

## 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

鹿島建設(株) 正会員 ○仲野勝博 平野裕之 露木健一郎  
日本海上工事(株) 正会員 大野俊夫  
鹿島建設(株) 弓削 毅 日本海上工事(株) 有田 直之

### 1. はじめに

水中における点検確認作業を無人化・省人化できれば安全性の向上や作業の高効率化が期待できる。濁水中や暗所などの環境中でリアルタイム性の良い可視化画像を得られる水中音響カメラに着目し、適用性の確認を進めてきた<sup>1)2)3)</sup>。

今回、水を張った到達立坑内へ押し出されるシールドマシンの画像と止水剤充填時の画像を水中側(立坑内)からリアルタイム観察できたので紹介し、音響カメラの適用性について考察する。

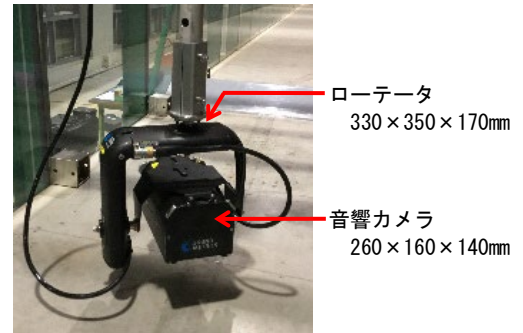


写真-1 音響カメラ

### 2. 音響カメラの概要

音響カメラ(写真-1)は MHz 帯の周波数の音波(超音波)を対象物に照射し、反射波を圧電素子センサで電気信号に変換して画像化する装置で、光学画像を得られない濁水中や暗所でもリアルタイム画像を得ることができる。

表-1に他の水中可視化技術との比較を示す。光学カメラは視覚的に理解し易い画像をリアルタイムに得られるが濁度に弱い。一方、マルチビームソナーは超音波装置で濁度に強いが、測深用で計測レンジが長いので、画像の最小単位(分解能)が大きくなる。また、点群データを取得して処理後に表示するためリアルタイム性が低い。これらに対して音響カメラは、濁水中で機動性・リアルタイム性高く詳細確認を行える小型の装置と位置付けられ、水中工事の工程における判断や検討へ寄与する用途への適用性が高い技術といえる。

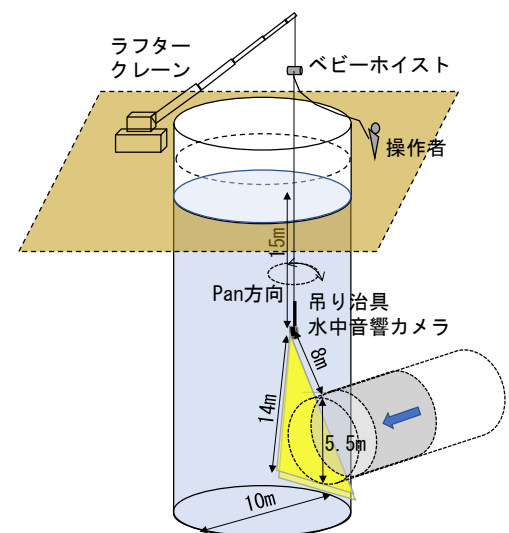


図-1 水中可視化概要

表-1 音響カメラと他の水中可視化技術(詳細確認技術)の比較

	光学カメラ	マルチビームソナー	音響カメラ
特徴	人間の視覚に近い像で直感的に状況把握	水中ソナーの中で最も小型軽量	小型軽量でリアルタイムに高精細な画像取得
濁水中の視認性	濁度 5FTU で 1m まで視認可 ※FTU はホルマジン濁度	音響カメラと同等かそれ以上(数百 kHz 使用時)	濁度 100FTU で 4m まで視認可(1.8MHz 使用時)
リアルタイム性	60 画像/秒など	(移動後に 3D 形状判明)	4~15 画像/秒
レンジ	(濁度に依存)	0.5~400m(数百 kHz 使用時)	5m/15m(3.0MHz/1.8MHz)
画像の最小単位(分解能)	(近接場所のみ)	離隔 7m の場合 12cm(横)×24cm(縦)	離隔 7m の場合 7cm(横)×5cm(縦)相当
主な計測対象	清水中における近接物のリアルタイム確認	測深・測量(移動盛替え必要) 点群(座標)計測	濁水中で中~近距離からリアルタイム確認
コスト	○	△	△

