

水中音響カメラの構造物点検への試適用

鹿島建設(株) 正会員 ○露木健一郎 平野裕之 仲野勝博 平佐健一 田邊 剛  
日本海上工事(株) 有田直之 金本拓也 正会員 大野俊夫

1. はじめに

水中の工事や点検に伴う長時間・繰り返しの水中作業は、身体への負荷が大きく、形状が複雑な構造物に近接した作業では重大災害も発生している。こうした問題を根本的に解決する手段として、機械による水中点検作業の実用化が求められている。筆者らはこれまでにリアルタイム性に優れた水中可視化装置や、可搬性・操作性に優れ、簡便に水中へのアクセスが可能な小型 ROV（無人潜水機）の現場適用と評価を進めてきた<sup>1~4)</sup>。

今般、大規模水中構造物の点検に対する、水中可視化装置の適応性を検討するための試験施工を実施したので、その結果について報告する。

2. 水中可視化装置

水中作業では濁りによる視界不良が、安全、品質や生産性など施工管理全般に影響を及ぼす。濁水中でも視界を確保する手段として、MHz 帯の超音波を送受信して対象物からの反射波を画像化する水中音響カメラ（図-1）の検証を進めており、目視では数十 cm しか視界が得られない濁水中（濁度 30~50FTU）でも、2m 程度の離隔から 1cm 程度の分解能で、対象物をリアルタイムに画像化できることをこれまでに確認している<sup>5)</sup>。今回使用した水中音響カメラの仕様を、その他の代表的な水中可視化技術と比較して表-1 に示す。

3. 水中の移動手段

濁水中でのリアルタイムな視覚的把握という水中音響カメラの特長を活かす上で、対象物の大きさや必要な分解能によって、撮像位置や視野を自由に設定できることが望ましい。このため、水中音響カメラの移動手段・設置方法についても検討している。移動・設置方法について比較整理した結果を表-2 に示す。

4. 試験施工の概要

維持管理上の課題が多い構造形式とされる栈橋構造物を対象として、従来の潜水土による目視点検との違いを確認し、一定範囲の点検を機械で実施した場合の所要時間を把握した。今回の対象構造物の場所を考慮して、試験施工は表-2 に示した①ROV への搭載、②船から吊り下げの 2 方式で実施した。実施概要を図-2 に示す。

表-1 水中可視化技術の比較



超音波送受信部

図-1 音響カメラ

|             | 音響カメラ                               | 光学カメラ                         | マルチビームソナー                     |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 特徴・用途       | 高精細な超音波画像<br>濁水中で中・近距離を把握           | 視覚的に状況把握が可能<br>低濁度の水中で近接状況確認  | 船から海底を概略把握<br>測深・座標計測（移動が必要）  |
| 濁水中の視認性     | 濁度 100FTU で 4m まで視認<br>(1.8MHz 使用時) | 濁度 5FTU 前後で 0.8~1m 程度<br>まで視認 | 音響カメラと同等かそれ以上<br>(数百 kHz 使用時) |
| 重量          | 5kg (気中)                            | 5~10kg (気中)                   | 5~10kg (気中)                   |
| 視程<br>(レンジ) | 0.7~5m/15m<br>(3.0MHz/1.8MHz)       | 工事では数十 cm 以下<br>(濁度に依存)       | 0.5~400m<br>(数百 kHz 使用時)      |
| 画像の<br>分解能  | 離隔 7m の場合<br>7cm(横)×5cm(縦)          | 数十 cm 以内に近接可能な場合のみ、<br>1mm 前後 | 離隔 7m の場合<br>12cm(横)×24cm(縦)  |

※ホルマジン濁度 100FTU は浮遊物質量 SS で 30~100mg/l 程度に相当（国総研資料 第 594 号,2010）

表-2 音響カメラの移動・設置方法

|        | ① ROV に搭載                      | ② 船から吊り下げ                     | ③ クレーン等から吊り下げ                |
|--------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 主な適用対象 | 栈橋構造，水中トンネル等                   | 河川など流れのある広い場所                 | 立坑・ケーソン工事など                  |
| 特 長    | 自由な位置から撮像，対象に近接でき光学カメラ併用も可能    | 流速があっても広範囲に移動可能，GPS 併用で位置把握可能 | 定点から変化を把握，パン・チルト・ロール機構と組合せ可能 |
| 制 約    | 流速により ROV 航行は制約を受ける（上限 2kt 程度） | 構造物への近接撮像は困難，船の動揺は視界のブレにつながる  | 視程は濁度や粘性の影響を受ける（掘削後の浮泥処理は必要） |
| 現場実証   | 本稿報告                           | 本稿報告                          | 過年度 4)                       |

