

水中ドローンによる漁港施設 水中部の点検と他分野への活用



2024年2月26日

第15回
横浜技調技術交流会



環境調査事業本部
技術開発室 室長

古殿 太郎
ftarou@ideacon.co.jp
Tel : 022-263-5826

各種インフラの定期点検について

インフラ定期点検の頻度・方法、老朽化度の判断基準は[ガイドライン](#)や[要領](#)に準じる

第15回 横浜技調技術交流会

【国土交通省】

港湾の施設の点検診断ガイドライン（防波堤、護岸、栈橋等）
道路橋定期点検要領、橋脚定期点検要領（河川橋脚水中部）
堤防等河川管理施設及び 河道の点検・評価要領（護岸、水門、樋門、水制等）

【水産庁】

水産基盤施設の維持管理点検マニュアル（漁港の防波堤、護岸、栈橋等。基本は港湾と同じ）

点検の種類：[これまでの目視が前提](#)

【定期点検】

簡易調査：施設全体を対象に5～10年/回の頻度で実施。陸上または海上からの目視。
詳細調査：簡易調査結果から対策が必要な施設が対象。陸上・海上・潜水（必要に応じて）の目視

【日常点検】：管理者や使用者が日常的に実施するごく簡易な点検。基本は目視。

【臨時点検】：台風や地震等による破損や応急処置の要否を確認するために実施。
方法は日常点検に準じる。

水産庁はH29年度から「漁港漁場施設の長寿命化対策検討調査」の一環としてセンシング技術（音響機器、UAV）を活用した点検手法を検討

水中部

【従来点検（潜水目視）の課題】

- 潜水士の不足・高齢化
- 潜水士による成果のばらつき
- 潜水作業による時間・労力・危険度増



【H30】マルチビーム活用検討

- スクリーニング
- 音響計測・精度確認
- 点検への適用性検討
- 手引き案作成

【課題】

- 水面付近の計測が困難
- 老朽化判定困難な項目有り
- 鋼構造物（矢板等）への適用性が低い

海上・陸上部

【従来点検（調査員目視）の課題】

- 調査員による成果のばらつき
- 高所作業・立ち入り困難施設



【H29】UAV活用検討

- UAVによる画像撮影
- 画像処理、3D化、変状抽出
- 点検への適用性検討
- 手引き案作成

水産工学会（H30春）で発表された水中3Dスキャナの活用を検討（R元年）

音響機器による漁港施設点検・診断技術の高度化

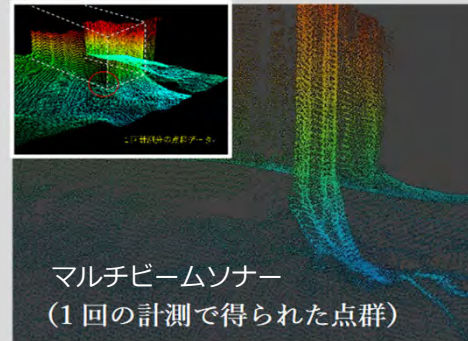
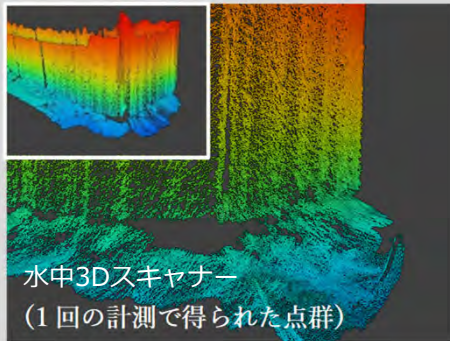
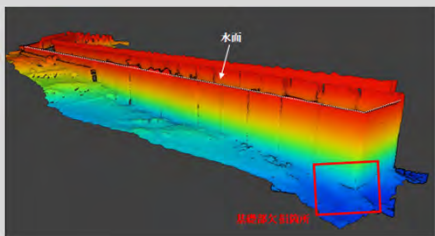
水中3Dスキャナーは10cm以上の欠損で老朽化度判断に適用可能

第15回 横浜技調技術交流会

重力式防波堤

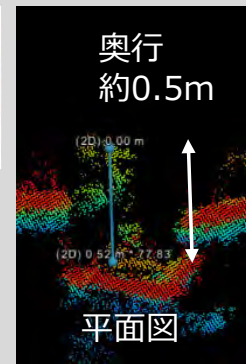
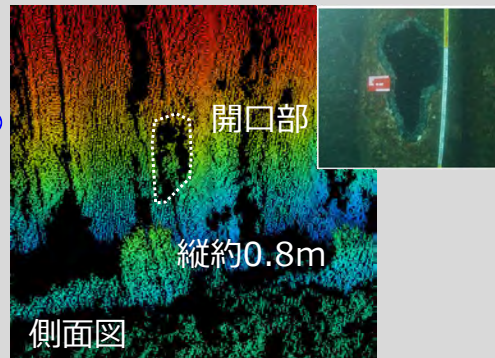
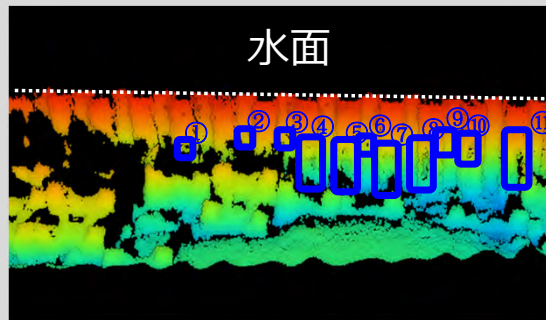
センシング技術を活用した漁港口点検の手引き (水産庁)

