

潮汐残差流が海水交換に及ぼす影響

九州大学大学院 学生員 ○小橋 乃子 鞠 承 洪 和田 真人
九州大学工学部 フェロー 小松 利光 正会員 矢野真一郎

1.はじめに 著者らは閉鎖性海域の水質改善を目的に、比較的小規模な構造物を複数個海底面に設置することによって流れの創造・制御を行い、最も効率的な海水交換を実現しようとする手法について検討を行っている。潮汐残差流を制御する構造物としては、流れの向きに対して抵抗差をもつ主方向粗度が考えられているが²⁾、この粗度のみで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、より柔軟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)の開発を新たに行っている³⁾(図-1参照)。

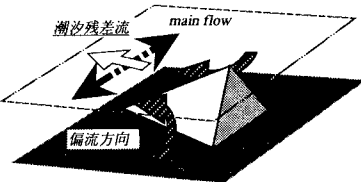


図-1 偏流型粗度のイメージ図

本研究では偏流型粗度の効果を考慮した潮流・拡散シミュレーションを行い、偏流型粗度の海水交換に対する寄与について検討を行った。

2.偏流型粗度のモデル化 偏流型粗度のモデル化を行う際に、図-2に示すような固定平面座標系 X - Y 、粗度に固定された平面座標系 X' - Y' 、更に、流向によって定義される T - L 座標系を用いた。また、流速ベクトル $V(u, v)$ と X 軸とのなす角を θ 、 X' - Y' 座標系の X - Y 座標系に対する反時計回りの回転角を α とした。

模型と原型の抗力係数は高 Re 数の条件下では一致することから、流れ方向に垂直な面への粗度の投影面積 A を用いると、流体力の T - L 方向の成分は以下のように表すことができる。(添え字 p は原型を示す。)

$$(D_{TP}, D_{LP}) = \frac{|V_P|^2}{|V|^2} \frac{A_P}{A} (D_T, D_L) \quad (1)$$

ただし、 A, A_p はいずれも θ によって変化する量であるが、その比 A/A_p は θ には依存せず、実験(模型)と実物(原型)の粗度のスケール比によって一意的に決定される。 D_T 及び D_L は $\phi = (\theta - \alpha)$ によって変化するが、その関数形は室内実験の結果として与えられている³⁾。ここで、

$$(g_T(\phi), g_L(\phi)) = \frac{1}{|V|^2} \left(\frac{A_P}{A} \right) (D_T(\phi), D_L(\phi)) \quad (2)$$

とおくと、 D_{LP}, D_{TP} は以下ようになる。

$$(D_{TP}, D_{LP}) = (g_T(\phi), g_L(\phi)) |V_P|^2 \quad (3)$$

従って、流体力 $D_p(D_{TP}, D_{LP})$ の X, Y 成分 D_{XP}, D_{YP} は

$$D_{XP} = \left(g_L(\theta - \alpha) \frac{u_P}{|V_P|} + g_T(\theta - \alpha) \frac{v_P}{|V_P|} \right) |V_P|^2 \quad (4)$$

$$D_{YP} = \left(g_L(\theta - \alpha) \frac{v_P}{|V_P|} - g_T(\theta - \alpha) \frac{u_P}{|V_P|} \right) |V_P|^2 \quad (5)$$

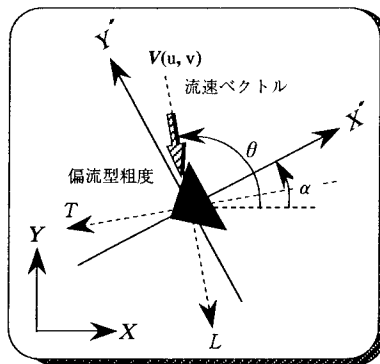


図-2 各座標の関係

の関係式により算出され、偏流型粗度を配置することによって、流体に対し以下のような新たな力 F_{XP}, F_{YP} を与えることになる。

$$F_{XP} = -D_{XP}, F_{YP} = -D_{YP} \quad (6)$$

3.偏流型粗度を考慮した数値計算 次に、上記のモデルを用いて潮流・拡散シミュレーションを行った。対象としたモデル湾及び境界条件は小松⁴⁾と同様に設定し、ADI法による平面二次元計算を行った。計算条件として、計算格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$ 、時間格子間隔 $\Delta t = 15\text{sec}$ 、渦動粘性係数 $\nu_t = 100\text{m}^2/\text{sec}$ 、コリオリ係数 $f = 0\text{sec}^{-1}$ を与えた。また、湾内部にのみ一定濃度の拡散物質を初期濃度として与え、内湾全体に残存する物質量の経時変化を調べた。

まず、CASE1として湾内に時計周りの潮汐残差流が形成されるように湾口側と湾奥側で向きを変えて偏流型粗度を設置した場合について計算を行った。粗度の高さ k は平均水深 ($h = 10\text{m}$) の $1/5$ ($k = 2\text{m}$) とし、50m 四方 (2500m^2) に1つの割合で偏流型粗度 (1/2円筒2重型粗度³⁾、幅3.6m、奥行き7.2m) を配置した。各計算毎の粗度配置図及び潮汐残差流の計算結果(ベクトル図及び流線図)を図-3に、湾内の拡散物質の残存率の経時変

