

円形回転水路の流況特性に関する研究

— 干潟生態系再現分析装置の性能把握 —

福岡大学工学部 学生員 ○上田 晋也
 福岡大学工学部 正会員 渡辺 亮一

福岡大学工学部 正会員 山崎 惟義
 九州大学大学院 工学研究科 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

底泥の巻き上げ、沈降過程に関する研究に用いられる代表的な実験装置として、直線水路、循環型直線水路、円形回転水路の3つがあげられる。底泥のような凝集性微細粒子は、粒径が非常に小さく砂粒子と比べて、沈降速度が遅く、流送距離が長くなることから実験装置に特別な配慮が必要となる。仮に直線水路を用いるとすれば、直線水路には、流入量の収支の問題、設置場所の問題を有する。また、循環型直線水路の場合、貯水槽を設け、ポンプを用い循環させることで直線水路の欠点であった流入量の問題を解消したが、ポンプ内でフロックが破壊されてしまう欠点を有している。そこで、直線水路、循環型直線水路の欠点を解消することを目的として考案された実験装置が円形回転水路である。円形回転水路は、水路が円形であるため、水路長が無制限とみなせる。また、流入出がないため水路断面内で現象が一様である。しかし、遠心力により2次流(らせん流)が発生する欠点を有しているため、リングと円形水路を互いに逆方向に回転させ、2次流の影響を最小にする手法が用いられている。これまで研究に用いられてきた円形回転水路の最大径は200cm程度であり、2次流の影響を無視し得る条件を設定すると、水路底面で発生させることが可能なせん断応力が小さくなるという欠点を有していた。そこで、本研究室では、これまで設定することができなかった条件で実験可能な世界最大規模の円形回転水路(500cm)を作製し、その水路特性を把握するための実験を行った。

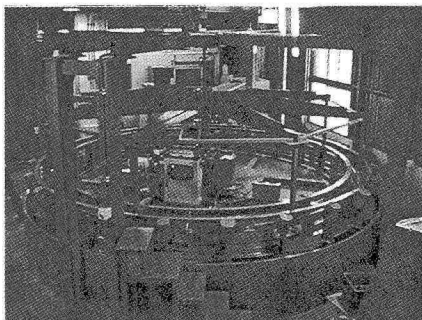


写真1 円形回転水路

2. 研究の目的

本研究で用いた直径500cmの円形回転水路は、理論的には過去にない理想的な条件での実験が行える装置であると考えられるが、実測によって円形回転水路の流況特性や性能を明らかにする必要があると考えられる。そこで、装置内の主流方向流速、2次流の測定を行うことによって、今回作製した円形回転水路の流況特性および性能を把握することを本研究の目的としている。

3. 実験装置および実験方法

写真1および図1は、実験に用いた内径460cm、外径500cm、深さ40cmの円形回転水路の概略を示している。円形水路、リングは、ともに透明の塩ビ製の板を使用した。円形水路は回転円板上に固定し、リングはアームの先端に固定した。円形水路、アームは、ともにモーター、回転速度制御装置を有し、中央の2重回転軸を通じて独立で回転できるようになっている。また、リングは、昇降機能を有しており、高さを自在に変化できる。実験方法として、まず、円形水路に水道水を入れ、水深を28cmに設定し、リングが水面に接するようにセットした。また、水路の内側に測定地点を2ヶ所対角線上に設け、測定地点1、測定地点2とした。測定地点は、底面から2cm間隔の流速計差込み口を設け、3次元電磁流速計(先端部球形φ13mm)を差し込み、半径方向に1cmずつ計19ヶ所の測定点における流速を測定した。(図2参照)

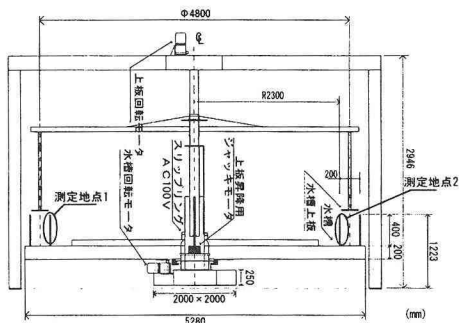
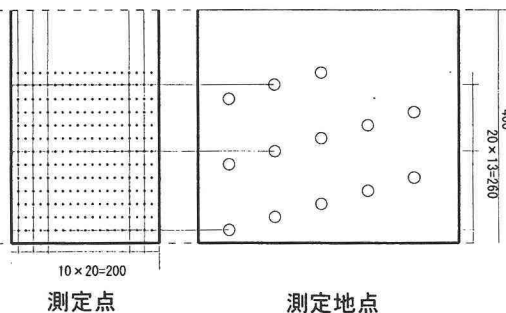


図1 円形水路断面図



測定点 測定地点

図2 測定地点および測定点

4. 実験結果

図3、4は、リングと円形水路を互いに逆方向に回転させたときの2次流分布と主流方向流速分布を示している。縦軸を水深(cm)、横軸を円形回転水路の中心からの距離(cm)としている。この図より、リングと円形水路を互いに逆方向に回転させることで、水路断面内で2次流が1cm/s以下となり、底面付近ではもちろん、水路断面全体においても2次流を最小にすることができた。また、図4のように主流方向流速分布が底面部付近において、直線水路と同様とみなせることから、円形回転水路は、無限長の直線水路とみなせることがわかる。

