

形状特性を有する管路の残差流生成能力に関する実験的研究

九州大学 学生員 ○松下 朋哉・Andi Rusdin 正会員 橋本 彰博・藤田 和夫 フェロー 小松 利光

1. はじめに

近年、閉鎖性沿岸海域における水質悪化が深刻な問題となっており、この対策として海水交換による水質改善手法である透過性構造物、碎波や渦制御型防波堤などの適用例が数多く報告されている。これらは主に小規模な漁港などに適応され、顕著な水質改善効果がみられているものもあり、場合によっては非常に有効な解決手段であることが示されている。しかしながら、これら従来から用いられている方法では広大な水域の水質改善を行うのは難しく、施工も大がかりで費用がかさむために適用に限界があり、入江や内湾といった地域では、未だ有効な解決策がほとんどない状況にある。その解決策として、著者らは、管内壁に非対称構造物を取り付けて方向抵抗特性を持たせた管路（以下 One-Way Pipe という）を提案し、その水質改善効果を評価してきた。その結果、One-Way Pipe は往復流場において一方向流れを創造できることが確認されている。¹⁾

一方、往復流場において管路内に一方向流れを生成させる駆動力としては、管内壁に設置した非対称構造物により生じる流体力の差だけでなく、入口・出口損失の差から生じる圧力差によっても同様の効果が期待できる。

そこで本研究では、入口および出口の形状に工夫を施した新たな管路を提案し、その残差流生成能力を検証した。

2. 実験装置および方法

実験には Fig.1 に示す全長 1900cm、幅 25cm の二次元造波水槽を用いた。造波装置から 1100cm の地点に管路を設置し、管内の中心断面（以下 center という）と管路の出口から内側 4cm の断面（以下 outlet という）において（Fig.2 参照）、レーザー流速計（LDV）を用いて管内流速を測定した。

管路は内径 10×10cm、長さ 50cm のアクリル製矩形管に入口に拡大管を設置したもの（Fig.3 左図）、出口から dl の距離に高さ 5cm のつばを設置したもの（Fig.3 右図）、波の進行方向に残差流が生成されるように粗度高さ 0.9cm の 1/4 円柱型の非対称構造物（粗度）を 1.8cm 間隔でとりつけたもの（One-Way Pipe）を作成し、水深 $h=30$ cm、波高 $H=5$ cm、周期 $T=1.2$ sec（波長 $L=180$ cm）として実験を行った。なお、実験条件は単一 One-Way Pipe に対して同様の実験を行った場合に、残差流の生成能力が高かったものの中から選ばれたものである。

形状加工型管路においては、各々、入口加工角 θ 、つばの位置 dl による残差流の変化を確認するため、 $\theta=15^\circ$ 、 30° 、 45° 、 $dl=0$ 、2.5、5、7.5、10 cm と変化させた。各々の管路について、上述した center、outlet の 2 断面について管内上壁面から 1cm の地点より水深方向に 1cm 間隔で流速を測定した。サンプリング周波数 100Hz で 100 周期分の波を計測し、時間平均することにより流速を求めた。

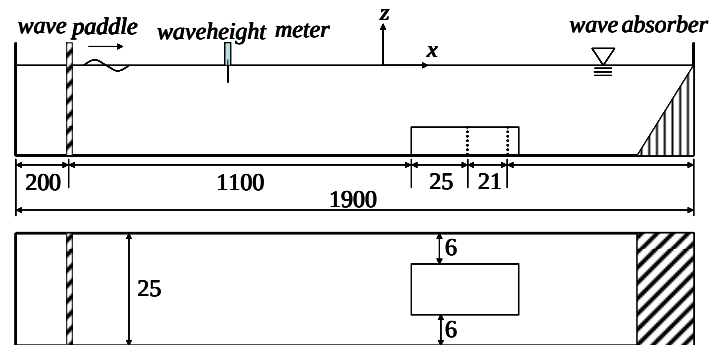


Fig.1 実験装置(unit:cm)

