

II-418 潮流シミュレーションにおける側壁境界条件の与え方に関する一考察

九州大学工学部 正 員○矢野真一郎・小松 利光・朝位 孝二
電源開発株式会社 川崎 昌三 九州大学大学院 学生員 岡崎 恵美・小橋 乃子

1. まえがき 現在、博多湾の湾奥部では人工島(名称:アイランドシティ)の建設が進んでいる。人工島の建設後、その背後水域が現在以上に停滞性が強くなるものと予想されており、水質悪化が促進されることが危惧されている。矢野・小松ら(1994)は、人工島背後水域の海水交換を活発にするための方策として可動堰を設置する方法と、方向性をもつ人工粗度を人工島周辺に設置する方法の2つを提案している。そのうち、人工粗度については栗谷・小松ら(1995)により効果的な粗度形状や配置、そのときの粗度係数が実験的に得られている。実海域に配置された人工粗度の効果について検討する場合、コンピューターによる潮流・拡散シミュレーションが不可欠になる。しかしながら、粗度の形状を十分に表せる程の細かい計算格子間隔で計算を行えば莫大な計算時間と記憶容量を必要とするためあまり現実的ではない。そこで、通常の潮流計算に用られる程度の格子間隔で計算を可能にするために、壁面の粗さの違いを考慮した側壁境界条件についての考察を試みた。

2. 側壁の境界条件の与え方 潮流シミュレーションが行われる際に側壁(海岸線)で与えられる境界条件としては、通常は次の2種類のどちらかが用いられる。

(1). no-slip 条件

$$U_{w-1/2} = -U_{w+1/2} \quad (U = 0 \text{ at the wall}) \quad (1)$$

(2). slip 条件

$$U_{w-1/2} = U_{w+1/2} \quad (2)$$

ここでは、潮流計算で最も良く使用されているstaggered

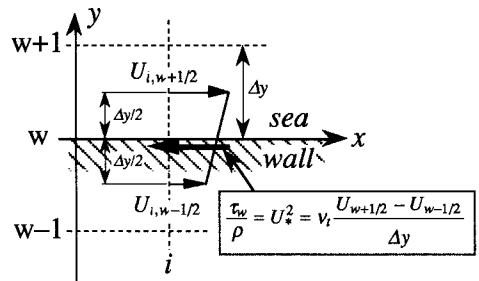


図-1 Staggered 格子系における側壁近傍の流速の定義点

格子系についてのみ考えた。各記号は図-1に示す通りである。なお、側壁に対して法線方向の流速成分についてはどの場合も $v_w = 0$ を用いている。通常の潮流計算では数百mから数kmのオーダーの計算格子を用い、陸岸境界層を十分表現するほどの解像度を持たないため、slip 条件を用いることが多いようである[中田(1993)]。しかしながら、どちらの条件を採用するにしてもこのままでは粗さの違いを表現することはできない。側壁における境界条件について他の方法を考案している例としては、堀江(1980)や中辻(1994)がある。堀江の方法では粗さの影響を考慮できないが、中辻の方法では海底摩擦の取入れ方と同様に側壁面でのせん断応力を $\gamma_w^2 U |U|$ ($\gamma_w^2 = 0.0001$: 大阪湾) の形で表しており、側壁の粗さを考慮できる形式を取っているが壁面摩擦係数 γ_w^2 の値についての根拠は不明である。

そこで、本研究では側壁の相当砂粒粗度 k_{sw} が既知である場合を想定し、壁に平行な水平方向(x方向)流速成分(U)が壁の法線方向(y方向)に対数分布を持つものと仮定することにより、壁の粗さの影響を取り入れることを試みた。すなわち、図-2に示すように粗面対数分布式

$$\frac{U(y)}{U_{*w}} = 8.5 + 2.5 \ln \frac{y}{k_{sw}} \quad (3)$$

が壁面から最も近い流速定義点の位置 $y = \Delta y/2$ まで成り立つものと仮定し、 k_{sw} と $U(\Delta y/2)$ から壁面摩擦速度 U_{*w} が逆算される。壁面せん断応力は運動方程式中の水平方向渦動粘性項を介して流れに影響を与えるので式

$$\frac{\tau_w}{\rho} = U_{*w}^2 = \nu_t \frac{U_{w+1/2} - U_{w-1/2}}{\Delta y} \quad (4)$$

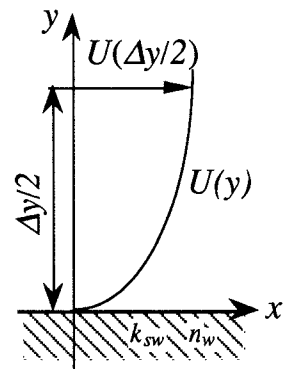


図-2 仮定された流速分布の模式図

を用いて、 $U(\Delta y/2) = U_{w+1/2}$ と U_w から壁面内に定義されたダミー流速 $U_{w-1/2}$ を算出し、形式的に水平粘性応力として壁面せん断応力が組み込まれるようにして計算を行えることになる。