令和3年3月公表



潜水目視による 老朽化度の判断基準		判定可否	
		3DSC	マルチビーム
a	性能に影響を及ぼす程度の欠損がある。	○	○
b	幅1cm以上のひび割れがある。	×	×
	小規模な欠損がある。	○ 10cm程度	△ 50cm程度
c	幅1cm未満のひび割れがある。	×	×
d	老朽化なし。	×	×

矢板護岸



潜水目視による 老朽化度の判断基準		判定可否	
		3DSC	マルチビーム
a	腐食による開孔や変形、 その他著しい損傷がある。	○ 10cm程度	△ 50cm程度
	開孔箇所から裏理材が 流出している兆候がある。	L.W.L付近 計測○	L.W.L付近 計測×
b	L.W.L付近に孔食がある。	×	×
	全体的に発錆がある。	×	×
c	部分的に発錆がある。	×	×
d	付着物は見られるが、発錆、 開孔、損傷は見られない。	×	×

音響機器ではひび割れ・サビ・変色は不可




水中ドローンでの微細な変状把握を検証

そもそも水中ドローンとは？ 実は明確な定義は無い。

第15回 横浜技調技術交流会

【 FIFISH 】 近年市販。ジャイロとスラスタで姿勢制御、空中ドローンの技術を転用・流線形。
→操作性・動力性能が著しく向上かつ低価格。

【BlueROV】 10年ほど前から広く普及している。ペイロードが大きく各種機器を取り付け可能。
浮力体と錘で水平姿勢保持、箱型で水の抵抗が大きい。→操作・取扱いに習熟が必要。

水中ドローン	仕様	BlueRobotics社製 BlueROV2
<p>QYSEA社製 FIFISH V6</p>  <p>参考本体価格：40万</p>	<p>機体サイズ：383mm×331mm×143mm 空中重量：約5kg 最大速度：3ノット 駆動時間：6時間(バッテリー交換不可) 外部からの電力供給可能(オプション) カメラ解像度：12MP、<u>4K UHD</u></p> <p>[FIFISH V6 PLUS 独自機能]</p> <ul style="list-style-type: none">・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	 <p>参考本体価格：150万</p> <p>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、<u>1080p</u> ライト照度：6000ルーメン GoPro等外付け可能</p>
<p>FIFISH V6 PLUS</p>  <p>参考本体価格：150万</p>		

室内試験 波浪、流速、濁度

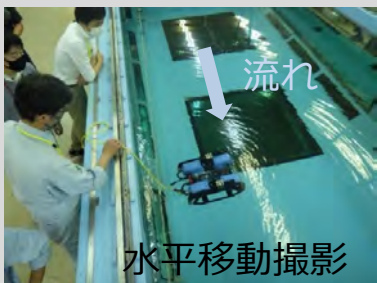
波浪、流速、濁度に対する水中ドローンの制御限界・撮影限界の把握

【波浪】



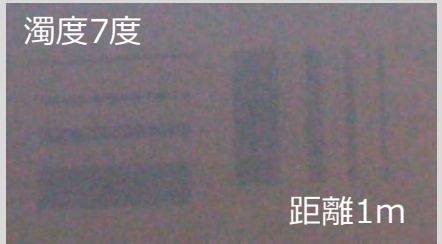
造波水路
長さ100m×幅2m×深さ2m

【流速】



回転水槽
長さ7.8m×幅2.8m×深さ1.4m
最大流速1.85m/sec

【濁度】



【室内性能試験のまとめ】

- 波浪や流速に対する性能は流線形のFIFISHがBlueROVと比較して高かった。
- 実際の撮影では、濁度は5度以下、対象物からの距離は1mが最適。

		機体形状	
		流線形 (FIFISH)	矩形 (BlueROV)
波浪限界	波高 (cm)	14	14未満
	周期 (sec)	1	1以上
流速限界	流速 (m/s)	0.5	0.3

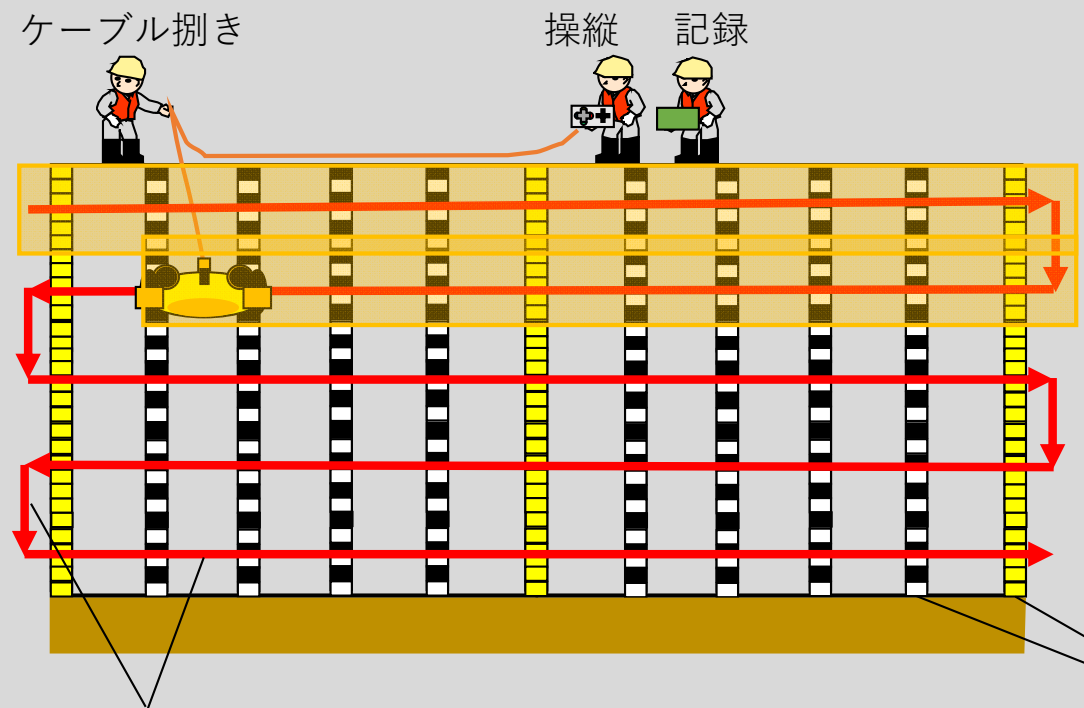
		動画画質	
		4K (FIFISH、GoPro)	1080P (BlueROV)
濁度限界 (度)	欠損・開孔5×5cm	12	9
	ひび割れ3mm	7	4
	被度3%	5.5	5.5

