水中ドローン	3DS
外 業	49:02	37:29	7:06
内 業	12:00	48:00	8:05
合計時間	61:02	85:29	15:11

※2：時間は（時：分）として標記

表-9 遠別漁港における外業・内業時間の比較

遠別漁港	潜水目視	水中ドローン	3DS
外 業	19:50	19:29	8:26
内 業	7:35	16:00	10:55
合計時間	27:25	35:29	19:21

※3：時間は（時：分）として標記

表-10 厚岸漁港における外業・内業時間の比較

厚岸漁港	潜水目視	水中ドローン	3DS
外 業	26:34	20:15	6:49
内 業	8:30	10:50	8:04
合計時間	35:04	30:05	14:53

※4：時間は（時：分）として標記

(2) 計測精度

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上で、潜水目視と ICT 計測機器の老朽化度評価の整合率を整理した。整合率は以下の(1)式のとおりである。

$$\left(\frac{\text{潜水目視・ICT技術の一致した老朽化度} / \text{潜水目視の各老朽化度} / \text{のスパン数}}{\text{潜水目視の各老朽化度} / \text{のスパン数}} \right) \times 100 \cdots (1) \text{式}$$

老朽化度評価基準を表-11 に、潜水目視と ICT 技術の老朽化度評価の比較を表-12～表-14 に示す。美国漁港で

は、水中ドローンで老朽化度 b、b1 の整合率は 70%以上となった。また、老朽化度 c に該当する矢板の発錆、岸壁のひび割れは、90%以上整合することから、水中ドローンは潜水目視の老朽化評価は概ね一致した。一方で、3DS は老朽化度 b、b1 は 50%以上が整合したものの、老朽化度 b2、c は検出できなかったため整合率は 10%以下であった。

表-11 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

項目	老朽化度の評価基準	
矢板・杭	a	腐食による開孔・変形、著しい損傷
	b1	裏埋材の流出兆候
		L.W.L 付近に多数の孔食がある
	b2	全体的に発錆
		L.W.L 付近に数個の孔食がある
	c	部分的に発錆
	d	発錆、開孔、損傷は見られない

表-12 潜水目視と ICT 技術の老朽化度評価の比較(美国漁港)

美国漁港※2	b	b1	b2	c	d
スパン数	1	13	21	11	58
水中ドローン	100%	76.9%	61.9%	90.9%	67.2%
3DS	100%	53.8%	0%	9.1%	80.0%

※5：透明度 3.2m～3.8m

表-13 潜水目視と ICT 技術の老朽化度評価の比較(遠別漁港)

遠別漁港※3	b	b1	b2	c	d
スパン数	0	0	14	0	23
水中ドローン	-	-	64.3%	-	60.9%
3DS	-	-	0%	-	65.2%

※6：透明度 1.2m～3.5m

表-14 潜水目視と ICT 技術の老朽化度評価の比較(厚岸漁港)

厚岸漁港※4	b	b1	b2	c	d
スパン数	0	1	12	22	14
水中ドローン	-	0%	8.3%	100%	64.3%
3DS	-	100%	0%	0%	92.9%

※7：透明度：1.1m～1.8m

遠別漁港では、老朽化度 b2 について、水中ドローンでは整合率 64.3%であったものの、3DS では老朽化度 b2 に該当する変状を検出できなかったため、整合しなかつ

た。また、厚岸漁港では、水中ドローンは老朽化度 b1 に該当する-3.0m 岸壁スパン 3 の変状を検出できなかったことで、潜水目視調査と不一致となった。さらに、老朽化度 b2 では潜水目視との整合率 8.3%と低い結果であったものの、矢板の発錆に該当する老朽化度 c においては整合率 100%を確保した。3DS においては、遠別漁港・厚岸漁港ともに老朽化度 b2 は検出できず、潜水目視と整合しなかったが、老朽化度 b1 の変状は計測可能であったことで、潜水目視調査と老朽化度が整合した。

