

「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～

一般社団法人水産土木建設技術センター

牟田直樹
岩本典丈
完山暢
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

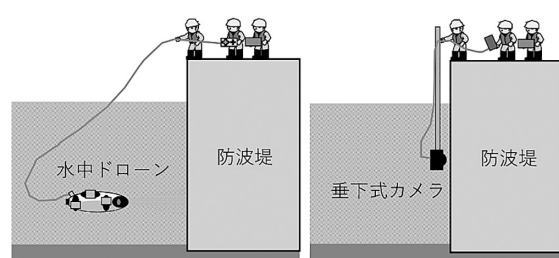
目 次

1. はじめに	78	(3) 点検手法	81
2. 手引きの概要	78	(4) データの結合作業	83
(1) 手引きの構成	79	3. おわりに	83
(2) 活用範囲	79		

1. はじめに

漁港施設の水中部点検は、潜水土による目視調査が主体であるが、近年の潜水土不足や高齢化を背景に、安全性や効率性等、作業環境の改善が求められている。また、潜水土の技量による点検結果のバラツキが指摘されることもあり、客観的な点検手法が必要とされている。

水産庁はこれまで、音響機器を活用した水中部点検に対する適用性を検証し、「センシング技術を活用した漁港施設の点検の手引き/R3.3」、「水産基盤施設の点検における新技術活用指針/R4.3」を公表してきたが、音響機器では老朽化初期に生じるコンクリートのひび割れ、小規模欠損、鋼材の開孔や発錆等の検出は困難とされている。



図－1 光学機器による水中部点検の概念図

当センターは水産研究・教育機構らと共同で、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」に取り組み、この中で、漁港施設の水中部点検における光学機器の活用範囲や点検手法を検討し、その成果を「光学機器を活用した水産基盤施設の点検の手引き/R4.3」（以下、手引きという。）としてとりまとめたため、ここに紹介する。

2. 手引きの概要

手引きで紹介している水中部点検技術は、近年産業利活用が進んでいる汎用機器の「水中ドローン」と漁港管理者が容易に点検できる手法としての「垂下式カメラ」である（図－1 参照）。水中ドローンは、従来型（BlueROV2）と最新型（FIFISH V6s、FIFISH V6 PLUS）を選定し（表－1 参照）、老朽化点検に対する適用性を検証した。大きな違いは、浮力体と錘で姿勢制御する従来型に対して、最新型はジャイロセンサーとスラスターで姿勢制御するため運動性能が著しく向上している。垂下式カメラは、長さ5mの伸縮ポールに水中カメラ（GoPro）を固定した機器で検証した。

表－1 検証で使した光学機器

機器名	仕様
 QYSEA社製 FIFISH V6s	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：4000ルーメン(V6) 6000ルーメン(V6 PLUS)
 FIFISH V6 PLUS	[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）
 BlueRobotics社製 BlueROV2	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
 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° ※長さ5mの伸縮ポールに固定して使用

（1）手引きの構成

手引きの目次構成を示すが、本稿では、第4章の内容について紹介する。

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

（2）活用範囲

水中ドローンや垂下式カメラによる点検は、潜水土による目視調査と同等の点検が可能である。また、安定的な撮影が可能な環境条件（流速や濁度等）も、潜水土の場合と比べて遜色がない（表－2 参照）。

このため、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）における活用が有効である。また、垂下式カメラは、日常点検（陸上目視）において付加的に活用することで、簡易かつ安価に水際線の状態把握を行うことができる（表－3 参照）。

表－2 安定的な撮影が可能な環境条件の参考値（室内性能試験の結果）

	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
	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

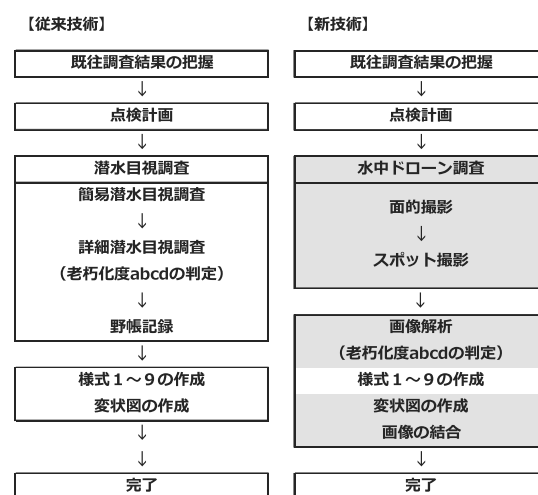
表－3 各点検における光学機器の考え方

	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 詳細	老朽化状況の概観把握 水中ドローン 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
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。

