

航路・泊地における土砂密度空間分布モニタリング技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 2

担当チーム：寒冷沿岸域チーム

研究担当者：中嶋雄一、久保純一、大塚淳一

【要旨】

寒冷沿岸域チームでは、航路・泊地における底質密度のモニタリング機器として、加速度計と圧力計から底質密度の鉛直分布を推定可能な自由落下式密度計の適用を検討してきた。密度が既知の人工浮泥を用いた室内試験によって自由落下式密度計の精度を評価した結果、自由落下式密度計は浮泥表層位置を実用上十分な精度で検知可能であること、密度に関しては既知の密度分布とは異なり、全体的に過小評価となることが明らかとなった。キーワード：航路・泊地、浮泥、底質密度、ガンマ線密度計、自由落下式密度計

1. はじめに

わが国の航路・泊地の水深管理では、海上保安庁告示¹⁾と水路測量業務準則²⁾に基づいて音響測深器が用いられている。浮泥と呼ばれる高含水率の軟泥が堆積する海域において音響測深器（周波数：200 kHz 程度）を使用した場合、超音波が強く反射する浮泥の表層が海底面として評価される³⁾。船底やスクリューが密度の低い浮泥に接触しても操船に大きな支障は生じないが、わが国の規則では、音響測深器による測深値が管理水深よりも浅いと判定された場合、低密度の浮泥層に対しても管理水深を確保するまで浚渫を行う必要がある。一方、浮泥の堆積厚が数 m にも及ぶ海外の一部の港では、操船に支障が無いと判断される低密度の浮泥層までを航行可能な水深として評価している⁴⁾。オランダ・ロッテルダム港では、密度が 1200 kg/m³ 以下の浮泥層までを航行可能な水深として評価することにより、浚渫費用の削減に成功している⁴⁾。

わが国では、現状、底質密度で航行可能な水深を評価した事例は報告されていない。しかしながら、将来的にこのような評価手法が採用された場合、底質密度の空間分布をモニタリング可能な技術が必要となる。海外の港では、おもにガンマ線密度計を用いて底質密度のモニタリングが行われているが、放射線源の管理基準が厳しいわが国においては、海外で用いられているガンマ線密度計を適用できない可能性がある。

寒冷沿岸域チームでは、放射線源を使用しない底質密度のモニタリング機器として、加速度計と圧力計から底質密度の鉛直分布を推定する自由落下式密度計（GraviProbe、dotOcean 社製）の適用を検討してきた。北海道内の比較的規模の大きい港において現地試験を行った結果、自由落下式密度計は 1 地点あたりの計測

時間が短く（3 分程度）、船舶の往来が多い航路・泊地における底質密度のモニタリング機器として有効であることが確認された。現地試験では計測精度を確認するには至らなかったため、本研究において、室内試験を実施し、自由落下式密度計の精度評価を行った。

2. 自由落下式密度計の精度評価に関する実験

実験は図-1（左）に示す高さ 5.00 m、直径 0.30 m のアクリル製円筒タンクを用いて行われた。タンク内にカオリンと水（淡水）を混合して作成した人工浮泥をタンク下端から高さ 1.22 m の位置まで投入した後、浮泥表層を乱さないよう注意を払いながらタンク上端まで注水した。タンクの側面には図-1（右上）に示す

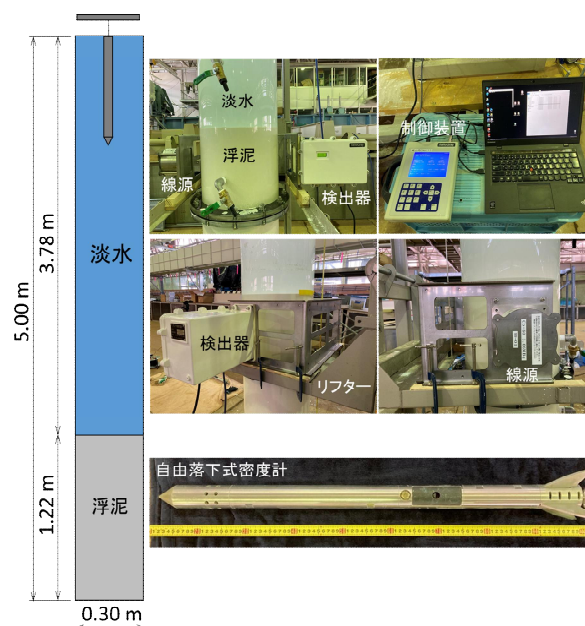


図-1 実験装置外観（左：アクリル製円筒タンク、右上：ガンマ線密度計、右下：自由落下式密度計

リフターにより昇降可能なガンマ線密度計 (PM-1000A、ナノグレイ株式会社製) を設置し、ガンマ線密度計を浮泥下端から高さ 1.70 m の位置まで 5 cm~10 cm の間隔でトラバースすることにより、浮泥密度の鉛直分布を計測した。この作業後、図-1 (右下) に示す自由落下式密度計 (長さ 900 mm、直径 50 mm、気中重量 8 kg、サンプリングレート 2 kHz) をタンクの上端から自由落下させることにより、浮泥密度の鉛直分布を計測した。

