

濁水中における水中音響カメラの視認性能の評価

鹿島建設(株) 正会員 ○平野裕之 露木健一郎 沖永貴子 仲野勝博
日本海上工事(株) 正会員 有田直之

1. はじめに

水中における点検確認作業の無人化・省人化は、作業の高効率化と安全性向上に繋がると考えられる。筆者らは、濁水中や暗所など光学カメラを使えない環境中においてもリアルタイム性のよ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。水中工事現場では様々な計測環境が想定されるため、音響カメラの濁度に関する適用限界の把握は、運用者に有益な情報と考えられる。しかし、製造元から具体的な数値は提示されていないのが実状である。そこで本稿では、実験水槽にカオリン粉末を懸濁させた模擬濁水環境を作り、水中音響カメラの濁度影響把握を目的とした実験を行い、濁度上限の目安に関する知見を得たので報告する。

2. 水中音響カメラの概要

音響カメラは 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ーで電気信号に変換して画像化する装置である(写真-1)。音波の照射方向と得られる画像の関係が光学カメラと異なるが(図-1)、特殊な音響レンズによりリアルタイム性のよい可視化画像を得られる特長を持っている。

水中の音波の減衰要因は、拡散（距離）や吸収（周波数に依存）のように媒質中（水中）で起こる現象と、散乱、反射、透過のように境界で起こる現象に分類される。主な成分は拡散、吸収、反射とされ、水中を浮遊する粒子の影響も無視できない。

本試験で使用した水中音響カメラの外観を写真-1に、仕様を表-1に示す。有効レンジ15m以内での分解能は0.3～10cmで、海中構造物の維持管理点検やダイバーの安否確認、水中工事の出来形確認などへの適用性が検討されている^{1), 2)}。

3. 試験概要

模擬濁水(カオリン粉末を水に懸濁)を実験水槽に満たし、計測対象(写真-2のコンクリート片)を設置して、異なる濁度条件下で音響カメラ計測を行い、画像を比較した。

計測概要を図-2に示す。実験水槽（L8m×W1.2m×H1.5m）に清水を水深1mまで貯留し、カオリン粉末を投入し、10L/minの水中ポンプ2台で攪拌してから音響カメラ計測を行った(周波数1.8MHzおよび3.0MHz)。試験では多成分水質計により濁度を、ファイバースコープにより光学カメラ画像を同時に記録した。

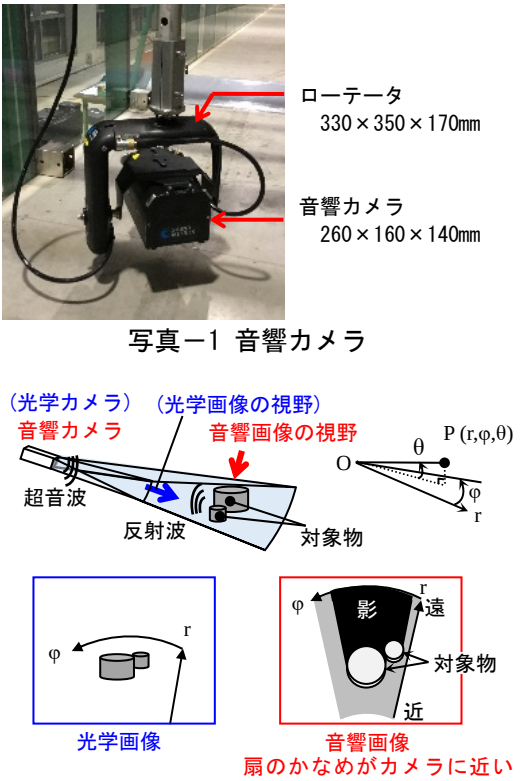


図-1 音響画像の見え方と座標系

表-1 水中音響カメラの仕様

項目	仕様	
	詳細確認用	遠隔把握用
周波数	3.0MHz	1.8MHz
ビーム幅	水平 0.25° 垂直 14°	水平 0.3° 垂直 14°
標準有効レンジ	0.7m～5m	0.7m～15m
ビーム数	128 もしくは 64 本	
水平視野角	30°	
最大フレームレート	4～15 フレーム/秒	
レンジ分解能	0.3～10cm	
寸法	26cm×16cm×14cm	
重量	気中 5.0kg (水中 2.0kg)	
消費電力	15W	
耐圧	300m	
ケーブル長	20m, 150m	

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, 濁度, 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 042-485-6857

4. 試験結果

濁度計測値 0.2～108.8FTU (文献の実験式³⁾による換算透視度 0.1～22m 相当)の範囲で、離隔 1m から計測した音響カメラ画像と光学カメラ画像を表-2 に示す。