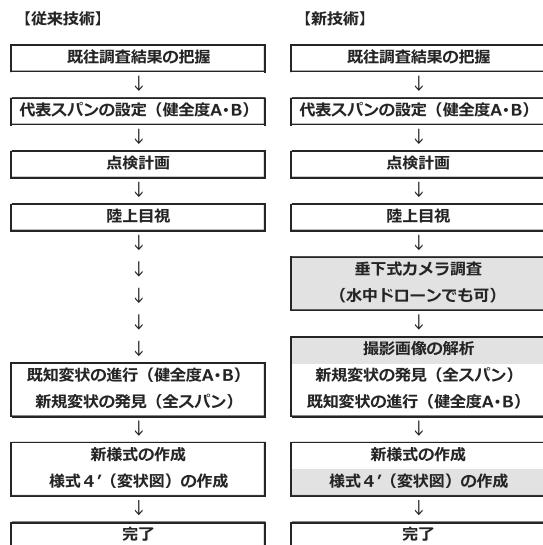
定期点検では、図－2に示すとおり、水中ドローンの活用により、従来技術と比べて現地作業時間の短縮（省力化）、点検費用の削減（効率化）、撮影動画に基づく老朽化度判定や変状図作成（高度化）、変状図以外の周辺情報の記録（高度化）といった効果が期待できる。日常点検では、図－3に示すとおり、垂下式カメラの活用により、潮間帯の追加調査（高度化）、撮影動画に基づく変状図作成（高度化）といった効果が期待できる。

定期点検（詳細調査：潜水目視調査）



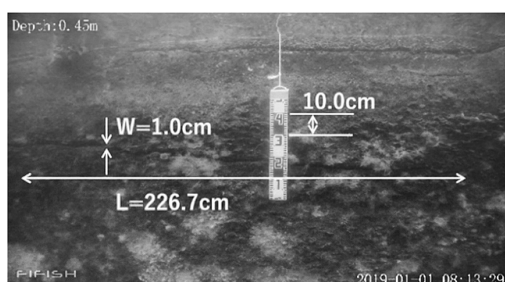
図－2 定期点検における水中ドローンの適用フロー（例）

日常点検（簡易調査/簡易項目）

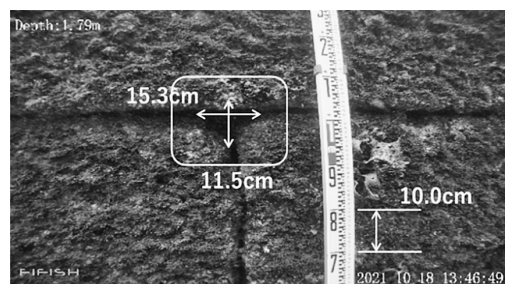


図－3 日常点検における垂下式カメラの適用フロー(例)

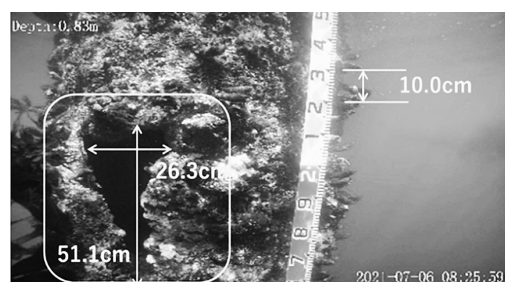
「水産基盤施設ストックマネジメントのためのガイドライン 巻末資料2」に示される潜水目視調査に係る老朽化度の評価基準に対して、ほとんどすべての項目に対して光学機器は適用可能である（表－4、写真－1～5参照）。



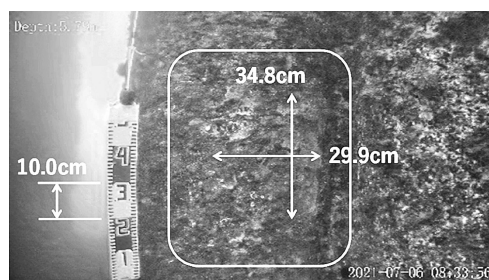
写真－1 コンクリートのひび割れ(判定b)



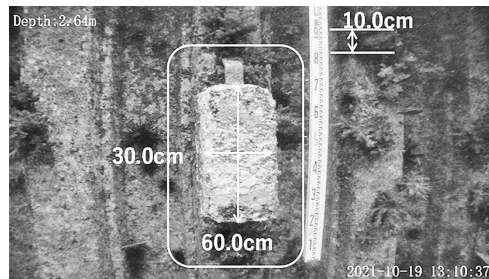
写真－2 コンクリートの欠損(判定b)



写真－3 鋼材の開孔(判定a)



写真－4 鋼材の発錆(判定c)



写真－5 電気防食工(判定d)

表－4 老朽化度の判定基準と光学機器の適用性

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 詳細潜水	光学機器 簡易潜水
本体工	CO劣化損傷 (RC)	a 中継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	○ ○ ○
		c 複数方向に幅3mm程度のひび割れ	○ x ○
		d 局所的な鉄筋露出	○ ○ ○
	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	○ ○ ○
		c 幅1cm以上のひび割れ	○ ○ ○
		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	○ ○ ○

