

流れを偏向させる偏流型粗度の有効な形状について

九州大学大学院 学生員○和田真人 鞠 承 洪 小橋乃子

九州大学工学部 フェロー 小松利光 正会員 矢野真一郎 藤田和夫 柴田敏彦

1. 緒言

我が国の沿岸域における水質問題は依然として深刻な状況にある。著者らはこれらの海域の多くが閉鎖性あるいは半閉鎖性海域であることに着目し、外海と内湾の海水交換の促進を行うことで水質改善を図る方法を提案している¹⁾。この手法は比較的小規模な構造物を複数個海底面に設置することで流れの創造・制御を行い、潮汐残差流を平面的にデザインすることにより効率的な海水交換を実現しようとするものである。

これまで潮汐残差流を制御する構造物として、流れの向きに対して非対称な形状をもつ三次元海底構造物(以下、主方向粗度と呼ぶ)が考えられていたが、主方向粗度は主流方向成分以外の潮汐残差流には直接的に寄与することができない。そこで、より積極的・効率的な流況制御を実現するために、流れの一部を偏流成分に変換し、主流方向以外の潮汐残差流を直接創造できる海底構造物(以下、偏流型粗度と呼ぶ)の開発を試みた。偏流型粗度は従来の主方向粗度とは潮汐残差流の生成機構が異なっているため、偏流型粗度と主方向粗度を目的に応じて使い分けたり、組み合わせて用いることによって更に柔軟で効率的な潮汐残差流の生成が期待できる。本研究では、有効な偏流型粗度形状とその抵抗特性を室内水理実験により検討した。

2. 偏流型粗度の抵抗特性を調べる実験

(1) 実験方法及び実験装置について

偏流型粗度のもつ抵抗特性を調べるために、定常一方向流れの中に粗度を設置し、抵抗を直接計測する室内実験を行った。室内実験には小松²⁾が主方向粗度の抵抗特性を調べるのに利用したアクリル製水路(長さ6.0m, 幅0.5m, 高さ0.5m)を用い、水路上流端から3.5mの地点に、小型三分力計(株)三計エンジニアリング製 LB25-1000, 直径3cm, 高さ8cm)を設置した。図-1に示すように流下方向にL軸を、それと直交する方向にT軸をもつ右手系のTL平面座標系を考え、粗度に働く流体力(抵抗力と同じ大きさで向きが反対の力) $D_T = -F_T$, $D_L = -F_L$ の測定を行った。実験に用いた粗度は三分力計のセンサー部に設置されたフランジに固定されており、三分力計を水路床内部に納めることで平坦な水路床に粗度を設置した状態を作った。

(2) 各粗度形状の抵抗力の評価(実験1)

効率的な偏流型粗度を開発する為、図-2に示すような4種類の粗度形状についてRe数、相対水深 h/k をそれぞれ変化した実験を行った(表-1参照)。対象とした粗度は、偏流効果をもつと思われる中で最もシンプルな形状である三角柱(粗度No.1)に加え、1/2四角柱(粗度No.2)、1/4円筒(粗度No.3, 4)とした。

海水交換を活発にするには既存の潮流流速を維持した状態で大きな偏流効果が獲得できることが望ましい。すなわち、同程度の偏流効果をもつ場合には、粗度による主流のエネルギーの減衰が小さい方が好ましく、 D_T と D_T/D_L の両方共に大きな値をもつ粗度がより効果的であると考えられる。そこで粗度の総合評価として D_T と D_T/D_L を用いて比較を行った。各粗度の D_T を図-3に、 D_T/D_L を図-4に示す。いずれの実験条件においても粗度4の $|D_T|$ 、 D_T/D_L が最大となっているこ

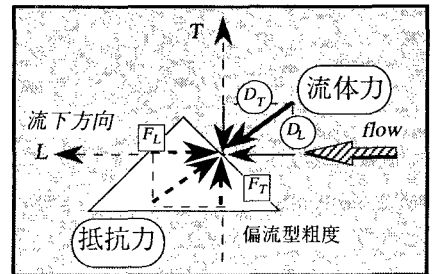


図-1 抵抗力測定における座標系

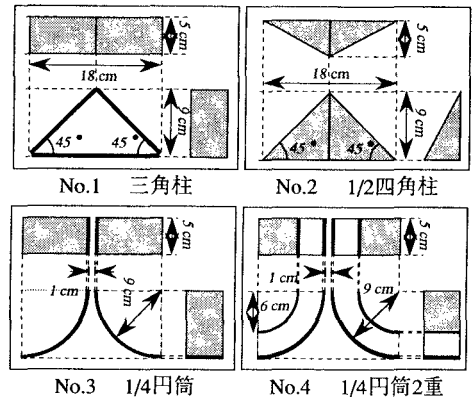


図-2 各粗度の形状

(図は反時計回りに、T方向から見た投影図、水路上部から見た平面図、L方向から見た投影図)

表-1 実験条件(実験1)

実験番号	Reynolds数	相対水深 h/k
Case 1	7×10^4	4, 4.5, 5, 5.5, 6
Case 2	8×10^4	4, 4.5, 5, 5.5, 6
Case 3	9×10^4	4, 4.5, 5, 5.5, 6

