

粗度を利用した潮汐流による恒流の生成について

九州大学	工学部	学生員	○ 荒木 修
九州共立大学	工学部	正 員	栗谷 陽一
九州大学	工学部	正 員	小松 利光
九州大学	工学部	正 員	藤田 和夫
九州大学	総理工	正 員	松永 信博

1. はじめに

閉鎖性海域においては水質が著しく悪化していることが多い。このような海域において、一方向の流れを定常的に発生させることは、水質浄化のための有効な方法の一つである。このような流れを自然エネルギーを用いて発生させようという試みが数多くなされている。^{1), 2)} 博多湾においても人工島建設計画が具体化されており、人工島背後の停滞水域の水質悪化が危惧されている。本研究では、このような問題を解決するために、潮汐流の向きに応じて抵抗の異なる人工粗度を設置することにより、一方向流れを発生させる方法を提案している。そして、この場合どのような恒流が発生するかを解析的にシミュレートした。さらに、有効な人工粗度形状を実験により求めた。

2. 数値シミュレーション

流れの向きの転換に応じて、粗度係数が異なるような人工粗度をもった一様断面水路(図-1参照)において、流体が潮汐運動する場合に生ずる流速と拡散物質の濃度を数値解析し、水路内に生ずる恒流について検討を行った。解析に用いた基礎式は1次元の運動方程式、連続の式、拡散方程式で、次式によって与えられる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{A}{B} - H \right) + gAI_f = 0$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{Cq}{A} + \frac{q'}{A}$$

$$I_f = n^2 \left| \frac{Q}{A} \right| \left(\frac{Q}{A} \right) / R^{4/3}$$

ここで、Aは断面積、Qは流量、Hは平均水深、Bは海面幅、 I_f は摩擦勾配、nはManningの粗度係数、Cは拡散物質濃度、 D_L は分散係数、qは淡水流入量、 q' は負荷流入量、Vは断面平均流速である。

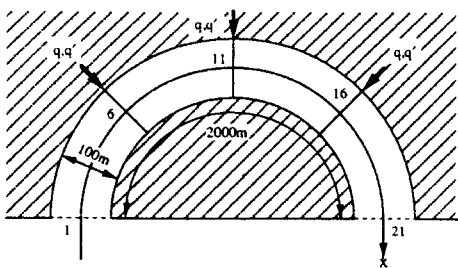


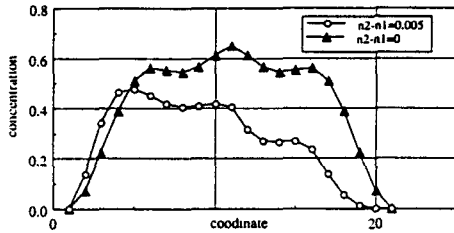
図-1 計算対象領域

表-1 計算条件

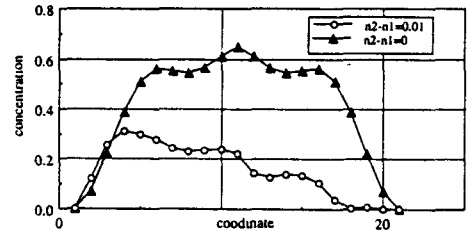
H=10.0 (m)
B=100.0 (m)
q=20.0 (m ² /day)
q'=20.0 (g/m ² day)
D _L =0.01 (m ² /s)
Δx=100.0 (m)
Δt=5.0 (sec)
ζ=0.57 cos (2πt/T)
T=12h25min

表-1に計算条件を示す。ζは2つの水路口での水面変位で同一の値を用い、流入量qおよび q' は、水路を4分割する3点(格子点6, 11, 16)から流入すると仮定した。潮流がxの正方向に流れるとき、Manningの粗度係数 n_1 は、0.035に固定され、負の方向の流れに対する粗度係数 n_2 は、0.025から0.035まで変えられた。

