

抵抗に方向性を持つ底面粗度を用いた海水交換の促進

九州大学大学院 学生員 ○鞠承洪・小橋乃子

九州大学工学部 正 員 小松利光・矢野真一郎

1. まえがき 湾内水の停滞に起因する水質の悪化が問題となっている内湾や漁港のような閉鎖性海域で、人工構造物を用いて潮流を制御し、外海との海水交換を活発化させて水質の改善を図る方法が従来よりいくつか提案されている。本研究では、流れの方向により抵抗特性が異なる比較的小規模な構造物（以下、底面粗度と呼ぶ）を海底面に並べて沈設することにより、湾内に発生する潮汐残差流を制御する方法を提案し、その効果について潮流シミュレーションと粒子追跡計算により検討してみた。

2. 底面粗度について 本研究で提案する方法は、図-1 に示すように流れの方向により抵抗が異なる3次元形状の人工構造物を湾内の海底面に配置し、潮流が上げ潮・下げ潮のどちらであっても常に同じ符号の渦度を発生させることにより、一周周期平均にて得られる潮汐残差流を新たに創造しようとするものである。船舶の航行の安全性の観点から、粗度高さは水深の1~2割程度と設定した。栗谷・小松¹⁾による2次元構造物に対する実験的研究の結果より換算して、底面粗度により得られる流れ方向による粗度係数差 Δn を0.01と設定して²⁾検討を行った。また、順流(抵抗が小さい方向の流れ)に対しては $\gamma_b^2 = 0.0026(n=0.024)$ 、逆流(抵抗が大きい方向の流れ)に対しては $\gamma_b^2 = 0.0053(n=0.034)$ と設定した。今回の検討に用いた平面2次元モデルでは、海底摩擦による底面せん断力は式(1)、海底摩擦係数 γ_b^2 と Manning の粗度係数 n との関係は式(2)により表される。

$$\frac{\tau_b}{\rho} = \gamma_b^2 U |U| \quad (1), \quad \gamma_b^2 = \frac{n^2 g}{h^{1/3}} \quad (2)$$

ここで、 $\tau_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$: 底面せん断力ベクトル、 $U = (U, V)$: 水深平均流速ベクトル、 ρ : 海水の密度である。

3. 潮流シミュレーション 方向特性を持つ底面粗度の配置により、潮汐残差流のパターンを変え得るかどうかを確かめるために、図-2 に示したモデル湾においてADI法による平面2次元潮流シミュレーションを行った。境界条件は開境界 B-C で振幅 1m、周期12時間25分の正弦波を、A-B, C-D では $U=0, dV/dx=0$ を、壁面上では no-slip 条件を与えた。今回は、湾内のみに底面粗度を配した場合を検討の対象とし、図-3 に示す CASE-1~4 と CASE-0 として粗度を配置しない場合の5つのケースについて計算を行った。図中の矢印の向きは配置された粗度の順流方向を示している。また、CASE-4 に関しては $\Delta n=0.02$ とし、逆流に対して $\gamma_b^2=0.0088(n=0.044)$ と設定した。流線で表示された潮汐残差流の計算結果を CASE-0, 1, 4 についてのみ図-4 に示す。CASE-1 では CASE-0 で湾内に存在していた湾スケールの循環流が強化されており、CASE-4 では外海に発達した循環流が湾内へ侵入してい

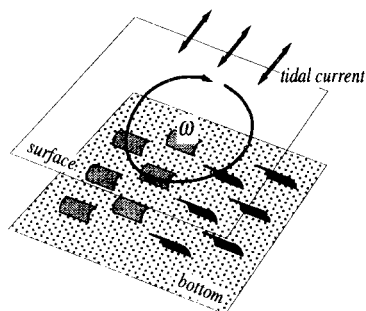


図-1 海底人工粗度による潮汐残差流の制御法概念図

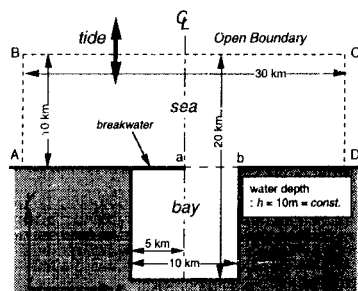


図-2 モデル湾概略図

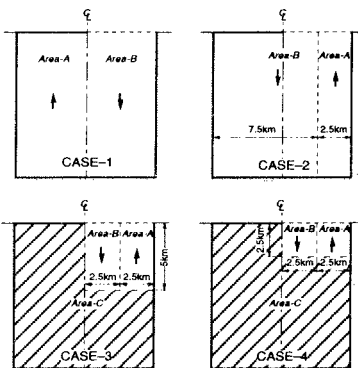


図-3 モデル湾における底面粗度の配置

る(CASE-2,3も同様のパターンを示していた)のが分かる。このことは、粗度の形状や配置の工夫次第でより効率良く潮汐残差流を制御できることを示唆している。

4. 海水交換率の評価 次に、底面粗度による潮汐残差流の制御が海水交換へ及ぼす影響について調べるために、湾内に標識粒子を配置し粒子追跡計算を行った。各時刻における粒子の位置ベクトルは(3)式により計算された。