現地試験 面的撮影

初めて点検する漁港施設を想定し、事前の変状情報が無いことを前提で面的撮影を実施。

【面的撮影方法】

- 調査対象区域をくまなく撮影し、得られた動画から潜水目視の簡易点検と同様に変状の有無や概要を確認
- 適切な撮影方法（上下または左右移動等）や機種による操作性・撮影時間の差異も比較
- 多項目水質計や流速計等により濁度・流速・波高も計測



水中ドローンの撮影ルート（横方向撮影時）

現地試験結果 面的撮影 フォトグラメトリ

撮影した動画から撮影対象区域全体の静止画（統合画像）を作成

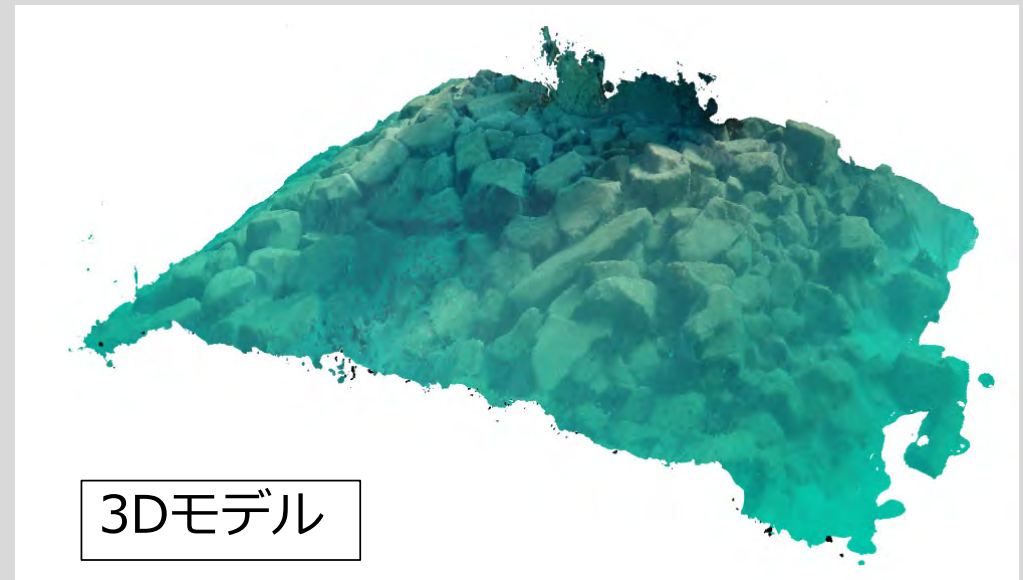
第15回 横浜技調技術交流会

【面的撮影方法】

- 動画から0.3~0.5秒ごとに静止画をキャプチャ
- 数百枚の静止画を市販ソフト（Metashape）で処理して統合・3Dモデル作成。空中ドローンでは一般的な手法だが、水中動画はブレが大きく画質も低い^{ため}、これまではうまくいかなかった。
→流れや波によりROVの姿勢や撮影対象までの距離が不安定。画質は1080p（空中ドローンは4K）
- FIFISHで得られた動画はブレが小さく4Kのため統合画像・3Dモデルが作成できた。BlueROVでも歪みは大きい^が作成できた。



統合画像



3Dモデル

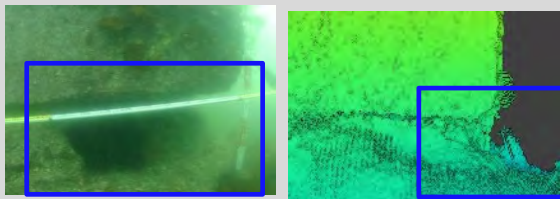
現地試験結果 CO構造物と鋼構造物の面的撮影

CO構造物（重力式防波堤）と鋼構造物（鋼矢板）でフォトグラメトリを実施

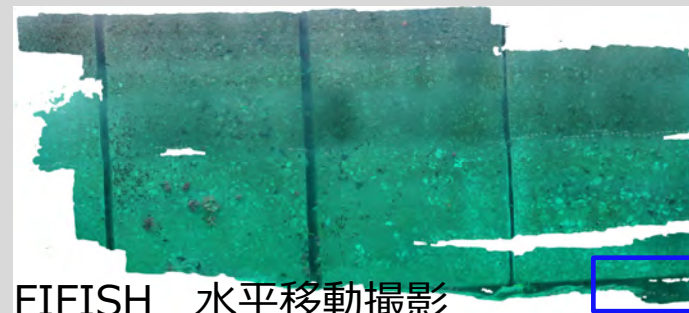
第15回 横浜技調技術交流会

【重力式防波堤】

欠損
(2.1×0.7m)