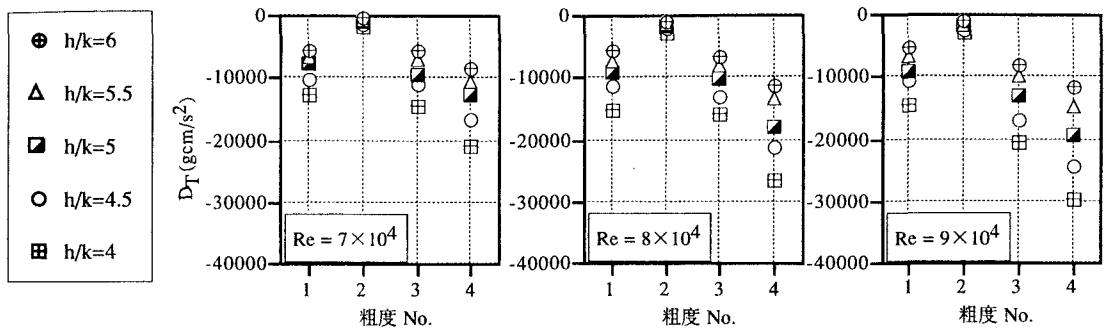


図-3 各粗度形状の D_T

とから、今回の実験の範囲では1/4円筒を二列重ねて配置した粗度が最も効率良く偏流効果を生じさせることがわかった。

(3) 流向と偏流効果の関係 (実験2)

実験1では、粗度の対称軸が潮流往復流の主流軸と直交する場合についての抵抗特性を調べた。しかし、実際の海域では流軸が一定ではなく、潮流楕円を描くのが一般的である。そこで、実験1で最も効果のあった粗度4について、粗度に対して流れの方向を変化させた場合の抵抗特性を調べた。粗度に固定された X' 軸(対象軸)と流速ベクトル V のなす角 θ を、 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲でほぼ 10° 毎に角度を変化させ、 $Re=7.5 \times 10^4$ 、 $h/k=5$ の条件下で流体力 D_L 、 D_T の測定を行った。得られた結果から粗度の往復流場での効果を見るために、角度 θ と $\theta + \pi$ の上げ潮・下げ潮時の X' 方向の流体力 $D_{X'}(\theta)$ 、 $D_{X'}(\theta + \pi)$ の和を求め図-5に示した。図-5において $\theta = 90^\circ$ 付近の $D_{X'}(\theta) + D_{X'}(\theta + \pi)$ は大きな正の値を有しており、粗度4は有効な偏流効果が期待できる。また、潮流楕円の長軸方向(主流方向)と Y' 軸が一致するように粗度を設置することによって最大の効果が得られ、主流方向が多少変化しても偏流効果は維持されることがわかった。

3. 結論

本研究の結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 偏流型粗度の有効な形状を水理実験により検討した結果、1/4円筒を二重に配列した形状が最も有効であることが明らかとなった。
- 2) 流れの方向の変化による偏流型粗度の抵抗特性を1/4円筒二重配置型に対して調べた結果、潮流の一周間に渡る流向の変化に対して偏流効果が得られる時間帯が比較的長いこと、また最も潮流流速が強くなると期待される最大上げ潮流もしくは最大下げ潮流の近傍で偏流機能が強いことから潮汐残差流の偏流効果が十分期待できることが明らかとなった。

—参考文献—

- (1) 小松ら: 方向性を持つ底面粗度を用いた潮汐残差流の創造と制御. 水工学論文集, 1997年3月, 第41巻, pp.323-328
- (2) 小松ら: 流れの方向により抵抗特性の異なる人工粗度の開発. 水工学論文集, 1997年3月, 第41巻, pp.705-710

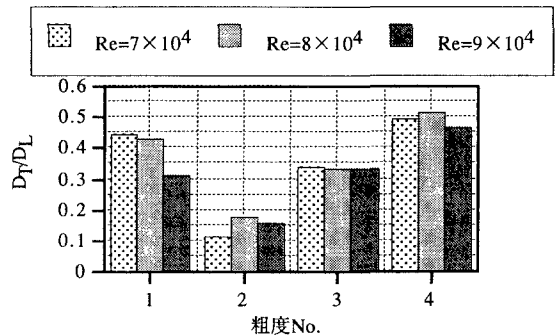


図-4 各粗度形状の D_T/D_L

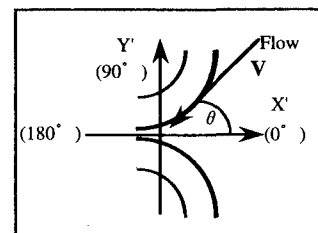
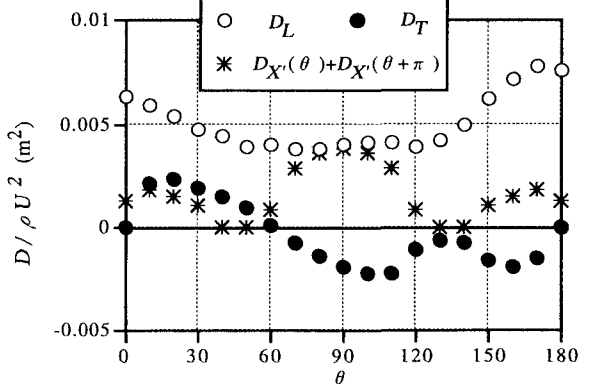


図-5 主流の入射角変化による偏流効果の特性