

方向抵抗特性を持つ構造物に関する実験的研究

九州大学工学部 学生員 ○工藤教勇 九州大学大学院 学生員 堤 啓
九州大学大学院 学生員 朴 童津 九州大学大学院 フェロー 小松利光

1. はじめに

港湾内のような閉鎖性水域では海水の停滞による水質汚濁が深刻な問題となっている。この解決策の一つとして、防波堤下部にパイプを設けることで港内と港外の間で海水交換を促進させ、水質の改善を図る研究が行われている¹⁾。往復流場である海域の防波堤にパイプを設置すると管内には往復流が形成される。そこで、パイプの内壁に非対称な形状の粗度を設けたり、パイプの出入口の形状に非対称性を持たせたりすると、パイプを通過する流体の受ける抵抗力が流向によって異なるため、長期間にわたって平均すると実質的な一方流れが生成される。筆者らはこのような形状を工夫したパイプ（以後One-Way Pipeと呼ぶ）を防波堤に用いた海水交換技術を提案し、その効果を確認している²⁾。しかし、その効果は実際のOne-Way Pipeの製作上重要である粗度の設置間隔や、粗度高さ、粗度形状などを変化させることにより異なってくると思われる。

したがって、本研究ではまずOne-Way Pipe内壁の粗度の設置間隔と管径に対する粗度高さを変化させた実験を行い、矩形管における有利な設置間隔と、管径と粗度高さとの比について調べた。また、One-Way Pipeの管長が短いと内壁に設置される粗度の個数が制限される。その場合には出入口の形状が大きな役割を果たすことになるので、出入口の形状損失に関する実験を行い、その特性を調べた。

2. 粗度設置間隔と管径に対する粗度高さを変化させた実験

(1) 実験方法

実験装置の概略を図-2に示す。一定区間に粗度を配置した一辺10cmの矩形One-Way Pipeを受水層底部に取り付け、パイプ内の流れが定常状態になった後その時の粗度設置区間前後の水頭差(ΔH)と流量(Q)を測定した。粗度高さ(k)はk=6, 9, 12, 14mmの4種類を用い、各粗度に関して設置間隔(L)をL/k=3, 6, 9, 12, 18の5通りに変化した。逆方向の流れに対しては、パイプを逆向きに取り付け同様の測定を行った。ここで、流れやすい向きを順方向、流れにくい向きを逆方向と定義する。

(2) 実験結果

測定結果を用いて、Manningの粗度係数を $n=R^{2/3}I^{1/2}/v$ により求めた。ここでv:断面平均流速(m/s)(=Q/A, Q:流量(m³), A:管路の断面積(m²)), R:径深(m), I:動水勾配である。管路の断面積Aは粗度の大きさや間隔によって変化するが、ここでは粗度の無い状態での矩形管の断面積0.01m²に固定した。One-Way Pipeとして有利なkとL/kは、順・逆方向の流速差Δvが最も大きくなるものである。Manningの式からパラメータ $\Delta v/(R^{2/3}I^{1/2})=(1/n_1-1/n_2)$ を定義し $\Delta v/(R^{2/3}I^{1/2})$ が最も大きくなる時のkとL/kについて調べた。ここでn₁は順方向の値、n₂は逆方向の値を示す。図-3にkとL/

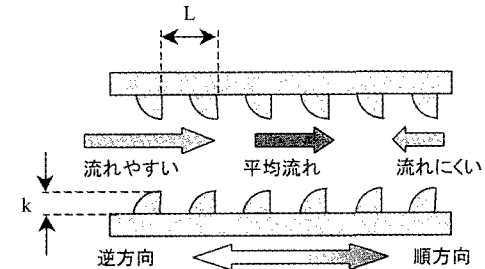


図-1 1/4円筒凸型粗度を取り付けた矩形管の断面図

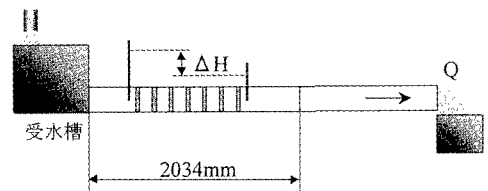


図-2 実験装置の概略図

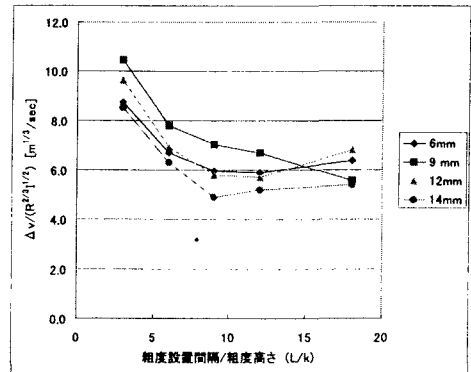


図-3 $\Delta v/(R^{2/3}I^{1/2})$ と L/K の関係

k , $\Delta v / (R^{2/3} I^{1/2})$ の関係を示す. L/k が小さいほど $\Delta v / (R^{2/3} I^{1/2})$ は大きくなる傾向が読み取れ, 設置間隔を狭めた方が One-Way Pipe としての効果が大きいと言える. また粗度高さ $k=9$ (mm) の時 $\Delta v / (R^{2/3} I^{1/2})$ は最大値を示していることから, 矩形管の場合粗度の大きさと一辺長の最適比は約 0.1 であることが言える.