欠損



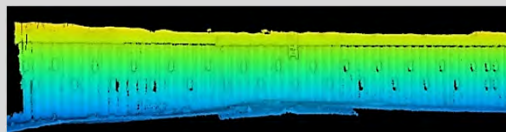
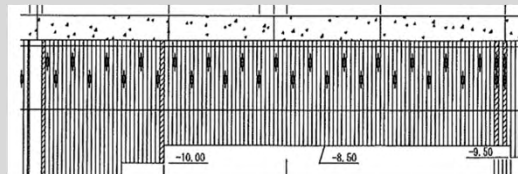
FIFISH 水平移動撮影



鉛直移動撮影

【鋼矢板】

矢板護岸と防食陽極



FIFISH 鉛直移動撮影



- FIFISH、BlueROVとも動画からCO構造物の欠損や微細なひび、鋼構造物の腐食や開孔部を明瞭に確認できた。
- 流速が速い場合、CO構造物では鉛直移動による撮影では水中ドローンが流されて未撮影部が発生した。
- 鋼矢板は凹凸が鉛直方向に連続しているため、凹凸に沿った鉛直移動による撮影が効率的であった。

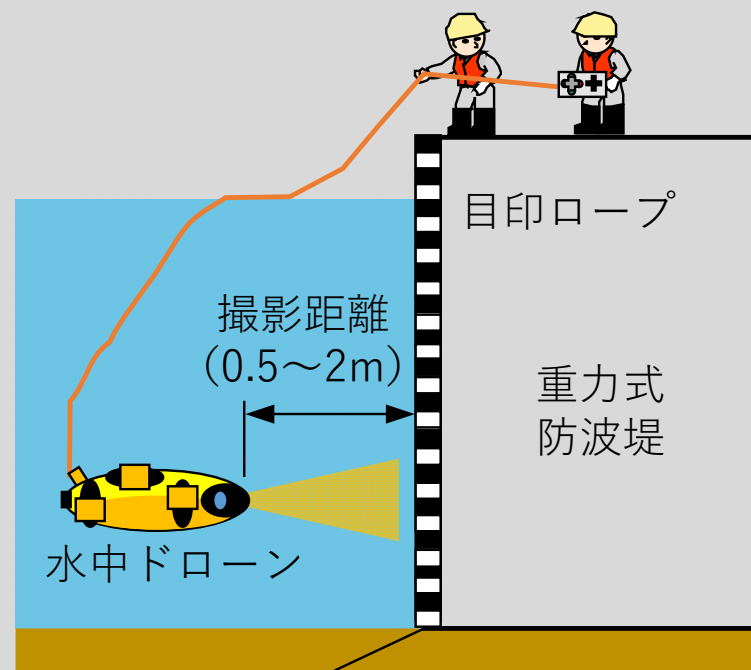
現地試験 スポット撮影

事前の変状情報が有ることを前提でスポット撮影を実施（変状の経年変化確認を想定）

第15回 横浜技調技術交流会

【スポット撮影方法】

- あらかじめ位置や形状を把握している変状を撮影し、得られた動画から変状の形状・サイズを確認（詳細調査）
- 水中ドローンのレーザースケーラーによるサイズ計測も実施



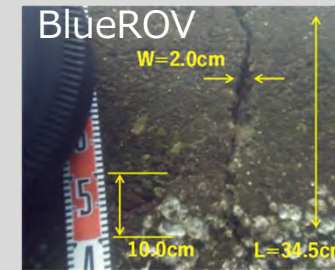
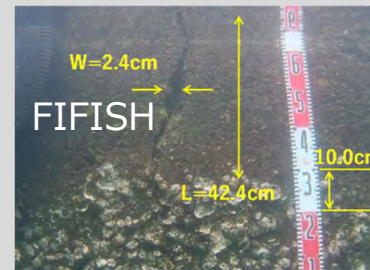
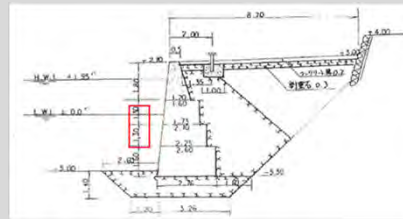
現地試験結果 CO構造物と鋼構造物のスポット撮影

