水中 ROV における濁度とコンクリート損傷等の識別精度の関係について

ニッスイマリン工業㈱　　小池　廣光
長崎大学 大学院工学研究科　　山本　郁夫
日本文理大学 工学部　　稲川　直裕
北九州市立大学　フェロー　伊藤　洋，正会員　○山田百合子

１．はじめに

著者らは，海洋および水中での構造物の損傷や養殖網などの遠隔操作探査を目的として，潜水艦方式の水中 ROV ではなくフレーム構造の超小型(約 5kg 程度)で簡易な水中 ROV(Remotely Operated Vehicle)の開発を進めており，実用化に近づいている[1)]．本システムは，水深は 50m程度までに対応し，強力な LED 照明を有し，地上基地局でのモニタリングやフルハイビジョン録画システムを搭載している．また，この ROV は運搬も容易であり，操縦性にも優れている．

この ROV を水中での構造物検査等へ適用するに当たっては、水中濁度とコンクリート構造物の損傷等（剥離，隙間，鉄筋の錆，ひびわれ等）の認識可能な条件を把握しておく必要がある．本論では，実験用水槽を用いて水中濁度と模擬損傷を与えたコンクリート版を用いて損傷識別判定実験を行った結果について報告する．

２．実験方法

実験に当っては，**図-1** に示したように予備実験として陶芸用粘土（白色系）を用いて濁度と懸濁量（乾燥および湿潤）との関係を得ておき，実験用水槽での濁度設定の目安とした．

実験では，**図-2** に示したような直径 1.75m，水深 0.89mの円筒形の水槽を用い，この水槽中にコンクリートの損傷等を模擬したコンクリート版を設置し，ROV カメラとの距離を L=0.3, 0.5. 1.0, 1.5m の 4 水準を設定した．濁度の設定は，同様に陶芸用粘土を用いて**図-1** を参考にして，濁度の目標を 1, 2.5, 5, 10, 20, 30 度の 6 水準とした．一方，ターゲットとなるコンクリートの損傷等は，コンクリート版（□30cm）を用いて，錆（鉄筋の錆を模擬して着色（茶）した），隙間（約 5mm），剥落（ハンマーで欠落させた），ひびわれ（幅 0.3mm 程度）を与えた．ROV には，LED 照明（14,400 lm），モニタリングカメラ（映角 51°，約 40 万画素），ハイビジョンカメラ（映角 170°，約 1100 万画素）が搭載され，今回の実験では使用しないが 5 つのプロペラ付モーターで 4 軸 8 方向（上下，左右旋回，前後進，左右微速移動）の制御ができる．また，濁度の測定は，透過散乱光測定方式の高感度濁度計（測定精度±2%以内；100 度以下，測定範囲；0～1100 度）を用いて行った．

実験は，濁度 1 度をスタートラインとして，上述した 6 水準の濁度を目標として濁度を上昇させ，ターゲットの損傷等の識別判定を行った．また，識別判定は，実験中は基本的にはモニタリングカメラで行い，実験終了後にハイビジョンカメラ画像でも実施した．加えて，水深が深い場合を想定して，水槽の上部に日よけシートを設置したケースについても実験を行った．なお，実験中は懸濁物質の沈殿防止と濁度の維持のために循環ポンプを常時作動させた．

