

# 水中可視化技術の現場適用報告

(株) 本間組 非会員 ○ 安藤 恭平 本間 義信  
鈴木 敦子 武田 貴之

## 1. はじめに

建設現場の生産性向上に向けて、測量・設計から施工、さらに維持・管理にいたる一連の流れに、情報化施工を前提とした「i-Construction」が2016年度より導入され、港湾分野でも生産性向上や現場の労働力不足解消のため推進されている。また、港湾施設の老朽化インフラの増加に伴う点検維持管理も大きな課題となっており、水中部を高画質でリアルタイムに可視化できる技術が有効である。本報では、港湾工事で使われる水中可視化技術の中から、リアルタイム 3D ソナーと ROV (水中ドローン)、音響カメラについて、機器の概要と使用効果について報告する。

## 2. 水中可視化技術の概要

### (1) リアルタイム 3D ソナー「Echoscope」

Coda Octopus 社製の 3D ソナー「Echoscope」(図 1) は水中視認性が悪い濁水条件下でもリアルタイムにその場で可視化できる。本機器は超音波(ビーム本数 16,000 以上)を四角錐状(50°×50°の範囲)に照射し、水中構造物や海底地盤の形状が深度毎に色分け表示され、ソナー映像として明瞭に可視化できる。また、パンチルト機能や 3DCAD モデルの取り込み機能、クレーンから吊り降ろした荷を常にソナーが捉える自動追尾機能、視認性と安全性が向上する吊荷および潜水士位置のマーカ表示機能も備えている。マーカ表示機能により、ソナー映像だけの場合に比べ、さらに吊荷および潜水士位置が明確にわかる。

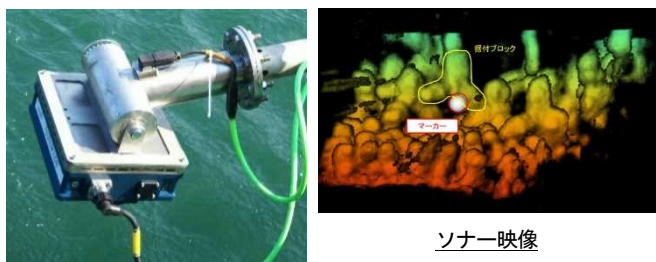


図 1 3D ソナー「Echoscope」

### (2) 水中ドローン「FIFISH V6」

水中ドローンは水中を潜航可能な小型無人機の通称とされ、操作者は船上や陸上から遠隔操作による機体の操縦を行い、その場でリアルタイムにカメラ映像を確認できる。近年では水中インフラ施設の点検や、漁業・養殖、建設工事でも活用されている。

「FIFISH V6」(図 2) は機体重量が 3.9kg とコンパクトで操作性が良好であることから、日常点検の船底調査や、構造物の被災状況調査等の迅速な対応が必要な場面で使用される。



項目	仕様
本体寸法	L383mm×B331mm×H143mm
重量	3.9 kg
稼働時間	最長4時間
ケーブル長	100m
適用範囲	深度100m
最大速度	3ノット(5.6km/h)

図 2 水中ドローン「FIFISH V6」

### (3) ROV「BlueROV2」

ROV(Remotely Operated Vehicle)は遠隔操作型無人探査機の総称であり、前出の水中ドローン同様にリアルタイムで機体のカメラ映像を確認できる。

「BlueROV2」(図 3) は機体重量が約 10.0kg と小型であり、人力での運搬が容易にできる。また点検・撮影位置の記録や座標入力による位置誘導が可能で、矢板護岸や栈橋の橋脚、防波堤などの同形状のものが続くために映像から撮影場所の特定が困難な港湾構造物の点検調査業務用に適している。形状が連続する構造物に対し、調査位置の誘導が可能で点検位置が特定できることから、点検記録が精度良く正確に保存され、かつ効率化が図られる。



項目	仕様
本体寸法	L457mm×B338mm×H254mm
重量	10.0 kg
稼働時間	最長4時間
ケーブル長	200m
適用範囲	深度100m
最大速度	2ノット(3.7km/h)