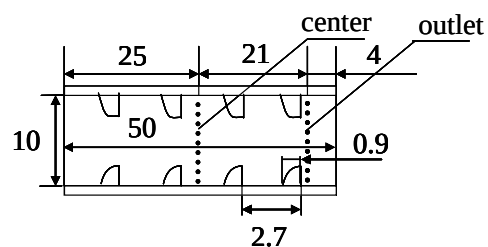


Fig.2 One-Way Pipe (図中の点線は測定断面を示す)

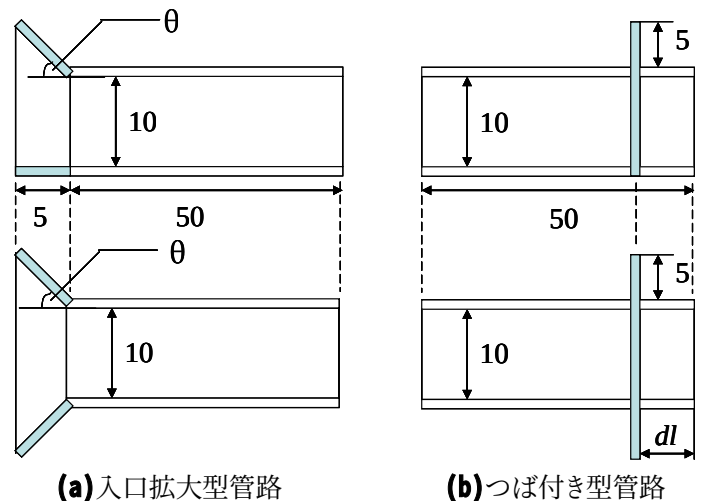


Fig.3 新たに提案する管路の形状図(unit:cm)

3. 実験結果と考察

3.1 残差流速の鉛直分布

入口拡大型管路, つば付型管路の残差流速の鉛直分布を One-Way Pipe の結果と合わせて Fig.4~6 に示す. なお, Depth = -19.5cm ~ -27.5cm の区間は管路内である. まず, One-Way Pipe の結果を見ると (Fig.4), 管路内に正の残差流速が生成されていることが確認できる. この結果より One-Way Pipe は管路内に設置された粗度によって, 波浪場において管路内に一方向流れを生成できることが確認された.

次に入口拡大型管路の結果を見ると, 全てのケースにおいて負の残差流速が生成されている. また, θ が大きくなるほど負の残差流速が小さくなる傾向にある. 一方, つば付型管路の結果を見ると (Fig.5, 6), $dl = 0\text{cm}$ を除いた全てのケースにおいて正の残差流速が生成され, 特に, $dl = 7.5\text{cm}$ で最も大きな正の残差流速が確認できる. ここで, center より outlet での残差流速が大きくなっている. これは, つばの設置により管路出口付近に剥離渦が発生し, 管路の横断方向にも流速分布が生じたためと考えられる.

つば付型管路において正方向の残差流が生成される理由としては, つば付近に生じる剥離渦によると考えられる. 波の峰が通過した時, つば後方に剥離渦が発生し, 出口付近に低圧部が生じ, 管路入口と出口の圧力差により流体が管路の入口から低圧部の出口へと輸送される. 一方, 波の谷通過時はつばによる入口損失が大きいため, 管路内への流入が妨げられる. その結果, 平均的に波向き方向へ流体が輸送されると考えられる.

3.2 残差流量と dl の関係

つば付型管路の残差流量生成能力を評価するため, 管路が位置する水深における単位幅の残差流量 q (cm^2/s) を Fig.5 の残差流速を水深方向に積分することにより求めた. Fig.7 につば付型管路と One-Way Pipe の残差流量の関係を示す. つば付型管路においては, dl が大きくなるにつれて残差流量は増加し, $dl = 7.5\text{cm}$ で最大値をとり, その後減少している. また, $dl = 7.5\text{cm}$ での残差流量は, One-Way Pipe の残差流量よりも大きくなっている.