実験では、カオリンと淡水の量を調整して、密度が異なる 4 種類の浮泥 (Case1~Case4) を用意した。全てのケースにおいて、密度の時間変化は $0.1 \text{ kg/m}^3/\text{hour}$ 程度と極めて小さいことが確認されたため、実験中の密度変化については考慮しないこととした。

3. 自由落下式密度計の精度評価に関する試験結果

ここでは、ガンマ線密度計で計測された密度を正値として、自由落下式密度計の精度を評価する。

図-2 はガンマ線密度計と自由落下式密度計で計測された浮泥密度の鉛直分布を示している (赤: ガンマ線、青: 自由落下式)。ガンマ線密度計の計測結果 (赤) を見ると、Case1~Case4 の浮泥密度はそれぞれ 1100、1200、1250、1300 kg/m^3 程度であり、浮泥表層から下端まで密度がほぼ一定であることがわかる。一方、自由落下式密度計の計測結果 (青) では、ガンマ線密度計の計測結果とは分布が異なり、浮泥表層付近の密度が小さく、下端に向かって徐々に密度が増加する傾向となる。また、密度のピーク値を比較した場合、Case1~Case3 で 50 kg/m^3 程度、Case4 で 10 kg/m^3 程度、自由落下式密度計のほうが低い値を示している。

自由落下式密度計では加速度と圧力からそれぞれ水深と密度を推定している。本実験において浮泥表層から密度が増加していることを確認できたことから、加速度による位置 (水深) の推定は実用上十分な精度を有しているといえる。一方、密度に関しては、分布が異なること、また、全体的に低い値を示す傾向から、現状では実用上十分な精度を満たしていない。今後、圧力計の応答性を高めるなど、密度の計測精度向上に向けた更なる検討が必要といえる。

4. まとめ

本研究では、室内試験によって自由落下式密度計の精度評価を行った結果、以下のことが明らかとなった。

1) 自由落下式密度計は浮泥表層の位置を実用上十分な精度で検知することができる。

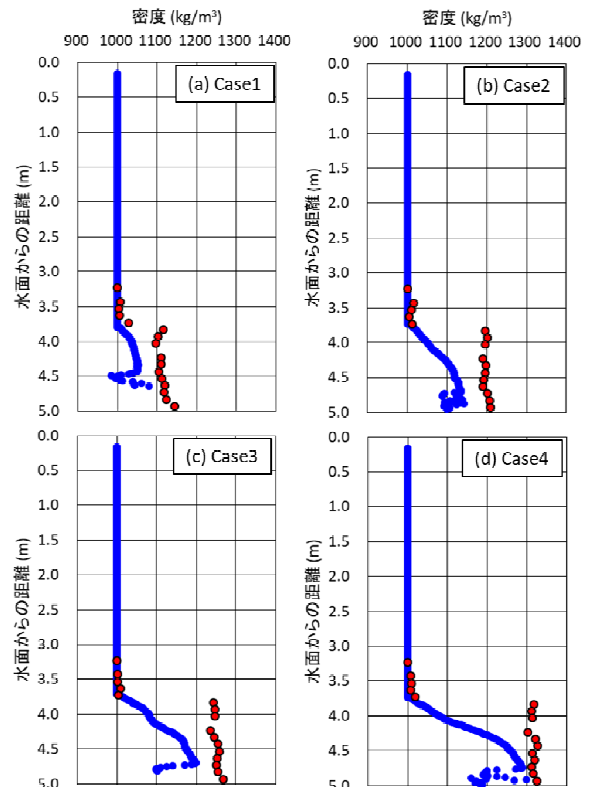


図-2 密度計測結果 (赤: ガンマ線密度計、青: 自由落下式密度計)

2) ガンマ線密度計で計測された密度分布が鉛直方向にほぼ一定であるのに対して、自由落下式密度計の計測値は浮泥表層から徐々に増加して底面近傍でピーク値を示す。

3) ガンマ線密度計の計測結果と比べて、自由落下式密度計の密度計測値は全体的に小さい値を示す。

参考文献

- 1) 海上保安庁: 海上保安庁告示第 102 号、https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/annex2.pdf (2021年3月31日閲覧)
- 2) 海上保安庁: 水路測量業務準則施行細則、https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/saisoku.pdf (2021年3月31日閲覧)
- 3) 奥村樹郎、梅原靖文: 海底浮泥の基本的性質、土と基礎、第 26 巻 1 号、pp.25-31、1978
- 4) W. H. McNally, F. ASCE, R. Kirby, S. H. Hodge, T. L. Welp, N. Greiser, P. Shrestha, D. McGowan and P. Turnipseed: Mautical Depth for U. S. Navigable Waterways: A Review, J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., Vol. 142(2), 04015014, 2016