図 3 ROV「BlueROV2」

#### (4) 音響カメラ「ARIS」

ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar, アリス) (図 4) は、光学式水中カメラでは撮影不可能な濁水中や夜間での撮影を可能にする音響カメラである。ARIS 1800 では、1.8MHz もしくは 1.1MHz の 2 周波超音波を使用し、それぞれ 0.3° (横)×14° (縦)×96 本、もしくは 0.5° (横)×14° (縦)×48 本の音響ビームを形成し、ターゲットを映像化する。なお、周波数は焦点距離に応じて自動で切り替わる。



項目	仕様
機種名	ARIS Explorer 1800
本体寸法	D310mm×W170mm×H140mm
重量	5.5 kg
適用範囲	最大深度300m
有効レンジ	35m(1.1MHz時)、15m(1.8MHz時)
レンジ分解能	3mm~10cm

図 4 音響カメラ「ARIS」

### 3. 現場適用事例

#### (1) 消波ブロック据付工

リアルタイム 3D ソナーを用いた消波ブロック据付工について、従来の消波ブロック据付工に関する課題と今回課題解決のために活用した技術等、施工事例を紹介する。

##### a) 従来の消波ブロック据付の課題

従来の水中部への消波ブロック据付作業では、以下の課題が挙げられる。

(生産性)

気象海象が穏やかであっても濁りにより水中の視界が不良である場合は、潜水作業が行えず据付け作業自体が実施できないか、潜水作業が行えたとしても全体を俯瞰できないために据付け作業効率の低下が著しい。

(安全性)

水上で潜水士の位置を確認するための手段が主に水面に現れる潜水士の呼吸気泡であるため、クレーンオペレータは正確な潜水士と吊荷ブロックの位置関係を把握できず、潜水士と吊荷ブロックが接触する危険性がある。

##### b) 課題解決の検討

前項の課題解決の検討にあたり、水中部の可視化が重要であると考えた。そこで水中の状況をリアルタイムで可視化できる 3D ソナーを採用し、ソナー映像に

消波ブロックの設計断面 (3D モデル) を重ねて表示させ、据付を実施した (図 5)。

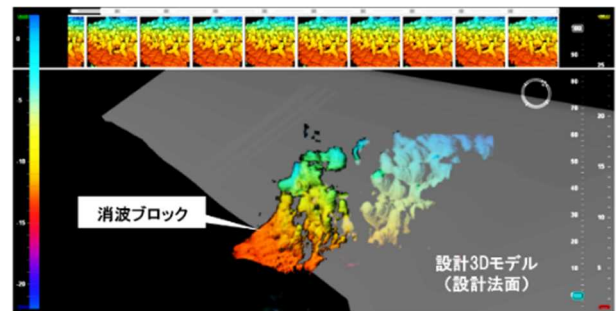


図 5 設計 3D モデルの重ね合わせ

#### c) 活用事例

防波堤築造工事で、上部工嵩上げに伴う消波ブロック 50t 型の据付け作業 (水中部) に適用した。施工場所は河口に位置しているため濁りが発生し易く、大雨が観測された後は濁りに加え流木等の漂流物も確認された。据付位置は水深-8m 付近、海象は有義波高 20cm 程度、うねりもなく穏やかだったが、水中視界は 10cm 以下と不良なため、潜水作業を回避し、船上から 3D ソナー映像を確認しながら消波ブロックの据付を行った (写真 1)。