CO構造物（重力式護岸）と鋼構造物（栈橋式防波堤）で変状のサイズを測定

第15回 横浜技調技術交流会

【重力式護岸】

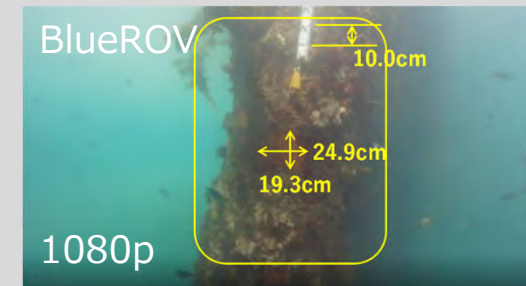
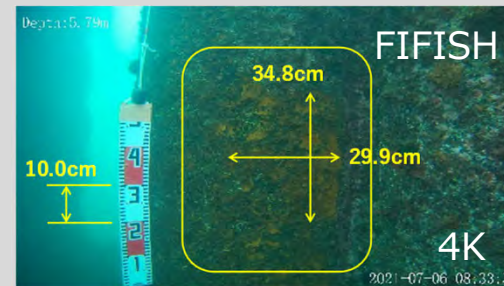
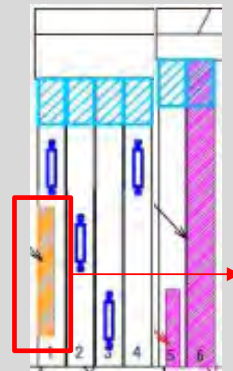
ひび割れ
(幅3mm以下)



【栈橋式防波堤鋼管】

腐食

潜水目視

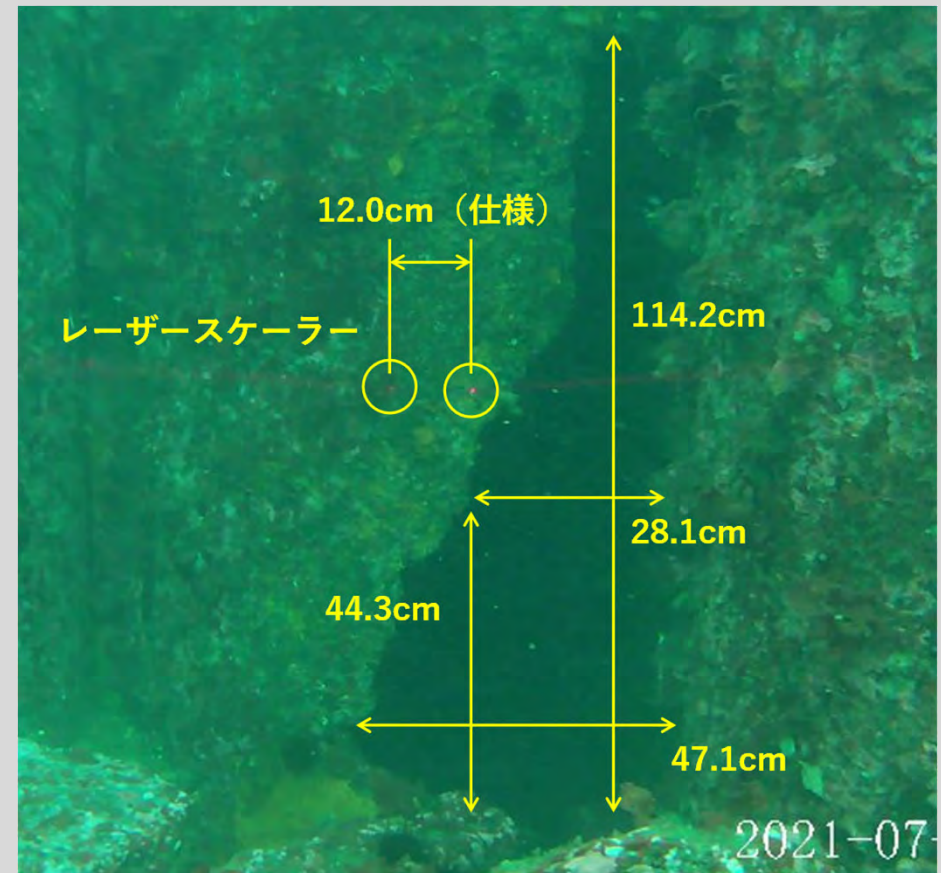


- FIFISH、BlueROVとも音響機器では計測できない微細なひびや鋼管の腐食も明瞭に確認できた。
- スタッフを垂下し目盛から変状の大きさを推定したが、変状に密着しないため誤差が大きい。

- FIFISH、BlueROVは**レーザースケーラー**を搭載可能。変状撮影に活用する事により**正確にサイズを計測**することができた。
- 機種によりソナーによる距離ロックやAIによるフォーカスロック等の機能がある。
- レーザースケーラーは**濁りが強いと使用できない**。