キーワード 水中可視化, 水中音響カメラ, リアルタイム性, 濁水中, 水中ソナー

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

### 3. リアルタイム観察の概要

水を張った到達立坑内へ押し出されるシールドマシンを水中側からリアルタイムで観察した(図-1)。水中音響カメラをラフタークレーンで吊り下げ、内径10mの立坑内の水深15mの位置に保持し、シールドマシンが押し出される水深約30m付近にある直径約5.6mの開口部に扇状に超音波(1.8MHz)を当てて画像が得られるように調整した。

計測時の水の透明度は水面からの目視で数10cmであった。

### 4. 計測結果の例

シールドマシンが水を張った立坑側へ押し出される前後の音響カメラ画像を図-2に示す。シールドマシンが押し出されていることが確認できた。また、画像の比較(動画観察)から、土砂流入がないことが確認できた。

音響カメラをPan(水平首振り:図-1参照)方向に90°回転させて、扇形の照射面をシールドマシンの面板に垂直に当てて得た音響カメラ画像を図-3に示す。立坑壁面からシールドマシンを押し出した状況を画像で確認できた。影や虚像はカメラの角度条件や距離を換えて画像比較することにより識別した。

シールドマシン押し出し後に行われた止水剤注入時に気泡が浮上したときの画像を図-4に示す。離隔7~8mの位置から気泡を確認できた。これまでに行った室内実験では離隔2mの位置から1cm以内の分解能の画像が得られる性能を確認しており<sup>1)</sup>、更に計測対象に近づけて設置することで、より高精細な画像を得ることが可能である。

水中工事の状況確認は、従来、水質改善や、水を抜いて行うなどの下準備が必要であったが、水中音響カメラを用いれば、水中の状態をリアルタイムで観察でき、工程管理の判断の迅速化に有益と考えられる。

また、想定外の事象が発生した場合など、無人で安全に状況確認できる点も有益といえる。

### 5. まとめ

水中音響カメラを、水を張った立坑内にクレーンで吊り下げ設置して、水中のシールドマシンの押し出しや、止水剤注入後の状態の変化をリアルタイムで確認することができた。水中音響カメラは、作業状況確認の新しい手段となり、施工サイクルを早く回すことで、作業効率、品質確保、安全作業管理への寄与が期待できる。

音響カメラをクレーンで吊り下げて遠距離から計測するだけでなく、小型ROVに搭載して近距離から計測するシステムの開発も進め、濁水中や暗所での可視化の様々な要望に応えていきたい。

### 参考文献

- 1) 平野ら, 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回年次学術講演会, II-34, 2020.
- 2) 平野ら, 濁水中に置ける水中音響カメラの視認性能の評価, 土木学会第76回年次学術講演会, II-139, 2021.
- 3) 仲野ら, 水中音響カメラの水中工事への適用性の検討, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-963, 2021.

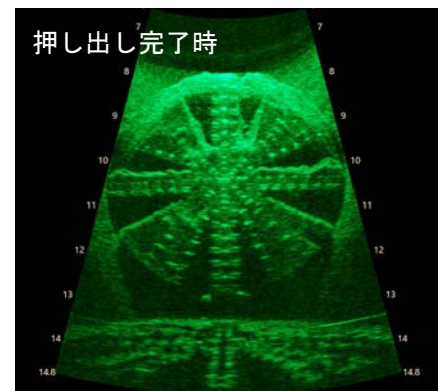
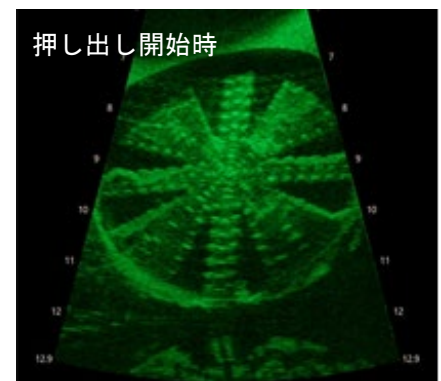


図-2 水中音響カメラ画像

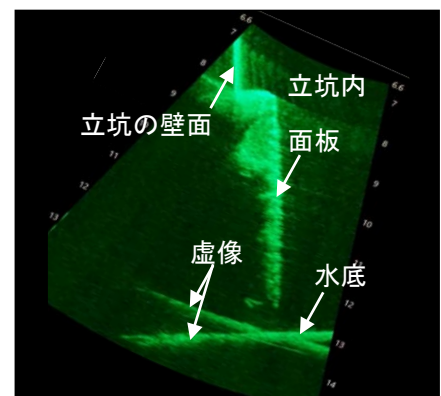


図-3 断面像(Pan90°)



図-4 気泡の浮上