3. 数値計算 側壁面の粗さを考慮した境界条件を用いたモデル計算として図-3に示す様な湾奥に島があるモデル湾において平面2次元潮流シミュレーションを行った。CASE-Iとして単に島がある場合、CASE-IIとしては島と湾の間にできる幅の狭い水路部分の兩岸に方向性を持つ人工粗度を配置した場合の2通りについて行った。CASE-IIで配置した人工粗度は最適形状の1/4円筒粗度〔栗谷・小松ら(1995)〕を図-4の条件（粗度突出高 $k = 12\text{m}$ 、設置間隔 $s = 96\text{m}$ ）で配置するものと想定した。このときの順流・逆流に対する相当砂粒粗度 k_{sw} は、栗谷・小松らの実験結果から図-4に示す手順で計算された。その他の計算条件は図-3中に付記した。また、粗度を設置していない海岸線上ではslip条件を用いた。CASE-I, IIの潮汐残差流の計算結果を図-5a), b)に示す。ただし、湾口部付近を除いている。CASE-Iでは左右対称な残差流が得られ、島の背後水域はほとんど流れが無く停滞している。それに較べてCASE-IIでは湾の開放部の残差流はあまり変化していないが島の背後水域では顕著な一方向流が発生している。これは、側壁に設置した人工粗度により十分に一方向の潮汐残差流を発生させ得ることを示している。

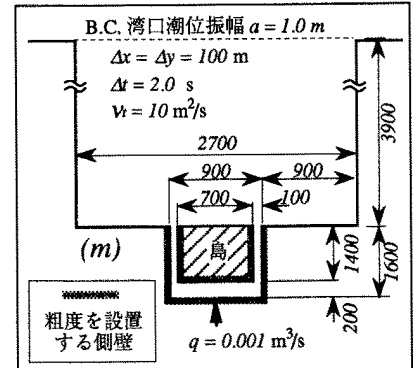


図-3 モデル湾の概形と計算条件

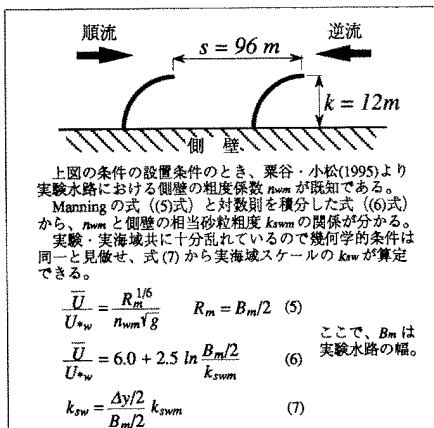


図-4 人工粗度と側壁の相当砂粒粗度の算定

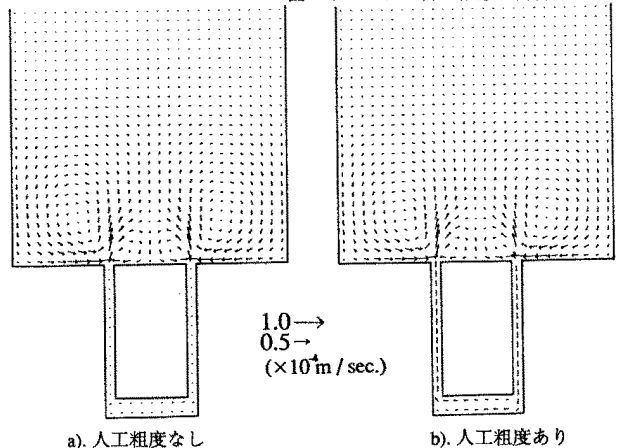


図-5 モデル湾における潮汐残差流の計算結果

4. 結論 壁面の粗さの影響を組み込んだ側壁境界条件を用いた潮流シミュレーションを行えるようになった。モデル湾において方向性を持つ人工粗度を設置した場合と設置しない場合について潮流計算を行い、人工粗度が実海域スケールでも停滞水域の海水交換の活性化を促す効果があることが確認できた。今後は、博多湾等への適用と拡散計算により実海域における人工粗度による水質浄化効果の検討を行いたい。

【参考文献】

- 1). 矢野真一郎・小松利光・朝位孝二・岡崎恵美・中村由行：博多湾の人工島建設後の水質改善のための一提案、第49回土木学会年次学術講演会講演概要集, II, pp. 880-881, 1994.
- 2). 栗谷陽一・小松利光・川崎昌三・朝位孝二・藤田和夫：人工粗度を用いた恒流の生成に関する研究、水工学論文集、第39巻, pp. 589-594, 1995.
- 3). 堀江毅：沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水理学的研究、運輸省港湾技術研究所、No. 360, pp. 1-222, 1980.
- 4). 中辻啓二：大阪湾における残差流系と物質輸送、土木学会水理委員会水工学シリーズ、94-A-9, 28pp.
- 5). 中田喜三郎：沿岸生態系モデル、「環境流体汚染（松梨順三郎編）」、森北出版、pp. 165-231, 1993.