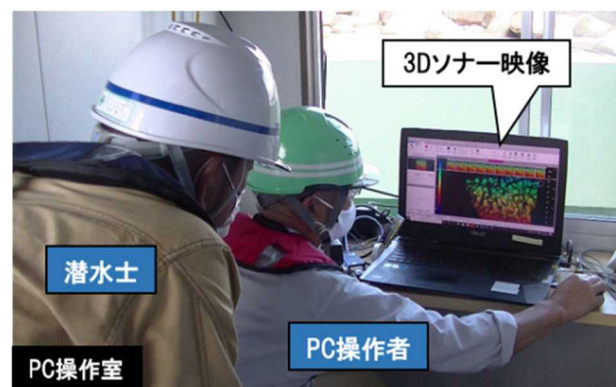


写真 1 据付位置確認状況

#### d) 活用の効果

リアルタイム 3D ソナーを活用することにより、水中視界 10cm 以下でも潜水士が水中で誘導を行う通常作業と同様の据付けが可能であった。また、3D ソナー映像に設計 3D モデルを重ねて表示することで、設計断面に合わせた精度の良い据付けが可能となった。なお、施工精度を検証するため濁りが解消した後に、潜水士で消波ブロックが所定の据付断面 (精度) で施工できていることを確認した。

従来であれば濁りにより作業不能となるところではあったが、当該技術により施工可能となり、波浪以外の要因 (濁り) による作業不能日を回避できた。

## (2) 取水管の内部調査

海底に設置された鋼製取水管の内部調査を水中ドローンにより実施した事例を紹介する。水深 7m 程度に設置された鋼製取水管が冬期波浪により地盤が洗掘され、中央部付近で陥没、折れ曲がり、内部に砂の堆積が推察された (図 6)。

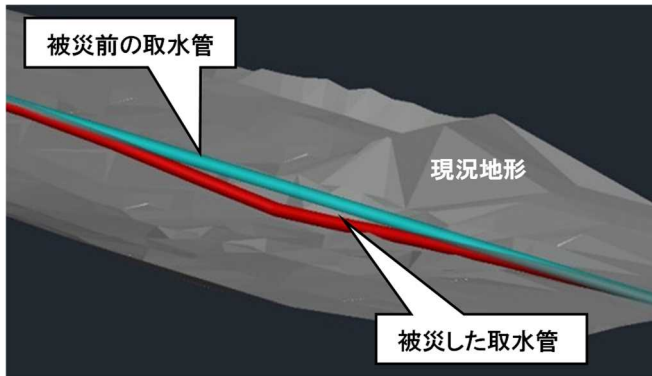


図 6 取水管被災状況 (3D モデル)

狭隘な管路内部 (直径 2m) の砂の堆積具合、閉塞状況、堆積延長確認を潜水士で調査することは危険を伴うため、水中ドローンで実施し、調査では 70m 程度管路内を潜航し、断面の半分程度が閉塞している状況が確認できた。管路内部の状況は透明度が良好であったためカメラ映像が明瞭に確認できた (写真 2)。潜水士に頼らずとも管路内部の状況がリアルタイムで容易に確認でき、効率的かつ安全に調査ができた。

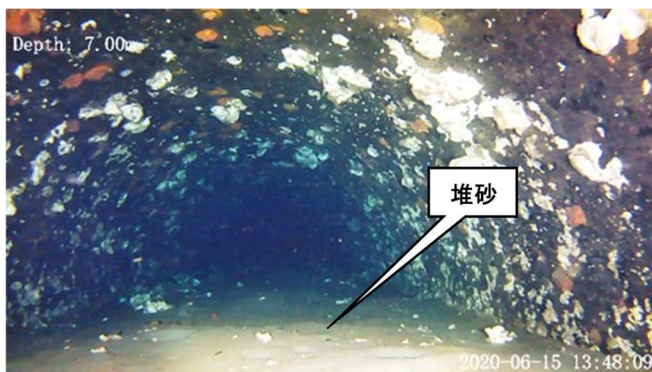


写真 2 水中ドローンによる管内調査映像

## (3) 音響カメラ搭載型 ROV

音響カメラ「ARIS」を搭載した ROV「BlueROV2」(図 7) を用いて、濁水下における水中構造物点検を実施した事例を紹介する。ROV に標準搭載されている光学カメラでは濁水下での水中映像の撮影はできず、操縦においても視認性が悪いため、機体が構造物等に衝突し損傷するリスクを伴っている。ROV に 2 周波音響カメラを搭載することで、濁水下においても水中が可視化さ