4. 結論

本研究の結果, 入口形状を拡大するだけでは正方向の残差流を生成することができないこと, また, 出口付近につばをつけることによって, One-Way Pipe と同様に正方向の残差流が生成されることが確認された. 特に, $dl = 7.5\text{cm}$ で残差流量が最大値をとり, One-Way Pipe よりもむしろ大きな残差流生成能力を持つことがわかった. 今後, つばを付けた場合に正方向の残差流が生成する理由を明確にするために, つば付近の流速分布を明らかにする予定である.

参考文献

- 1) 川野ら : 波浪場における方向抵抗差を有する管路の残差流特性, 水工学論文集, 第 50 巻, pp.1435-1440, 2006

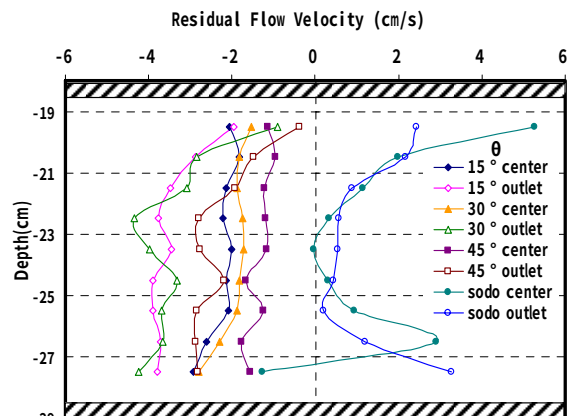


Fig.4 残差流速プロファイル (入口拡大型管路)

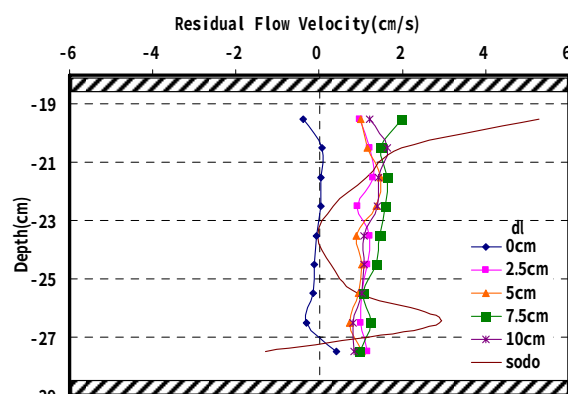


Fig.5 残差流速プロファイル (つば付管路:center)

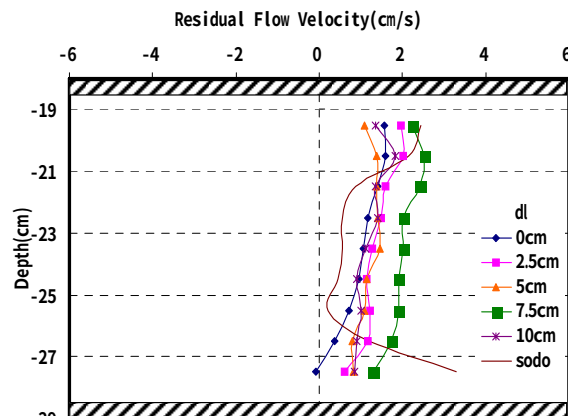


Fig.6 残差流速プロファイル (つば付管路:outlet)

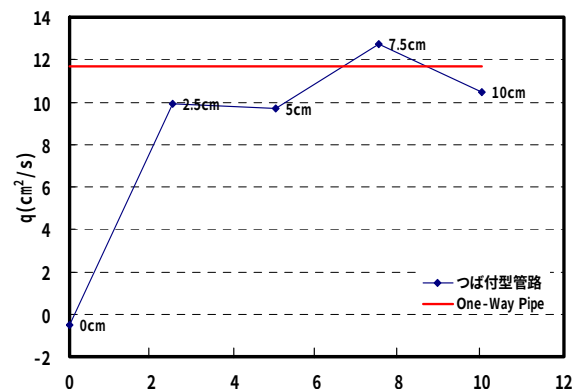


Fig.7 dl と q の関係