キーワード 水中調査，可視化，濁水，音響カメラ，ROV，無人潜水機

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111



図-2 試験施工の方法（左：調査方法① ROVに搭載，右：調査方法② 船から音響カメラを吊り下げ）

## 5. 試験施工の結果

調査方法①では、音響カメラを搭載した ROV を構造物に近接した状態で航行させ、栈橋構造物の部材に沿って調査した。ROV は鋼管杭の近傍で潜行し、水平材に沿って次の鋼管杭まで移動した後、ブレース材に沿って移動し、潜行を始めた鋼管杭に戻って浮上するという手順で実施した（図-3）。ROV に搭載した音響カメラと光学カメラで得られた画像を図-4 に示す。光学カメラの観察では構造物の数十 cm 以内に近接すれば表面の状態を視覚的に確認できるが、広範囲を把握することは困難である。一方、音響カメラでは  $30^{\circ} \times 0.3^{\circ}$  の扇状視野で 10m 以上の視程を視認でき、表面に凹みや損傷等があればその記録も可能である。所要時間については、延長 80~100m の部材の撮像データ取得に 1 時間程度を要した。

調査方法②では、鋼管杭からの離隔距離 5~20m に船を係留し、船から吊り下げた音響カメラのチルト機構を使って水面付近から海底まで鉛直方向に走査して撮像した。鉛直方向の撮像後、音響カメラを水平面内で  $30^{\circ}$  回転させて再び鉛直方向に撮像するという操作を繰り返した。この方法で得られた画像を図-5 に示す。本図より、栈橋部材に取り付けられた電気防食材の状況を 5~10m 離れた状態で確認できた。また水平材やブレースの表面に凹みや傷がないことを 5~20m の距離から確認できた。所要時間については、鋼管杭の 1 スパン内に含まれる全ての部材（総延長約 170m）について、40 分程度で撮像データを取得した。

## 6. まとめ

小型船と ROV に水中音響カメラを搭載して、栈橋構造物点検の試験施工を実施した。本手法によれば点検時の状況を画像として記録可能であり、危険や身体負荷を伴う潜水作業を回避できる。船から撮像を行う概査と ROV から撮像する詳査を組み合わせることで、構造物の水中点検を効率的に行える可能性を確認できた。今後は、より多くの工種や現場で適用を重ね、係留等の準備工やデータ分析を含めて合理化を図っていく予定である。

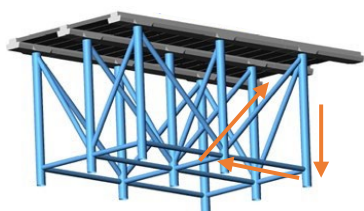


図-3 栈橋構造物

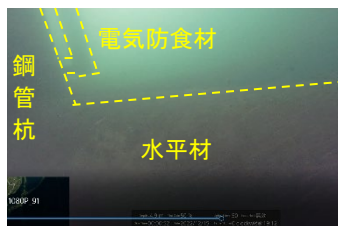


図-4 方法①による取得画像例（左：光学カメラ，右：音響カメラ）

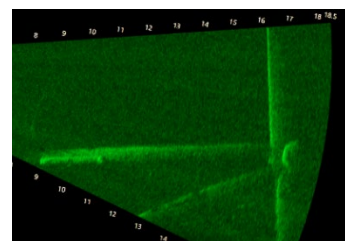
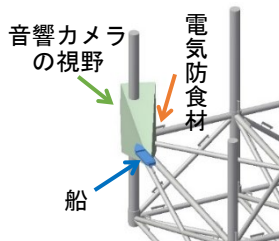
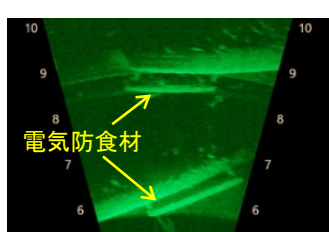
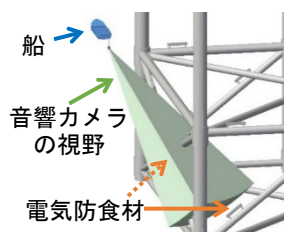
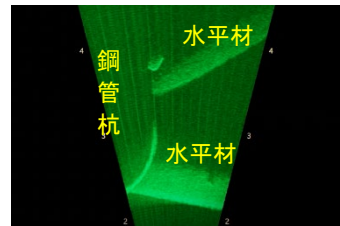


図-5 調査方法②の実施状況と音響カメラ画像

## 参考文献

- 1) 平野，露木，沖永，仲野：リアルタイム性に優れた水中可視化装置の性能評価，土木学会第 75 回年次講演会，II-34，2020.
- 2) 平野，露木，沖永，仲野，有田：濁水中における水中音響カメラの視認性能の評価，土木学会第 76 回年次講演会，II-139，2021.
- 3) 仲野，露木，平野，沖永，有田：水中音響カメラの水中工事への適用性検討，土木学会第 76 回年次学術講演会，VI-963，2021.
- 4) 仲野，露木，平野，大野，有田：水中音響カメラによるシールドマシン水中到達時のリアルタイム可視化，土木学会 77 回年次講演会，VI-932，2022.