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 詳細潜水	光学機器 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	○ ○ ○
		c 全体的に発錆	○ ○ ○
		d 部分的に発錆	○ ○ ○
	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、保護力バーに欠損	○ ○ ○
		c 鋼材まで達していない傷・はがれ等の損傷、保護力バーに損傷	○ ○ ○
		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）	○ ○ ○
		c 陽極取付の不具合（軽度な消耗）	○ x ○
		d 陽極取付の不具合（ゆるみ）	○ x x
被覆工	移動散乱	a 欠陥等の異常なし	○ ○ ○
		b 被覆工の散乱かつ捨石材の流出	○ ○ ○
		c 被覆工の移動、散乱	○ ○ ○
		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、変色等は大き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。

(3) 点検手法

光学機器を用いた点検手法については、図-4に示す点検実施フローに沿って紹介する。

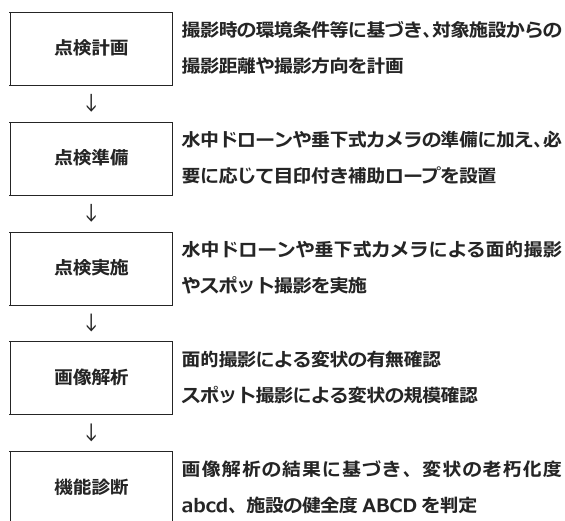


図-4 光学機器を用いた点検実施フロー

①点検計画

点検計画の立案に際しては、図-5に示すような点検方法を事前にイメージすることが重要である。

【人員構成】

操作 1 名、ケーブル捌き 1 名、記録 1 名の

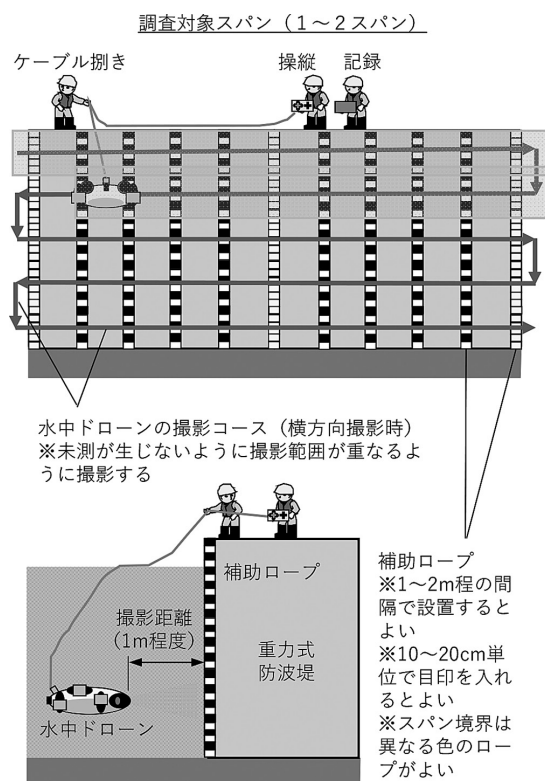


図-5 点検計画の立案イメージ(面的撮影、横方向撮影時)

3名体制で計画する。

【調査対象スパン】

1~2スパン毎に計画する。

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する。

【対象施設からの撮影距離と撮影方向】

撮影距離は、点検の精度と効率性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0.5~2mの範囲で調整する。

撮影方向は、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」が容易であり、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。

【安全対策】

安全対策として、撮影前には海藻や漁網の有無を確認する工程を計画する。

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、操作性向上のための日よけ傘やタープ、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等を準備する。

補助ロープは、水中撮影を円滑に実施するための操作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(写真-6参照)。

③点検実施

【水中ドローン】

面的撮影の場合、操作者は、前回点検等で



写真-6 スケール(巻き尺)の垂下状況および補助ロープの設置状況(1m間隔)

事前に入手した変状情報がある場合でも意識せず、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。スポット撮影の場合は、既知の変状に対して意識的に多方向から撮影する。

ケーブル捌き担当者は、操作者に代わり調査対象スパン上を移動するとともに、調査対象スパン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する。

記録者は、調査対象の施設・スパンへの誘導や、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時刻と撮影終了時刻の記録を担当する（写真－7参照）。