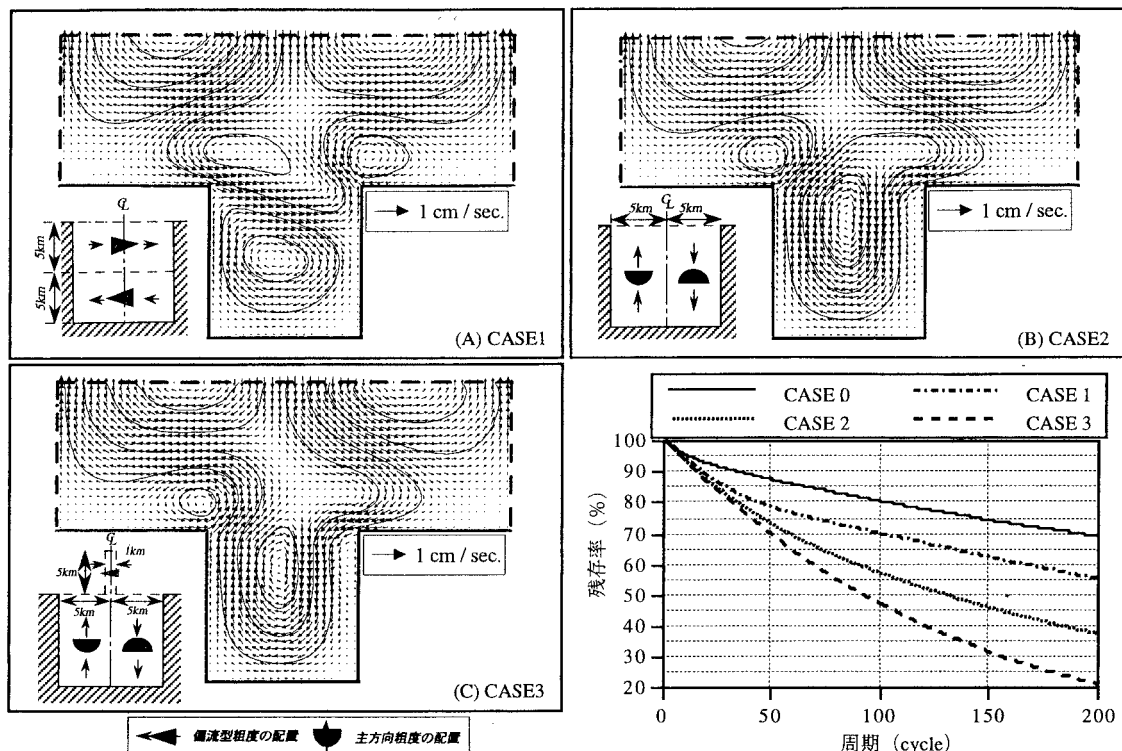


図-3 各ケースの潮汐残差流のパターン(ベクトル図・流線図)

図-4 濃度の残存率の経時変化

化を 図-4 に示す。但し、図-4 には比較として粗度を配置していない場合(CASE0)の残存率も提示した。偏流型粗度のみを配置したCASE1では湾口付近に偏流型粗度の特徴である主流と直交する方向の顕著な残差流成分が生成されており、偏流型粗度の潮汐残差流生成能力は主方向粗度と比較しても全く遜色のないものであると言える。しかし、CASE1の残存率の経時変化を見ると早い時期には湾口付近の渦によって比較的速やかに湾内濃度を減少させているものの、湾内の環流が閉じていることから時間が経過するにつれ海水交換率は鈍化する。次に、従来の主方向粗度(1/4球型粗度²⁾、高さ2m、幅4m、奥行き2m、順流方向の抗力係数 $C_{df}=0.8$ 、逆流方向の抗力係数 $C_{db}=1.8$)のみを用いた場合(CASE2)についても検討を行った。主方向粗度についても相対水深 $h/k=5$ とし、偏流型粗度と主方向粗度の占有面積がほぼ同程度になるように単位面積当たりの配置個数を 28.86m² (833.3 m²) に1つの割合で配置した。CASE2の結果を見ると、縦長の渦が湾奥にかけて伸びているが、湾口を出た外海部において潮汐残差流が閉じてしまっている。本来潮汐残差流は渦を形成するものであるが、渦径が小さすぎると湾口から一旦運ばれた物質がそのまま湾内に戻り、残差流が海水交換に寄与しないことになる。そこで、CASE3として偏流型粗度によって閉じた流れを湾口中心部で分離し、拡散物質を外海へ流出させるような大きなスケールの潮汐残差流をつくることを試みた。粗度の配置としてはCASE2の粗度配置に加え、湾口中心部の幅1km×5kmの細長い外海域に左向きの流れをつくるようにCASE1と同様の割合で偏流型粗度を配置した。その結果、湾口中心部で閉じる流れは減少し、左側の湾奥部から湾口部への流れが湾口部の偏流成分により左向きに分岐されるようになり、その結果、湾内残存率は大幅に減少することが明らかとなった。

4. 結論 偏流型粗度を設置した場合の潮流・拡散シミュレーションを行った。その結果、偏流型粗度は潮汐残差流を生成する能力に優れており、利用法によっては少ない粗度で大幅な海水交換促進効果が期待できる。また、これまで主方向粗度のみでは直接的には発生させることができなかった横方向の潮汐残差流を自在に生成できるため、主方向粗度と組み合わせることによって、より自由度が高く効率的な流況制御ができることが分かった。

参考文献：1)小松ら：水工学論文集，1997年3月，第41巻，pp705-710， 2)小松ら：水工学論文集，1997年3月，第41巻，pp.323-328， (3)和田・小松ら：平成9年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，1998年(投稿中)。