$$\mathbf{X}(t+\Delta t)=\mathbf{X}(t)+\Delta t \cdot \mathbf{U}(\mathbf{X}(t), t)+\frac{\Delta t^2}{2} \frac{D \mathbf{U}(\mathbf{X}(t), t)}{D t} \quad (3)$$

$$\text{ここで、} \frac{D U_i(\mathbf{X}(t), t)}{D t}=\frac{\partial U_i(\mathbf{X}(t), t)}{\partial t}+\mathbf{U}(\mathbf{X}(t), t) \cdot \nabla_H U_i(\mathbf{X}(t), t) \quad (4),$$

$\mathbf{X}(t), \mathbf{U}(\mathbf{X}(t), t)$ は各時刻の粒子の位置ベクトルとその位置における流速ベクトル、 $\nabla_H=(\partial / \partial x, \partial / \partial y)$ である。3.において各CASEについて得られた1周期分の流速データを元に標識粒子の移動は計算された。計算時間間隔は粒子の移動距離が1メッシュ以上にならないように $\Delta t=150 \text{ sec.}$ と設定された。境界付近の処理は、壁面で粒子は完全反射し、開境界から流出した粒子は再び計算領域内へは戻らないものとした。

海水交換率を評価する境界線は図-2に示す湾口部のラインa-bとする。標識粒子をラインより湾内全域に1メッシュ(500m×500m)当たり25個、計10,000個を等間隔に配置し、下げ潮最強時から始まる1潮汐間にわたって各粒子の軌跡を計算した。今里³⁾は潮汐の1周期間で境界線よりも外側へ出た粒子が代表する体積が最大となる時(通常は最干潮時付近)の体積を V_{max} 、1周期後の下げ潮最強時に外側に残っている粒子が代表する体積を V_{res} として、海水交換率を $EX=V_{res} / V_{max}$ で定義している。本研究では、この海水交換率EXにより底面粗度の効果を評価した。各CASEにおいて得られた V_{max}, V_{res}, EX の値を表-1に示す。この結果によると、CASE-4が最も海水交換が活発化されており、海底粗度を敷設しない場合(CASE-0)の約2倍の海水交換率が得られている。これから、海水交換率を大きくするには湾口付近に局所的に強い粗度差を与えて渦度の発生を促進させることが重要であることが推定できる。

5. 結論 方向特性を持つ底面粗度を湾内に配置することにより潮汐残差流のパターンをコントロールでき、海水交換を活発化させることが出来ることが数値解析により分かった。今後はより有効な粗度の配列についての検討と、並行して行っている大きな抵抗差を得るために最適な粗度形状の開発を進めていく予定である。

参考文献 1). 栗谷、小松 他：水工学論文集, 39, pp. 589-594, 1995., 2). 小松、矢野、鞠、小橋：水工学論文集, 41, 1997 (印刷中) ., 3). 今里：沿岸海洋研究ノート30周年記念特別号, pp. 111-123, 1993., 4). 小松、矢野、小橋、鞠、藤田：水工学論文集, 41, 1997 (印刷中)

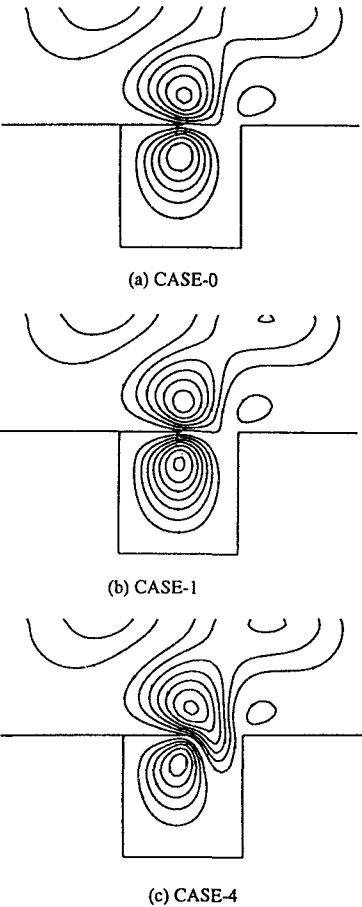


図-4 潮汐残差流の計算結果(流線図)

表-1 各CASEの V_{max}, V_{res}, EX の値

CASE	V_{max} (10^6 m^3)	V_{res} (10^6 m^3)	EX (%)
0	103.1	13.9	13.5
1	103.0	14.7	14.3
2	103.4	19.1	18.5
3	103.2	19.2	18.6
4	103.2	26.1	25.3