写真－7 水中ドローンによる撮影状況

【垂下式カメラ】

操作者は、安全に操作できるポールを使用し、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と同時に水際線を撮影する。

ケーブル捌き担当者は、操作者とともに移動し、安全かつ円滑な撮影を補助する。

記録者は、水中ドローンの場合と同様である（写真－8参照）。



写真－8 垂下式カメラによる撮影状況

④画像解析

【変状有無の確認】

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。

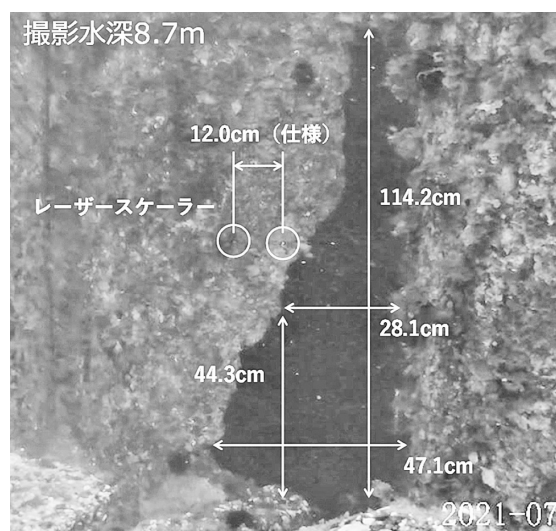
変状を確認した場合、水深や位置、変状種類を記録するが、水深や位置の特定については、目印付き補助ロープや機種によって付属する水深計等の情報から行う。

【変状規模の計測】

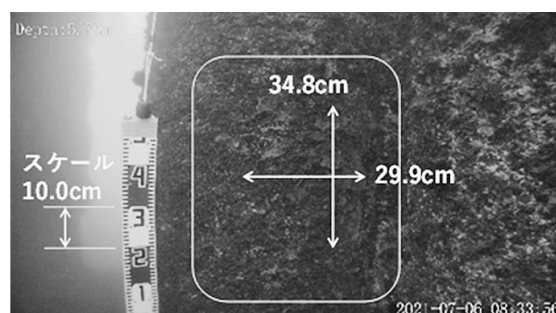
変状の規模は、スポット撮影で取得した静止画像や、面的撮影で取得した動画から切り出した静止画に基づき計測する。

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（写真－9、10参照）。

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。



写真－9 レーザースケラーによる計測結果



写真－10 スケール（巻き尺）による計測結果

⑤機能診断

画像解析の結果と「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)」に基づき、機能診断を行う。

(4) データの結合作業

面的撮影で取得した動画から一定の間隔で静止画を切り出し、市販の画像処理ソフトを使用して一枚の平面画像に結合できる(写真-11～14参照)。この結合した平面画像は、施設全体の概況等、潜水土が目視していた全ての情報が一枚の画像として保存・共有できること、拡大・縮小機能を用いて俯瞰的・局所的な状態把握が容易であること等、変状図と同様、機能保全計画の参考情報として有益である。

ただし、水中で取得した画像には正確な位置情報が付与されていないため、単に結合しただけでは画像に「ゆがみ」があり、画像処理ソフト上やUAV分野で用いられる「オルソ化」とは異なることに留意する必要がある。また、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まで撮影しておく必要がある。

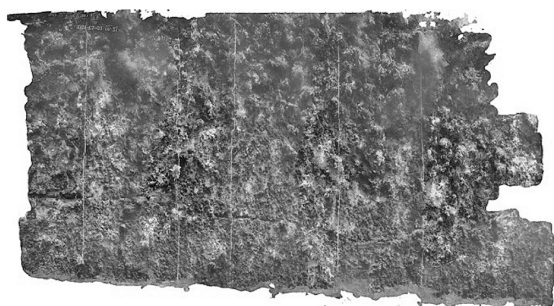


写真-11 重力式防波堤の平面画像

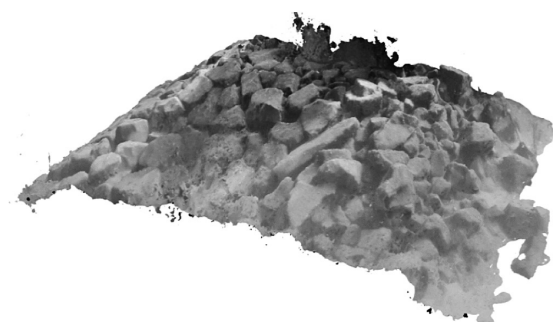


写真-14 防波堤被覆工の3次元表示画像



写真-12 矢板式係船岸の平面画像

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である。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)やセンシング技術等(水中3Dスキャナー、ナローマルチビーム)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。



写真-13 鋼管矢板式防波堤の平面画像