れ、海底や川底等の堆積物・落下物調査 (図 8) や岸壁等の鉛直面の調査・点検が可能となった (図 9)。また ROV と音響カメラは容易に着脱可能であり現場環境に合わせたオペレーションが可能である。



特長
・濁水下での撮影が可能
・光学カメラ・音響カメラ同時撮影可能
・水中映像をリアルタイムに確認可能
・ROV と ARIS は着脱可能
・水深 100m まで潜水可能

図 7 音響カメラ搭載型 ROV

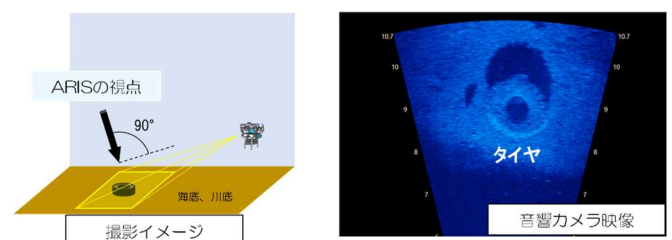


図 8 海底落下物の調査例

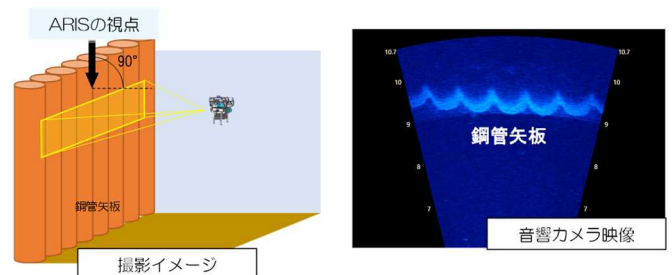


図 9 鋼管矢板岸壁等の調査例

### a) 重力式岸壁の損傷部調査

重力式岸壁の損傷部調査を音響カメラ搭載型 ROV により実施した事例を紹介する。

港湾の施設の新しい点検技術<sup>1)</sup>として、「水中ドローンを使用した海洋構造物の点検」が潜水士に代わる水中調査手法として提案されている。ROV での点検は、構造物全体をくまなく行うが、ROV に標準搭載されている光学カメラは、濁り等の水中の環境によるが、水中視程が 1~2m (図 10) 程度と対象物に接近して撮影する必要があることから、画角に収まる範囲が狭まり、撮影ルートが増加するため調査時間も増大し、点検作業効率が低下する。

そこで、音響カメラを活用した効率的な調査方法について検討を行い、重力式岸壁を対象に、以下の表 1 に示す作業手順で調査を実施した。

表 1 音響カメラを活用した調査手順

①	岸壁と正対し、5～10m 程度の離隔を保ちながら平行移動
②	一定の深度を保ち、測線間を移動したら下降し、 また一定の深度で測線間を移動 (図 11)
③	音響カメラの映像から損傷部を確認 (図 12)
④	損傷部を確認したら近接し、 光学カメラにより細部を撮影 (図 13)
⑤	潜水士にて詳細点検

音響カメラを活用することで、光学カメラと比べ俯瞰した調査が可能であるため、撮影時間が軽減され、調査時間の短縮が可能となった。また、水中構造物は藻や海生生物が付着しており、光学カメラ映像から損傷部が見えづらく発見が困難になる場面もあるが、音響カメラ映像から損傷部の概形が把握できるため、損傷部の発見も容易となる。

#### 4. まとめ

本報では、実際の現場で使用した水中可視化技術について、リアルタイム 3D ソナー、ROV (水中ドローン)、音響カメラの機器概要、および現場適用における目的と効果について記した。

リアルタイム 3D ソナーは消波ブロック据付において、生産性向上と安全の確保が可能である。施工の効率化、施工管理への活用を目的に、3D ソナー映像に座標情報が付与された設計 3D モデルを重ねて表示できることを活かし、任意の施工範囲やポイント、表面からは見えない既設構造物の位置を表示する等、多様な使い方も期待ができる。