5. まとめ

以上の成果を基に、水中ドローン、音響測量機器(3DS)の特徴を整理すると以下のとおりである。

(1) 濁り・流れの影響

- ①水中ドローンは、透明度 2.0m 以上であれば老朽化度 a ～c に該当する変状を計測することができる。
- ②一方で、透明度 2.0m 未満の場合、濁りの影響により岸壁の視認性が悪く、調査に適さない。さらに、計測精度が低下するため、老朽化度 b1 に該当する大きな欠損を未計測となる可能性がある。
- ③秋季(10 月～11 月)は、視認性が向上する。また、コンブの未枯れ期により付着物が減少し、水中ドローン調査に適した環境となり、調査の効率化につながる。
- ④流れは 30cm/s 以下であれば、流向と同一方向に操縦するように工夫することで、調査が可能となる
- ⑤音響測量機器は、濁り・流れの影響が軽微であり、現地調査や計測精度に影響を受けない。

(2) ICT 計測機器による施設点検の計測精度

- ①水中ドローンは、透明度 2.0m 以上であれば、老朽化度 a-d の変状を計測することが可能である。
- ②音響測量機器は、濁り・流れの影響を受けなく、老朽化度 b1 以上の変状は計測可能であるが、老朽化度 b2～c に該当する変状を計測することは困難である。

(3) ICT 計測機器による施設点検の計測効率

- ①外業においては、3DS>>水中ドローン>潜水目視の順に作業効率が高い。
- ②内業は 3DS≧潜水目視>>水中ドローンの順であり、水中ドローン調査のデータ分析に多くの時間を要する。

6. 今後の展望

(1)水中ドローン調査の内業の効率化に向けて

水中ドローン調査の外業は潜水目視よりも効率的であるが、内業は潜水目視よりも非効率となることが明らかとなった。この要因は、取得動画の見直しや形状・規模の算定に多くの時間を要することが要因であり、内業作

業の効率化が課題である。

トンネル・橋脚のひび割れ点検では、ディープラーニングを利用したAIによって、ひび割れの自動検出技術が確立されており、変状箇所が自動検出が可能である。このため、AI技術を水中部の変状に応用し、内業作業を自動化することで水中ドローンの内業の効率化につながるものとする。しかし、水中部の欠損・ひび割れを検出するディープラーニングを構築するには、①濁り・浮遊砂等のデブリ除去技術の構築、②欠損・ひび割れのサンプル資料の収集と学習、③付着物と構造物の分類のアルゴリズムの構築、といった漁港特有の課題が考えられるため、AI技術の発展が期待される場所である。

(2) マニュアル(案)の作成

R4・R5年度の現地調査により、ICT計測機器の計測精度・計測効率・濁り・流れに対する適用性について知見を得ることができた。これらの知見は、ICT計測機器のデメリットを明確にするものではあったが、一方で、海象条件や調査数量に応じてICT計測機器・潜水目視を使い分けることで、効率的かつ老朽化度a～dの評価を満足する調査が可能であることが示唆される。しかし、水中部の老朽化調査を潜水目視からICT計測機器に代替するためには、発注者・受注者間でICT計測機器の計測精度・計測効率の知見を共有し、定期点検に活かすことが求められる。このため、ICT計測機器の特性に加え、現地調査方法や調査の留意点・対応策をマニュアルに整理し、広く公表する予定である。マニュアルの構成(案)を表-15に示す。

表-15 マニュアル(案)の構成

項 目	内 容
1.総論	マニュアルの目的、用語の定義、老朽化点検の現状
2.現地調査手法	ICT 計測機器による老朽化調査手法
3.画像解析方法	水中ドローン・垂下式カメラによる画像データの解析方法
4.点群解析方法	3DS・NMBによる点群データの解析方法
5.ICT機器の特性	ICT 計測機器の計測精度・計測効率・適用性・積算項目
6.留意点・工夫点	現地調査における留意点・工夫点
7.安全管理対策	安全管理体制・行政手続き

参考文献

- 1)ICT 技術による漁港施設の施設点検の有効性について、局技研、令和 5 年 2 月
- 2)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、水産庁、平成 27 年 5 月