図-2の(a), (b)はそれぞれ $n_1=0.035$, $n_2=0.030$ および $n_1=0.035$, $n_2=0.025$ における水路内の定常濃度分布を示す。負荷流入条件が水路内で対称であるにもかかわらず、左半分の領域における濃度は右半分の濃度よりも高い。これは、 x の負の方向に n_{et} の流れが生じていることを示している。解析結果によると、明瞭な恒流の発生が認められるのは、 $|n_1 - n_2| \geq 0.005$ の時であることが明かとなった。



(a)



(b)

図-2 水路内の濃度分布

3. 実験 流れの向きの変換によってエネルギー損失水頭の差違が最も大きくなるような粗度形状を求める実験を行った。水路は幅25cm, 深さ25cm, 長さ8.0mであり、底面勾配は水平に保たれた。2次元の人工粗度を水深方向に、一様に水路両側面に取り付けた。流れの向きを変えるかわりに、人工粗度の取り付けを逆向きにした。今回検討した代表的な粗度形状を図-3(a)~(d)に示す。図-3(a)と(b)は平板粗度、(c)は1/4円柱粗度、(d)は半円柱粗度である。側壁からの粗度の突出高さ h を5.0cmに固定し、流れ方向の長さ l を変化させた。流れの最狭部から上流側40.0cmと、下流側80.0cmの水路中央で総圧計を固定し、それらを2液マノメータとつないでエネルギー損失 h_f を測定した。図-3において、流れが左から右に流れるときのエネルギー損失を h_{f1} 、右から左に流れるときのそれを h_{f2} とする。図-4は $(h_{f2} - h_{f1}) / l$ と $Re (=U h / \nu)$ との関係を示したものである。この図から広範囲のレイノルズ数に対して、形状(d)が最も大きなエネルギー損失水頭の差異を生むことが明かである。

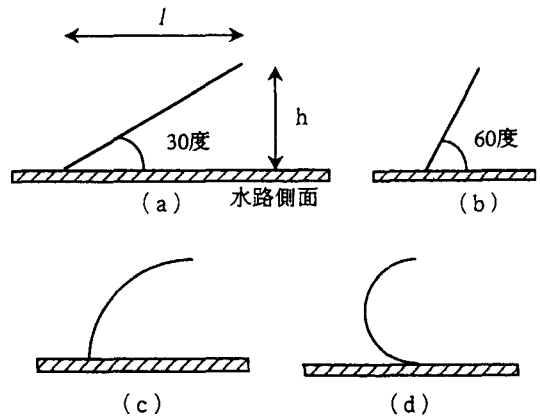


図-3 実験に用いた人工粗度

4. まとめ 数値シミュレーションにより、Manningの粗度係数がわずか0.005異なるだけで、濃度分布に顕著な非対称性が現れ、十分な恒流が発生することが明らかとなった。また、粗度形状として単一粗度の場合は半円粗度がエネルギー損失に最も大きな差異を生むことが明かにされた。今後は、粗度を流れ方向に配置した場合のエネルギー損失について詳細に調べていく予定である。

なお、本研究は人工湧昇流開発研究会の援助のもとに行われたものである。

<参考文献>

- 1) 川村 正司・他4名; 海岸工学論文集, 第36巻, pp 623~627, 1989.
- 2) 小松 利光・他5名; 水工学論文集, 第35巻, pp 549~554, 1991.

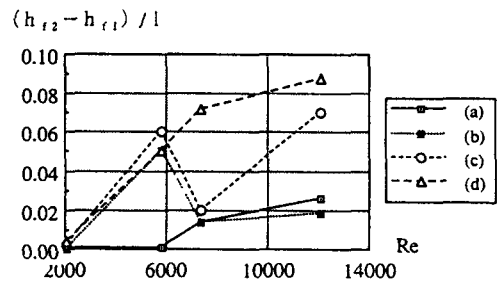


図-4 方向によるエネルギー損失差とレイノルズ数の関係