5. 実験結果の解析

図5は各回転数でリングと円形水路を互いに逆方向に回転させた時の水路中央部(R=240cm)における主流方向流速分布を鉛直方向にプロットしたものである。縦軸を水深(cm)、横軸を相対速度(cm/s)としている。鉛直方向流速分布は、分布が鉛直にたっており、リングと底面部付近のみ対数分布則に従っている。これより、リングと円形水路底面においてのみせん断応力が働いていることがわかる。底面せん断応力を求める方法としては、リングのせん断応力と水路の諸面積より算出する方法が一般的であるが、今回リングのせん断応力が実測できなかったため、Prandtlの運動量輸送の理論を用いて推測した。

$$\frac{\tau}{\rho} = (\varepsilon + \nu) \left| \frac{du}{dy} \right|, \quad \varepsilon = l^2 \left| \frac{d^2u}{dy^2} \right|, \quad l = \kappa y$$

ただし、 τ : 底面せん断応力、 ε : 渦動粘性係数、 ν : 動粘性係数、 ρ : 水の密度、 l : 混合距離、 κ : カルマン係数($\kappa=0.4$)、また、 $\varepsilon \gg \nu$ より、分子粘性の影響は無視できるものとした。算出した底面せん断応力は図6に示す。この図は直径500cmの円形回転水路の操作曲線を表している。縦軸を円形水路の速さ(RPM)、横軸をリングの速さ(RPM)としている。この図から、本実験装置は2次流の影響を無視し得る条件で設定可能な範囲が大きく、様々な流れ場における実験が可能であることがわかった。

6. 結論

今回の実験結果から得られた結論を要約すると以下の二点となる。

- (1) リングと円形水路を互いに逆方向に回転させることによって、水路全体で2次流の影響を最小にすることができた。その結果、水路長が無限長の直線水路とみなせることから、底泥の巻き上げ、沈降過程に関する研究に用いる実験装置として最も理想的な装置といえる。
- (2) 操作曲線より、底面せん断応力の設定範囲が大きく、様々な流れ場における底泥の巻き上げ、沈降過程に関する研究が可能である。

参考文献

- 二渡了：円形回転水路とその流況特性、九州大学工学集報、第57巻、第4号、1984。
 海田輝之：底泥の巻き上げと懸濁物質の沈降に関する研究、九州大学学位論文、pp21-31、1989。
 椿東一郎：基礎土木工学全書6 水理学I、森北出版株式会社、pp79-82、1973。

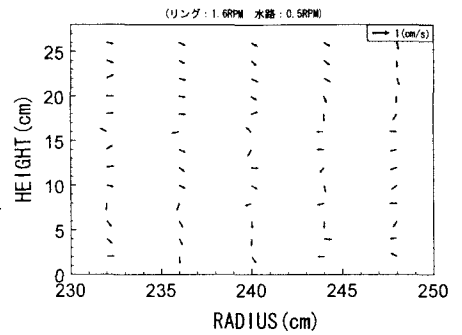


図3 2次流分布

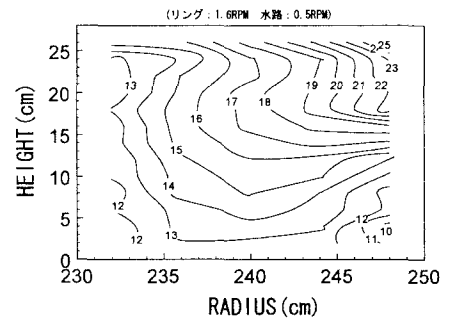


図4 主流方向流速分布

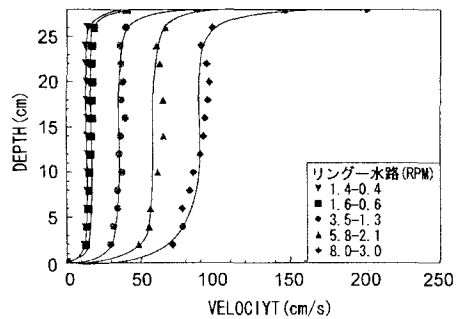


図5 鉛直方向流速分布(h=28 cm)

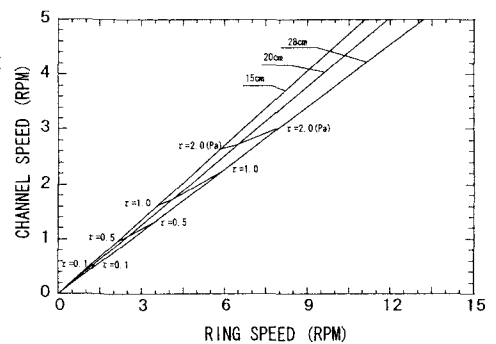


図6 操作曲線