レーザースケーラー



大槌漁港鋼管矢板基底部変状のサイズ計測

- 濁度が低い場合、計測対象とした**すべての変状**に対し、水中ドローン及び垂下式カメラの**適用性が確認された。**

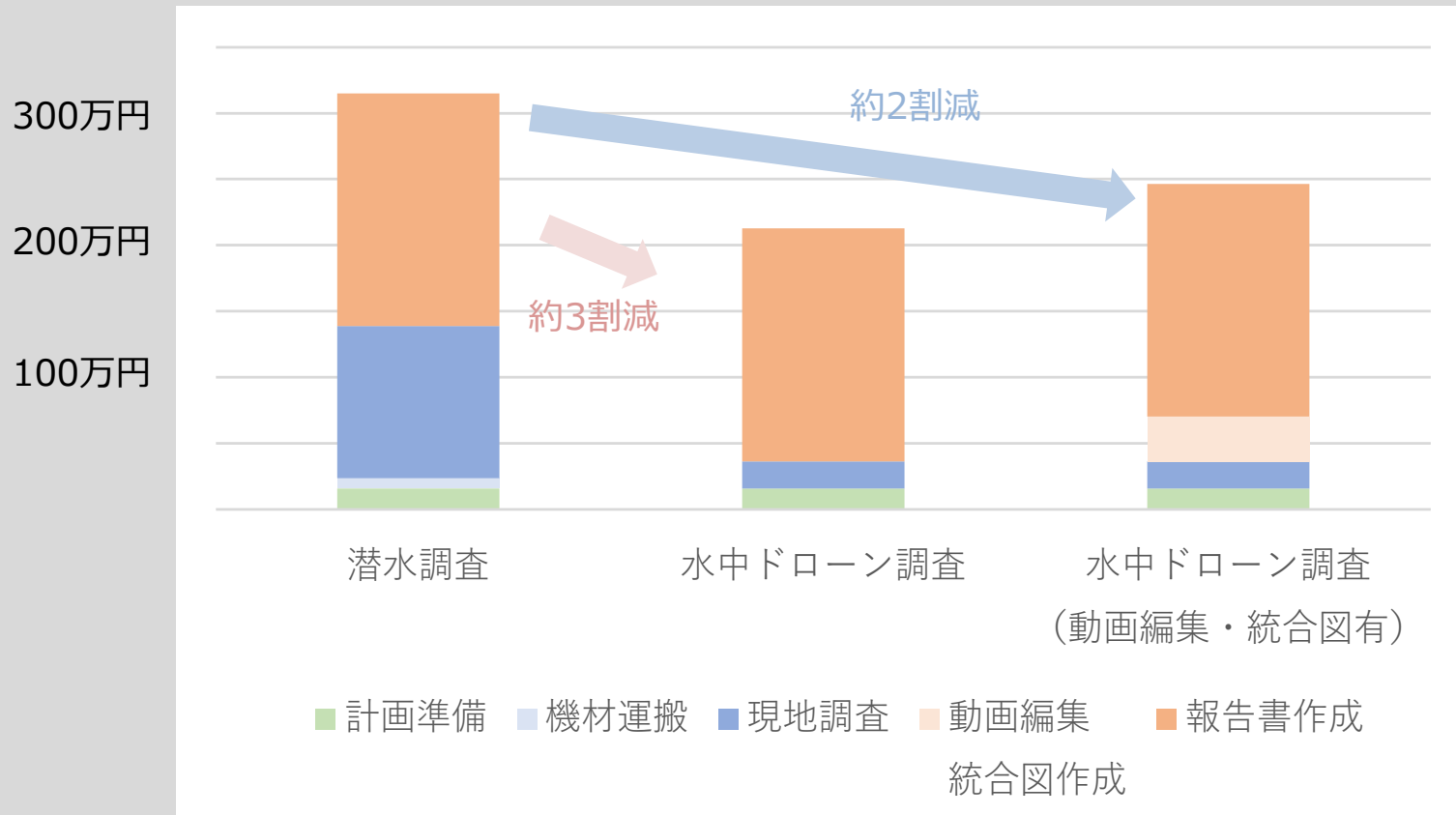
光学機器による計測対象		漁港施設		備考	適用性
		構造	水深		
C O 構 造	本体ブロックの欠損	ケーソン式 直立堤	2.0	欠損のある適地として選定。 潮流が速く、操作性の検証にも有効。	○
	ひび割れ W = 1~3mm	重力式	2.0	初期のひび割れのある適地として選定。	○
	欠損、ひび割れ W = 5~30mm	コンクリート 直立堤	7.0	大小ひび割れのある適地として選定。	○
	欠損、ひび割れ W = 0.5~3mm	コンクリート 直立堤	2.0		○
鋼 構 造	発錆、電気防食	矢板式護岸	5.0	電気防食のある適地として選定。	○
	開孔、発錆	鋼管矢板式 護岸	10.5	鋼構造の変状撮影の適地として選定。	○
	開孔	直立式 鋼管棧橋	2.0	音響機器では計測困難な変状があるため選定。	○