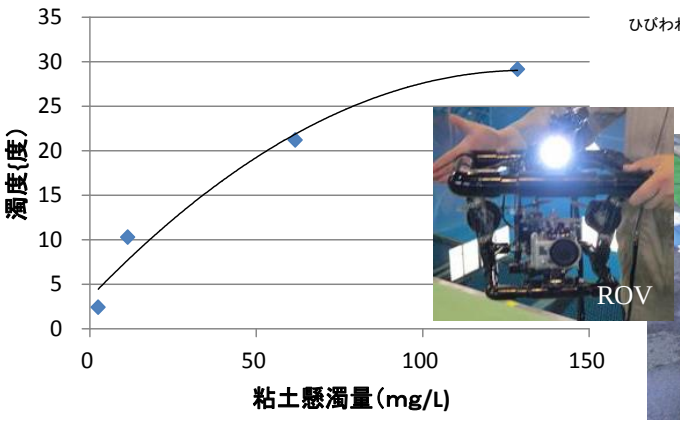

図-1　濁度と湿潤粘土懸濁量の関係

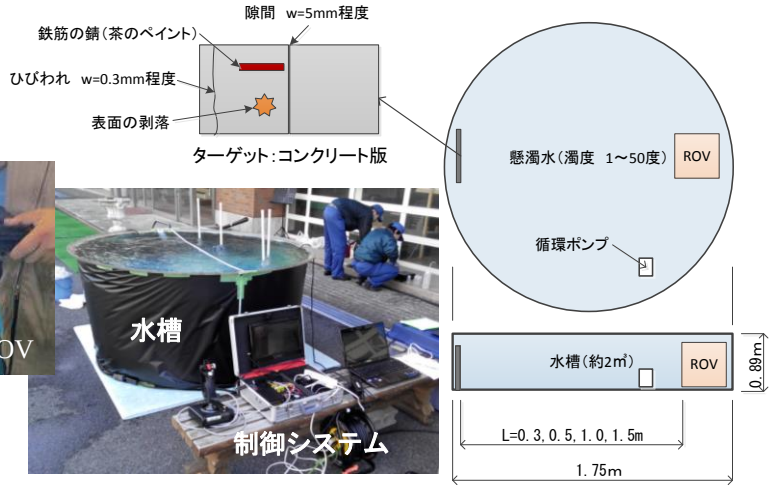

図-2　実験水槽の概要および写真

キーワード　水中，海洋，ROV，濁度，コンクリート劣化
連絡先　　〒808-0135　北九州市若松区ひびきの 1-1　北九州市立大学国際環境工学部　TEL　093-695-3253

3．実験結果

実験におけるターゲットを**写真-1**，水中での識別可能ケースの一例を**写真-2** に示す．

表-1 は，実験の結果から実測濁度と距離 L におけるターゲットの損傷等の識別判定を整理して示したものである．同表より，識別精度は濁度が小さく，距離 L が小さいほど良好となるが，距離 L=50cm で濁度が 5 度以下であればいずれの損傷も概ね識別できることが分る．

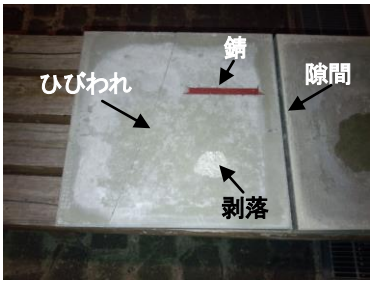

写真-1　ターゲット

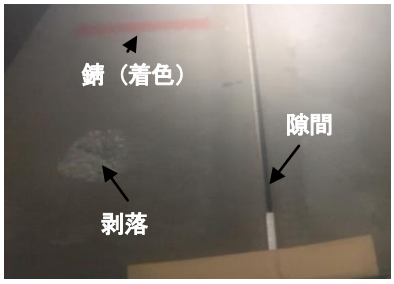

写真-2　識別可能ケースの例

（濁度 11.4 度，L=50cm）

表-1　実測濁度におけるコンクリート損傷等の識別判定結果

実測濁度（度）	距離 L(cm) 30cm 錆	30cm 隙間	30cm 剥落	30cm ひびわれ	50cm 錆	50cm 隙間	50cm 剥落	50cm ひびわれ	100cm 錆	100cm 隙間	100cm 剥落	100cm ひびわれ	150cm 錆	150cm 隙間	150cm 剥落	150cm ひびわれ	カメラ条件
1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△	×	水中カメラ映像
2.5	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△	×	△	△	×	×	水中カメラ映像
4.6	○	○	○	△	○	○	○	×	△	△	×	×	×	×	×	×	水中カメラ映像
10.8	○	○	○	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	水中カメラ映像
19.0	○	○	△	×	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	水中カメラ映像
19.0	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ハイビジョンカメラ
29.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ハイビジョンカメラ
11.4	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	ハイビジョンカメラ＋上部シート
19.0	○	○	○	×	△	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ハイビジョンカメラ＋上部シート

