

## 方向特性を有する管路の残差流特性に関する実験的研究

九州大学大学院 学生員 ○川野 立・ Mukhsan Putra Hatta 正会員 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問題となっており、それに対して様々な解決策が提案されている。そのなかでも、透過性防波堤などに代表される海水交換による水質改善技術は、比較的手軽で効果を得やすいことから適用例が多い。しかしながら、これらの事例には対象とする海域がある程度小規模であり、交換に用いる新鮮な外海水が近くに、豊富に存在することが要求される。したがって、湾奥部や入江内部などに対してこれらの方法を適用しても大きな効果を得ることは困難であると考えられる。

これに対して筆者らは、非対称構造物を管内壁に取り付け方向抵抗特性を持たせた管路(以下 One Way Pipe という)による水質改善技術を考案している。One Way Pipe を、波浪もしくは潮汐に起因するような往復流場に設置すると、その方向特性により残差流を生成することができ、海底面に設置した場合には残差流の鉛直循環を創成することができる。さらに、One Way Pipe を海底面に連続して設置することにより、平面地形やスケールに左右されず、広域的な残差流の鉛直循環を連続して系統的に構築することができると思われる。これによって、従来では困難であった狭隘な入江奥部や内湾にも海水交換技術が適用でき、水質改善を図ることができる。本文では、これらの基礎研究として二本の One Way Pipe を連続して底面に設置した場合の残差流の生成特性を実験によって調べた。

### 2. 実験方法と条件

実験には Fig. 1 に示す全長 1600 cm、幅 25 cm の二次元造波水槽を用いた。造波装置から 700 cm の地点に  $dL$  の間隔をあけて One Way pipe を二本設置し、この  $dL$  を 1、3、5、10、15、30 cm と変化させることによりパイプに生じる残差流がどのように変化するかを、超音波ドップラー流速計により流速を測定して調べた。さらに、パイプ間で残差流が連続していることを確認するため  $dL = 30$  cm の条件で、パイプ間の流速パターンを空間的に測定した。

実験には、内径 10 × 10 cm、長さ 50 cm のアクリル製矩形管に波の進行方向に残差流が生成されるように、粗度高さ 0.9 cm の 1/4 円柱型の非対称構造物(粗度)を 1.8 cm 間隔で取り付けて製作した One Way Pipe (Fig. 1 上図)を使用し、水深  $h = 30$  cm、波高  $H = 5$  cm、周期  $T = 1.2$  sec (波長  $L \approx 180$  cm) として実験を行った。これらの実験条件は、単一の 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。

$dL$  の違いによる残差流の変化を確認するための実験では、各  $dL$  に対して、一本目のパイプ前面、二本目のパイプ前面、二本目のパイプ後面の各々から 5 cm 離れた地点において、水路幅方向に中心の鉛直線上を底面から 1 ~ 20 cm まで 1 cm 間隔で、各点をサンプリング周波数 20 Hz で波の周期 50 周期間(60 秒)の流速を計測した。残差流の連続性を確認するための実験では、一本目のパイプ後端を  $x = 0$  とした場合  $x = 5, 10, 15, 20, 25$  cm 地点の鉛直線上で同様の計測を行った。また、残差流は測定した流速を時間平均することにより求めた。

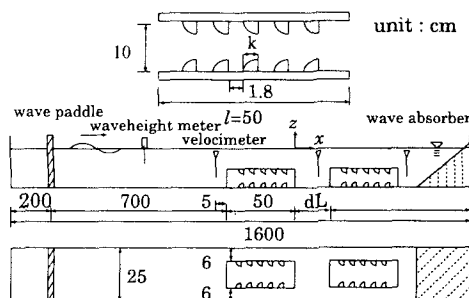


Fig. 1. 実験装置

### 3. 実験結果と考察

Fig. 2 ~ 4 に、一本目のパイプ前面、二本目のパイプ前面、二本目後面における残差流の生成結果を示す。二本目の前面は、流速計の形状からくる制約で  $dL$  がある程度広くないと計測できないため分布数が少ない。まず、いずれの図からもパイプによって残差流が生成されていることが確認できる。また、単一のパイプで同様の実験を行った結果である 'single' の系列と比較して、前後にパイプがあることで残差流の生成能力は大きく落てはいない。むしろ、二本目のパイプでは単一の場合より 2 倍程度強い残差流が生成されている。