潜水目視との費用比較

点検面積が3,600m²の場合

第15回 横浜技調技術交流会

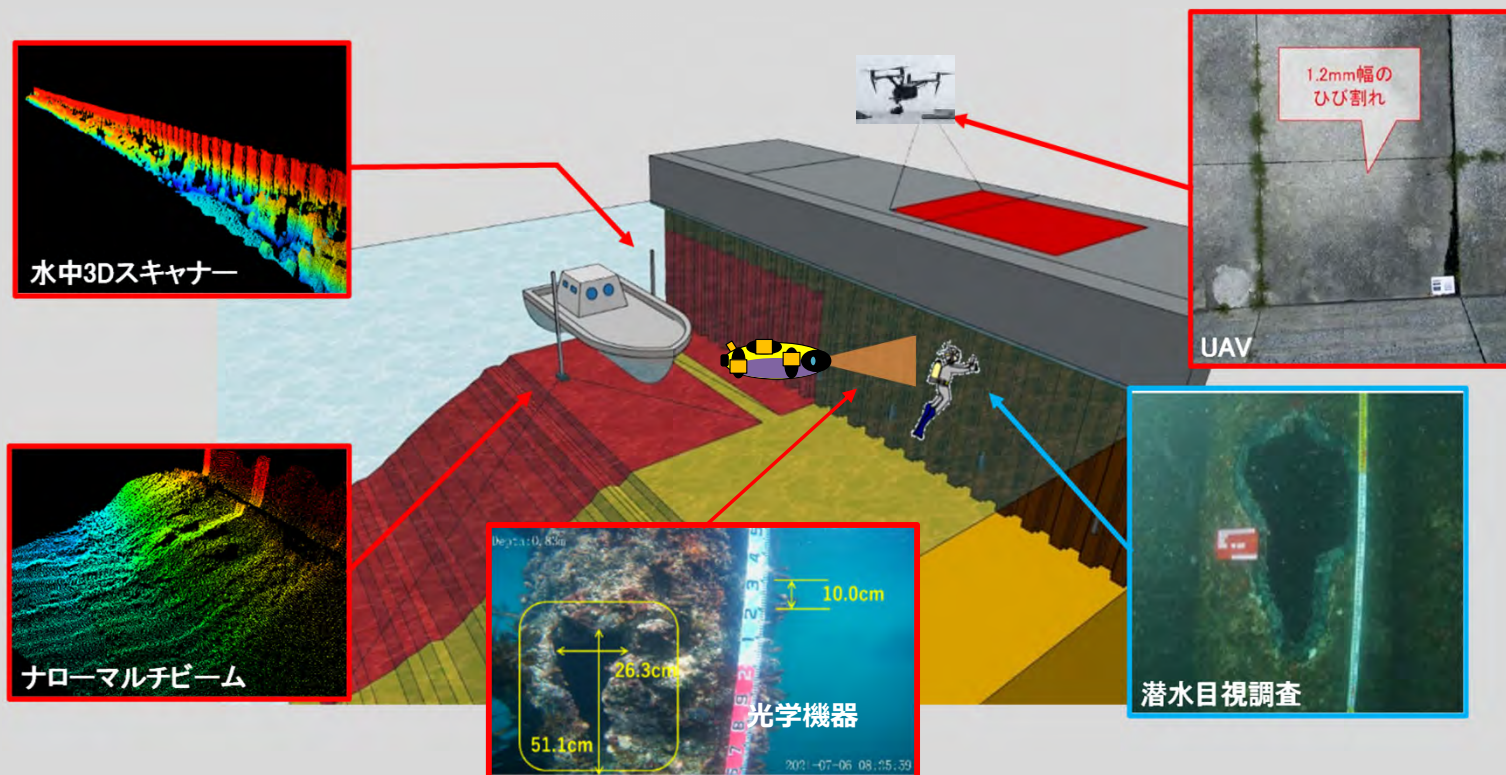
現地調査日数：潜水調査⇒3日 水中ドローン調査⇒2日



水中ドローンは現地調査費用が大幅に削減され、潜水調査に比べ約3割の費用減となった。

水産庁漁港長寿命化 指針・手引きへの反映

- 試験結果は「光学機器を用いた水産基盤施設の水中点検の手引き」としてとりまとめ。
- 手引きは「水産基盤施設の点検における新技術活用指針/R3.3」に反映、改訂版としてR4.3月公表



水中曳航体の仕様と撮影概要

- 市販のROVとサイドスキャンソナーを組み合わせた水中曳航体を開発した。調査船で曳航することにより、画像を確認しながら短時間で広範囲の撮影が可能。

水中曳航体 仕様	
大きさ (縦×横×高)	60cm×40cm×40cm
空中重量	16kg
最大水深	50m (サイドスキャン使用時) 100m (カメラ撮影のみ)
曳航可能 距離	最大：12km/日 (過去実績：5km/日)
搭載機器	①小型ROV(カメラ付)×1 ②4K水中カメラ (GoPro) ×2 ③水中ライト×2 ④サイドスキャンソナー×1 周波数：1MHz ビーム幅片舷0.3° ×60°



ROV

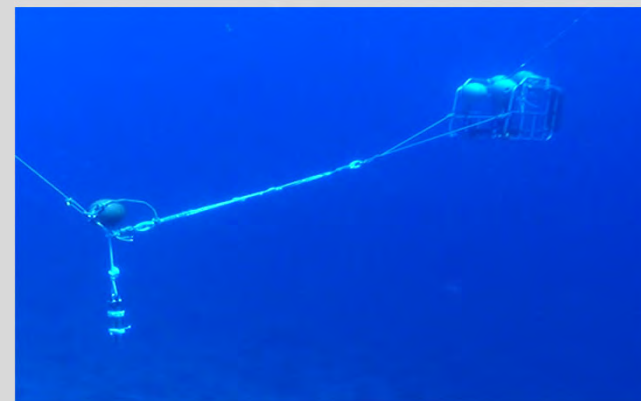
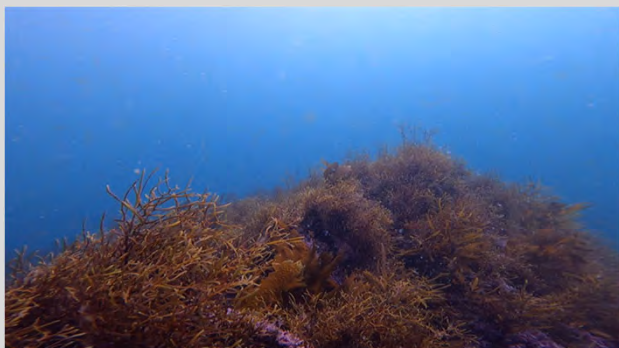
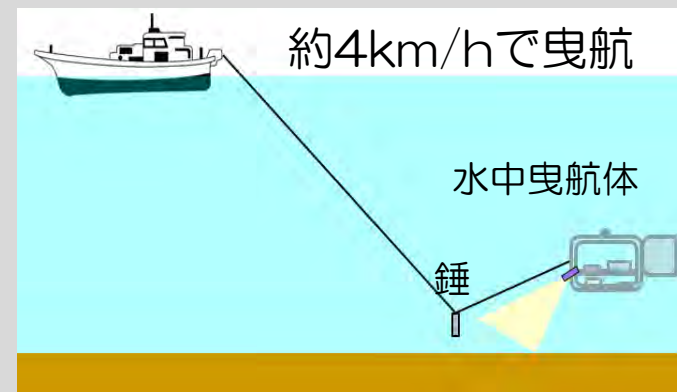
サイドスキャン
ソナー