光学カメラ (1.8MHz) の視認限界が濁度 2.9～4.3FTU の間であったのに対し、音響カメラは濁度 108.8FTU (透視度 0.1m 相当)でも視認できた。視認性の目安として、濁度と音響カメラ画像の特定エリア (円柱側面部) の輝度の平均値の関係を図-3 に示す。3.0MHz の結果と離隔 2m での計測値も付記した (ただし、離隔 1m の場合とカメラの Tilt 角 (図-1 の θ) が異なっている)。グラフから 1.8MHz の方が 3.0MHz よりも高輝度で、濁度影響の低い画像を得られていたことが確認できた。また、離隔 1m の場合、濁度 0.2FTU に対する濁度 108.8FTU、の輝度の比は、1.8MHz で 99%、3.0MHz で 77%であった。

5. 考察

1.8MHz と 3.0MHz の減衰傾向の違いは、粒径と波長の比による音波の散乱形態や散乱強度の違いに起因すると考えられる。市販のカオリン粉末の粒度分布は 0.003～0.02mm 程度⁴⁾、周波数 1.8MHz と 3.0MHz の音速 1,480m/s における波長は 0.8mm と 0.5mm であり、3.0MHz の方が波長が粒径に近いので、散乱影響をより受けていたと考えられる⁵⁾。

視覚 0.1m 相当の濁水中で離隔 1m から計測した音響カメラ画像の視認性が良好であるとの結果は、水中工事現場への適用検討において一つの目安になると考える。

6. 結論

音響カメラの濁度影響を実験により確認した。周波数 1.8MHz と 3.0MHz でカオリン粉末の懸濁液中の計測対象物を離隔 1m から計測したところ、視認性のよい可視化画像が濁度 108.8FTU (透視度 0.1m 相当)まで得られた。

今後は、実験データと現場計測データを比較して、音響カメラの適用性が高い条件 (距離、濁度、計測対象物のサイズや材質など) を整理し、水中工事への適用性の検討を行っていく予定である。

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) 平佐ら：東京国際空港D滑走路棧橋部橋脚点検の機械化について，土木学会第 75 回年次学術講演会，CS8-07，2020。
3) C. A. Baugman, et al. , "Reconstructing Turbidity in a Glacially Influenced Lake Using the Landsat TM and ETM+ Surface Reflectance Climate Data Record Archive, Lake Clark, Alaska", Remote Sensing, 7, 13692-13710, 2015.
4) 島岡：飲料水中の粒子の測定，粉体工学会誌，Vol. 38, No. 11, 2001。
5) 宍戸：水中超音波を用いた海洋計測技術，計測と制御，第 19 巻，第 3 号，1985。

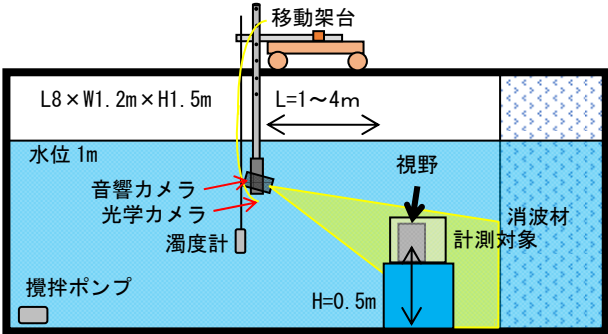
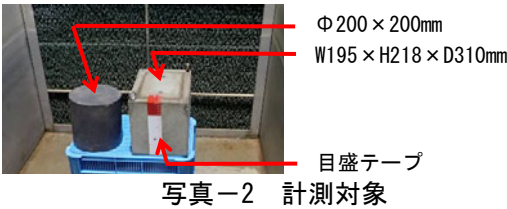


図-2 計測概要

表-2 濁度による音響カメラ画像の変化

濁度 (計測値) 透視度 (参考値) カオリン懸濁量	光学カメラ 画像	音響カメラ 画像(1.8MHz)
0.2FTU 22m 0mg/L		
2.9FTU 2.6m 5mg/L		
4.3FTU 1.9m 10mg/L		
49.7FTU 0.3m 100mg/L		
108.8FTU 0.1m 200mg/L		

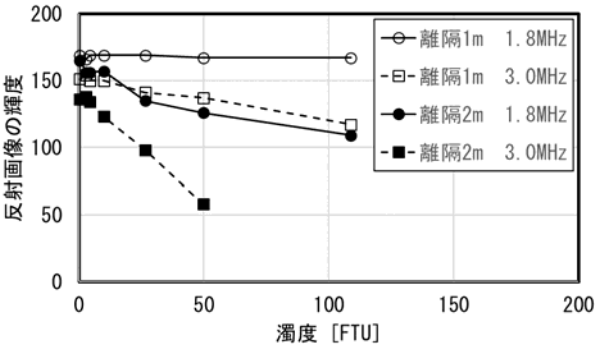


図-3 濁度と反射強度の関係 (計測)