水中ドローン、ROV は、今まで潜水士による調査・確認が必要な場面でも容易に、水中状況を安全かつリアルタイムで映像取得でき、生産性の向上に寄与できると考える。また、水中施工管理において施工管理者の確認したい任意の箇所を直接確認できるため、施工効率の向上も望める。さらに濁水下でも ROV に音響カメラを搭載することで調査可能となり、点検作業の効率化が期待できる。

#### 参考文献

- 国土交通省 港湾局：  
港湾の施設の新しい点検技術カタログ(案)，令和 4 年 3 月

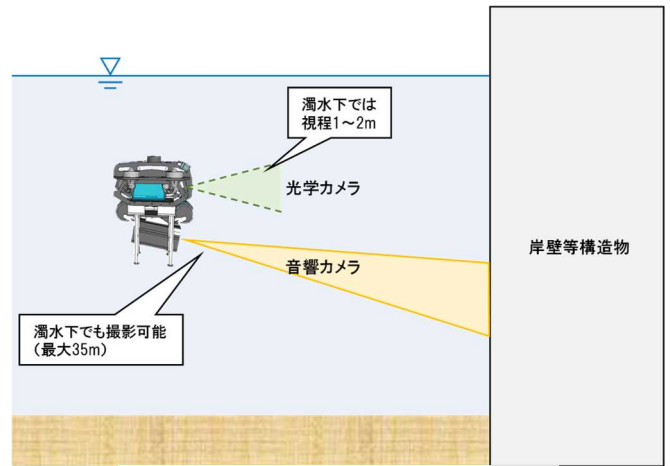


図 10 水中撮影イメージ

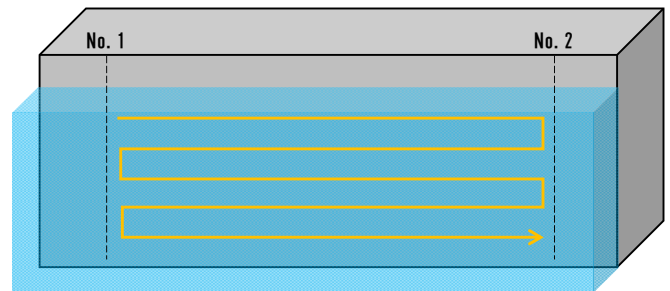


図 11 ROV による調査方法例

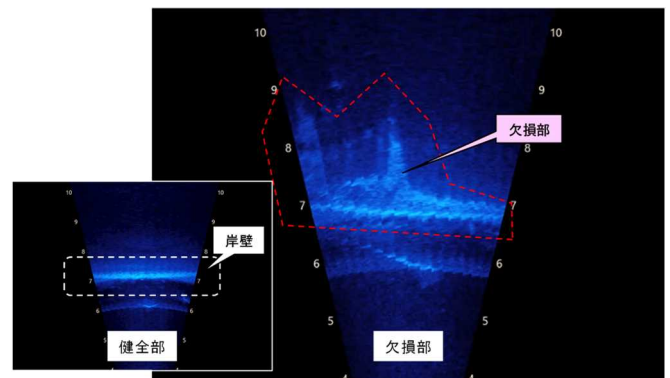


図 12 音響カメラ映像例 (岸壁との離隔≒7m)

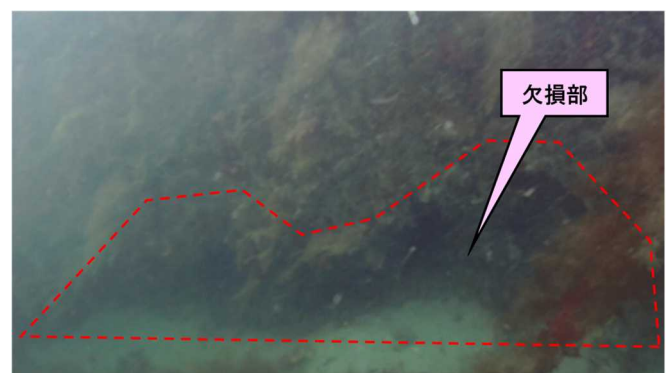


図 13 光学カメラ映像例 (岸壁との離隔≒1m)