表-1 入口形状の寸法

| | D(cm) | d(cm) | k(cm) |
|----------|-------|-------|-------|
| Case1 | 10.0 | 20.0 | 5.5 |
| Case2(s) | 10.0 | 18.0 | 4.0 |
| Case2(m) | 10.0 | 13.0 | 8.0 |
| Case2(L) | 10.0 | 20.0 | 8.7 |
| Case3 | 10.0 | 10.0 | 0.0 |
| Case4(s) | 10.0 | 10.0 | 3.9 |
| Case4(L) | 10.0 | 10.0 | 8.2 |

3. 出入口の形状損失に関する実験

(1) 実験方法

実験装置の概略を図-4に示す. 実験装置は2つのタンクとそれをつなぐ内径 10cm の円管で構成されている. 実験は図-6に示した4つの形状に対して, 表-1の7ケースについて行った. ポンプを操作し流速を3段階に変化させ, 各段階の流速に対して損失水頭と流量を測定した. ここで, 入口の損失水頭 ΔH はマンメータ No. 3 と No. 4 間の動水勾配を入口まで伸ばして得られた水頭とマンメータ No. 1 の差として定義した. 今回は, まず入口損失について実験を行った.

(2) 実験結果

測定結果を用いて損失係数 K を求めた, $K=2g \Delta H / (Q/A)^2$. ここで, g : 重力加速度 (m/s^2), ΔH : 入口形状の損失水頭 (m), Q : 流量 (m^3/s), A : 管路の断面積 (m^2) である. 図-5に各 Case に対する K の値を示す. K の値は実験条件の違いにより通常値よりも大きくなっているが, K が最大であるのは Case4(L) で, 図-6に示すような定性的な傾向は確認できる. 傾向として, K の大きさはタンク壁面からの突き出し長さ l によらず, 流入口に角度があるものと無いものとで値が大きく異なり, 入口が広がるように角度のついた形状の方が入口損失が小さいことが分かった.

4. まとめ

今回の実験結果から次のようなことが言える. 1) 1/4円筒凸型粗度を設置した矩形 One-Way Pipe においては, 粗度高さが一辺長の約 1割, 設置間隔は狭いほど効果が大きいという知見を得ることができた. 2) 異なる入口形状間における抵抗特性の傾向を確認できた.

参考文献

- 1) 森田ら: 通水路を有する透過性防波堤に関する研究, 海洋開発論文集, 第15巻, 1999年5月
- 2) 朴ら: 方向抵抗特性を有する2次元粗度に関する実験的研究, 水工学論文集, 第46巻, 2002年2月(印刷中)

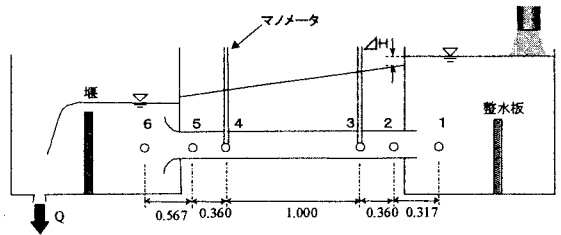


図-4 実験装置の概略図

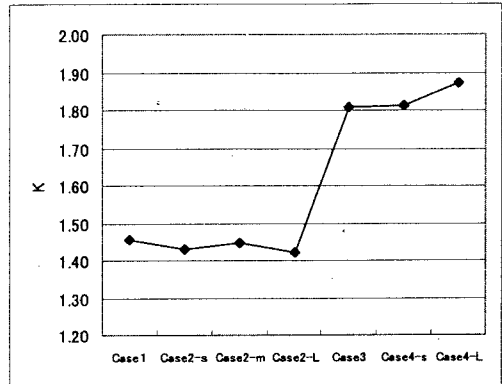


図-5 各 Case の入口損失係数

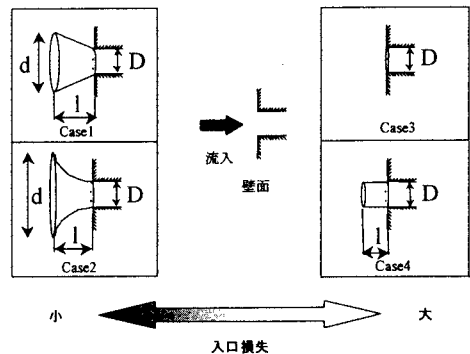


図-6 入口損失の定性的な傾向