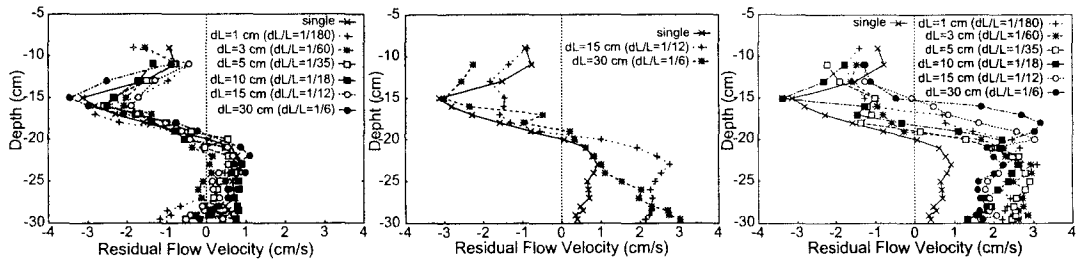


Fig. 2. 残差流速プロファイル (一本目前面) Fig. 3. 残差流速プロファイル (二本目前面) Fig. 4. 残差流速プロファイル (二本目後面)

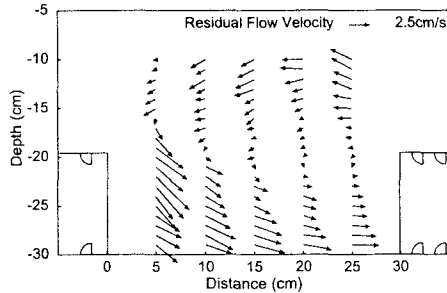


Fig. 5. パイプ間での残差流速

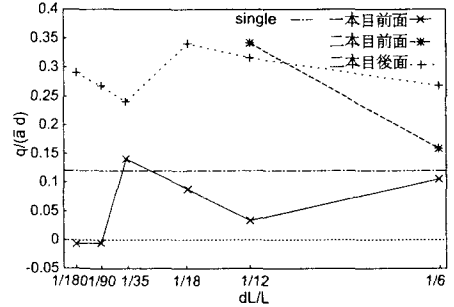


Fig. 6.  $q/(\bar{a}d)$  と  $dL/L$  の関係

Fig. 5 には、残差流がパイプの間でも連続していることを示すために、本実験中で連続した残差流の生成が最も困難であると考えられる  $dL = 30$  cm の条件下において計測されたパイプ間の残差流をベクトル形式で表示した。この図から、一本目のパイプ後方の残差流が徐々に弱くなりながら二本目のパイプまで連続して続いていることが確認され、二本のパイプ間に正味の流体輸送が存在することが分かる。さらに、パイプ上方には後方から循環してきた残差流が存在し、この残差流もパイプ間で連続している。また、パイプ間での残差流は水深が浅くなるにつれ連続性が弱くなっているが、底面付近ではほぼ同程度の大きさの残差流が二本目のパイプまで連続している。

最後に、 $dL$  とパイプによって生成される残差流の大きさの関係を調べた。まず、パイプによる残差流の大きさを評価するために、パイプが位置する水深における単位幅の残差流量  $q(\text{cm}^2/\text{s})$  を Fig. 2 ~ 4 から計算した。さらに、これをパイプが位置する水深での波による平均の流速振幅  $\bar{a}$  (cm/s) とパイプ径  $d$  (cm) の積で除して無次元化した  $q/(\bar{a}d)$  を求め、これを残差流の生成能力の指標とした。Fig. 6 に、この  $q/(\bar{a}d)$  と  $dL$  を波長  $L$  で除して無次元化した  $dL/L$  との関係を示す。また、図中には一点鎖線で単一のパイプの残差流生成能力 'single' を併せて示してある。まず、一本目前面の系列では  $dL$  が極端に小さな場合、残差流の生成が小さいことがわかる。 $dL = 1/35$  程度になると  $q/(\bar{a}d)$  はピークを持ち、その後一旦減少に転じ、最終的には 'single' に漸近している。二本目のパイプ前面はデータが少ないので比較が十分に出来ないが、二本目の後面とともに、'single' と比較して大きくなっている。これらのことから、本実験において連続した残差流の生成という観点からは、 $dL = 1/35$  程度が最適であると考えることが出来る。しかしながら、 $dL = 1/6$  程度まで増加した場合においても、それほど大きく残差流の生成能力、連続性が低下することはないことがわかる。

#### 4. 結論

本研究の結果、波浪場において二本の One Way Pipe による連続した残差流の鉛直循環が構成できることが確認された。さらに、パイプ間隔  $dL/L$  が  $1/35$  程度で連続した残差流の生成能力が最大になることがわかった。また、 $dL/L$  は単一のパイプ程度の効果を期待するのであれば、 $dL/L = 1/6$  程度まで延長させることも可能である。