水中曳航体：フレームにフィンや錘をつけて使用

水中曳航体による撮影概要

藻場や岩礁域の撮影事例

- 調査船から約4km/hで曳航し、船上で海底状況を確認しながら4Kカメラで撮影
⇒ 地形変化に対応可能

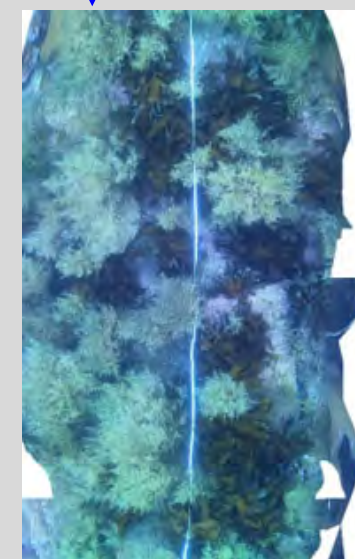
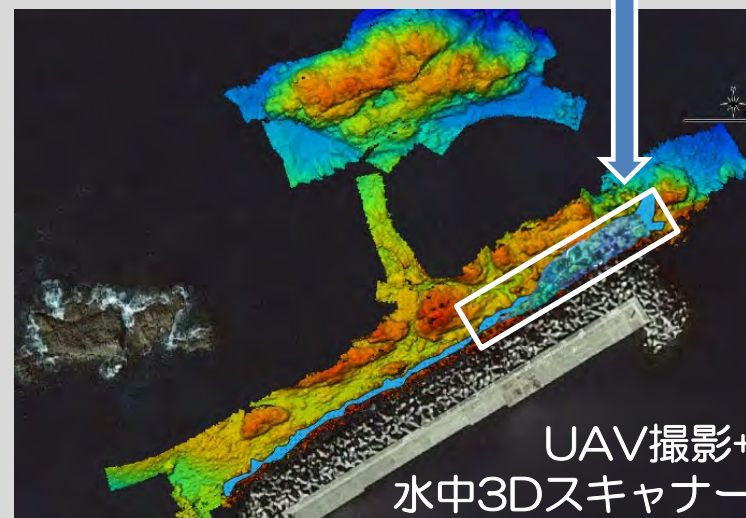


前方だけでなく真下もGOPROで撮影

UAV+水中3Dスキャナー+曳航体による成果イメージ

インフラ施設と周辺の海底地形、藻場分布状況を3Dデータとして重ね合わせ

第15回 横浜技調技術交流会

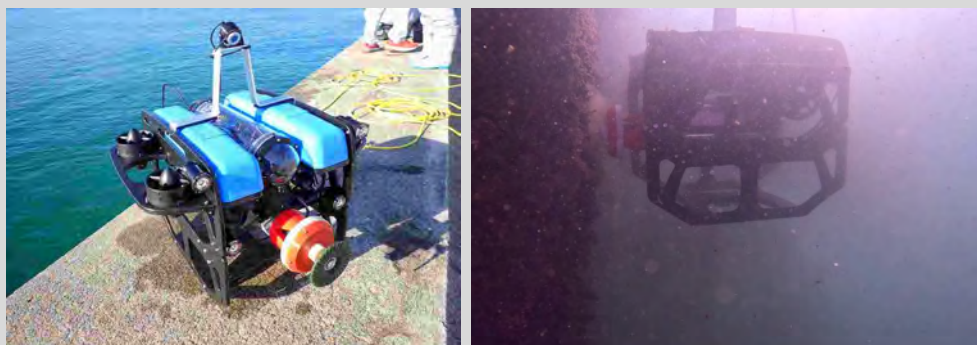


- 大規模港湾は濁度が高い水域に多く、通常の4kカメラ搭載水中ドローンでは点検が困難。更に水中でのドローンの位置を“座標”で把握できないためフォトグラメトリで作成した「統合図や3Dモデル」には歪みが残り正確な位置情報が付与されていない。デジタルDXへの活用を念頭に、画像鮮明化・解析技術や水中測位技術の高度化が期待される。
- 得られた点検成果や統合図、3Dモデルによる効率的なインフラ管理を実現するためにはCyber Portへの活用が不可欠。画像撮影～画像解析・3Dモデル作成～Cyber Portへの登録までをシームレスに行えるシステムの開発が望まれる。
- 水中ドローンは国土交通省のNETISや港湾・河川・橋脚水中部のインフラ点検新技術カタログにも登録されている。技術的な難易度が低いため、あらゆる場を通じて普及促進を図る。
- 現状の点検ガイドラインは潜水士による目視を前提としており、水中ドローンにはハードルが高い。音響機器やロボットの活用を前提として点検をどこまで簡素化できるか検討が必要。

- ケレンを伴う肉厚測定など、潜水作業が必要不可欠な点検分野が残されており、さらなる新技術の開発が求められる。

➡ ケレン・肉厚測定水中ドローンを開発し、海プロジェクト（神戸市主催）において海域実証を実施中。今後活用予定。

ケレン水中ドローン



肉厚測定水中ドローン



御静聴ありがとうございました。