○：識別可，△：可だがやや不鮮明，×：識別不可

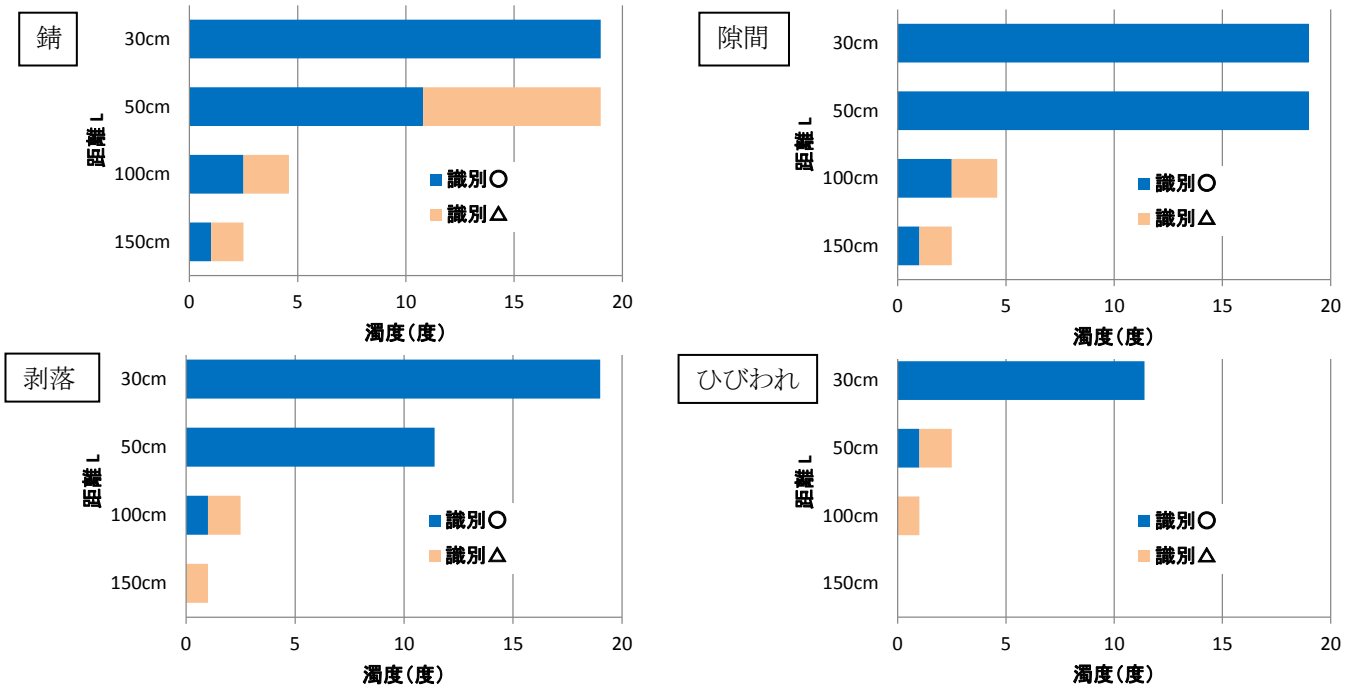

図-3　ターゲット別の濁度と識別精度の関係

図-3 は，**表-1** の結果をターゲット別に濁度と距離の関係で識別評価を整理して示したものである．まず，錆のそれを見ると距離 L=50cm 以下であれば濁度 20 度くらいまでは識別可能であるが，L=100cm では濁度が 5 度程度までとなる．つぎに，隙間では L=50cm までは濁度 20 度でも十分識別可能であるが，L=100cm では濁度 5 度程度までとなる，剥落は，L=30cm では濁度 20 度，L=50cm では 10 度程度，L=100cm では 2.5 度となり，識別精度は錆や隙間と比較するとやや劣る結果となった．ひびわれは，w=0.3mm 程度と微小であり，L=30cm であれば濁度 10 度程度でも識別できるが，L=50cm では濁度 2.5 度とかなり限定される．全体的にみると，ひびわれは距離が L=30cm，それ以外は L=50cm 程度であれば濁度 10～20 度（平常時のダム貯水の濁度は 2～12 度程度）でも識別は可能であることが示唆される．

参考文献

1)I.Yamamoto, et al.(2013):Development of a High-Mobility Unmanned Underwater Observation Vehicle with Super-Luminosity LEDs for Sea Exploration, Proc. of the 2013 International Offshore and Polar Engineering, Anchorage, Alaska, USA, pp.383-387.