

内湾における二次元粘性・分散係数の推定法の開発

九州大学大学院 学生員○矢野真一郎 九州大学工学部 正 員 小松 利光
九州大学工学部 正 員 朝位 孝二 九州大学大学院 学生員 松永 康司

1. ま え が き 内湾等の閉鎖性海域における潮流の計算や水質汚染問題、またその浄化対策等について検討する際、コンピューターによる平面2次元潮流シミュレーション・水質拡散シミュレーションが通常よく用いられる手法となっている。著者らは、水域における流れと拡散現象を規定する重要なファクターであるみかけの水平2次元粘性係数 ν_t と分散係数 ϵ_t の推定法に関する研究¹⁾を行なってきた。それによると、 ν_t 、 ϵ_t は場所毎の代表流速と代表長さの積に比例するものと考え比例定数を求めている。しかしながら、この推定法における比例定数は、各湾の成層化の度合いや風により生じる吹送流の影響を受けていると考えられる。本研究では、成層度と吹送流の影響を評価したパラメーターによりこの比例定数を普遍表示することを試みた。そこで、博多湾、有明海、鹿児島湾、東京湾、伊勢湾、大村湾の6つの内湾について2次元平面モデルによる潮流・水質拡散シミュレーションを行い、拡散能の効果が直接的に反映される水質拡散シミュレーションの結果と実測値の比較から、各湾の比例定数の決定を行なった。この普遍表示化により、潮流の卓越した湾における場所毎の ν_t 、 ϵ_t が正確かつ容易に推定され、高精度な2次元潮流・水質拡散シミュレーションが可能となる。

2. 2次元粘性係数 ν_t ・分散係数 ϵ_t の定式化 水深方向に積分して得られた2次元単層非定常モデルの場所毎のみかけの水平2次元粘性係数 ν_t 、分散係数 ϵ_t は代表流速と代表長さの積に比例するものと考ええる。 ν_t 、 ϵ_t は流速と濃度が水深方向に分布を持つことによって生じる移流分散効果を含むので、代表流速として場所毎の潮流最大流速 V_m を、代表長さとしては場所毎の時間平均水深 h を採用し、比例定数を α として以下の様に表す。

$$\nu_t \approx \epsilon_t = \alpha V_m h \quad (1)$$

この推定式を用いて、前述の6つの湾について潮流・水質拡散シミュレーションを行った。水質拡散シミュレーションの際には、保存性物質である塩素イオン濃度（東京湾においては塩分濃度）を拡散物質として用いた。

3. 計算結果 博多湾において計算結果と実測値の比較を容易にするために、一次元的に比較を行った結果を図-1に示す。比較地点は湾口から湾奥にかけての7点である。これより博多湾における比例定数は $\alpha=90$ 程度であることが分かる。同様にして、拡散シミュレーションの結果と実測値との比較検討の結果、有明海で $\alpha=15$ 程度、鹿児島湾で $\alpha=35$ 程度、伊勢湾で $\alpha=330$ 程度、東京湾で $\alpha=50$ 程度、大村湾で $\alpha=200$ 程度の値をとることが分かった。

4. 比例定数 α の普遍表示化 α には各湾における成層の程度や吹送流による分散効果への影響が含まれているために異なった値をとるものと思われる。そこで、湾における成層度を表すパラメーターと吹送流による効果を表すパラメーターを用いて α と関連づけることを試みた。成層化の度合を表すパラメーターとしてはFischer²⁾により提案された Estuarine Richardson number Ψ を採用した。 Ψ は(2)式の様に定義される。

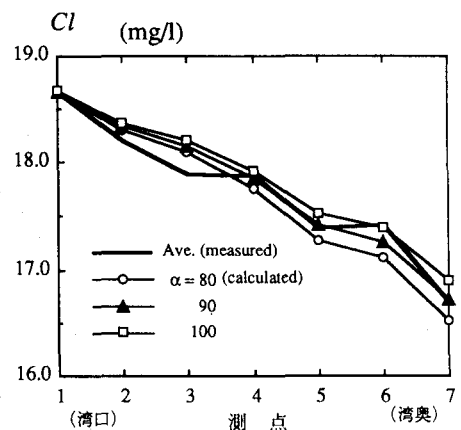


図-1 計算結果と実測値の比較（博多湾）

$$\psi = \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{g Q_f}{B V_T^3} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\rho/\rho (= 0.02)$ は淡水と海水の相対密度差、 Q_f は単位時間当たりの淡水流入量、 B は湾口の幅、 V_T は湾口における潮流流速の1周期間の root mean square である。 α と Ψ との関係を図-2 に示す。 α にかなりのばらつきはあるが、 α は見かけ上ほぼ Ψ の $1/2$ 乗に比例することが分かった。

風により生じる吹送流が分散能に与える影響を表すパラメーター Φ は次式の様に表した。

$$\Phi = \frac{\rho_a \gamma^3 V_w^3 A_{bay}}{\rho Q_T V_T^2} \quad (3)$$

ここで、 $\rho_a = 1.293$ (kg/m^3) は空気密度、 ρ は海水の密度、 U_w は湾における年平均風速、 $\gamma = \sqrt{0.0026}$ は水表面上での風の摩擦速度 U_{*w} と U_w との比、 A_{bay} は湾の表面積、 Q_T は潮汐により湾口から湾内へ流入する入潮量の半周期平均値である。 Φ は風による水表面上のせん断応力が湾全体に及ぼす仕事量 $\rho_a \gamma^2 U_w^2 \cdot \gamma U_w \cdot A_{bay}$ と潮汐が湾に与える運動エネルギー $\rho Q_T V_T^2$ の比として表現されている。 α と Φ の関係を図-3 に示す。 Ψ が一定でないため α はかなりのばらつきを示すが、図-3 より α は見かけ上 Φ のほぼ $1/3$ 乗に比例することが分かった。比例定数 α が個別に表わされたときそれぞれ $\Psi^{1/2}$ と $\Phi^{1/3}$ にほぼ比例することから、 α とそれらの積 $\Psi^{1/2} \cdot \Phi^{1/3}$ との関係を調べた (図-4)。それによると、 $\Psi^{1/2} \cdot \Phi^{1/3}$ のほぼ $1/2$ 乗に比例することが分かった。したがって、比例定数 α の定式化により2次元粘性係数 ν_t 、分散係数 ϵ_t は Ψ と Φ により次のように表される。

$$\nu_t \approx \epsilon_t = 70 \Psi^{1/4} \Phi^{1/6} V_m h \quad (4)$$

5. むすび 2次元単層非定常モデルにおける場所毎の2次元粘性係数 ν_t 、分散係数 ϵ_t を代表流速と代表長さの積に比例するものとし、代表流速として場所毎の潮流最大流速を、代表長さとして場所毎の時間平均水深を用いて評価した。比例定数 α が成層度パラメーター Ψ と吹送流パラメーター Φ とにより関数表示できることが分かった。この結果を用いることにより境界条件としての流れや濃度の情報が与えられるだけで、平面2次元単層モデルによる潮流・拡散シミュレーションが容易にかつ高精度に行なえることになる。なお、 α と $\Psi^{1/2} \cdot \Phi^{1/3}$ の関係 (図-4) に多少のばらつきが見られるが、これは流れの水平方向代表スケールに対する計算格子間隔 ($\Delta x, \Delta y$) の大きさの影響や、場所毎に異なる可能性がある比例定数 α を湾全体に渡って一定とおいているためとも考えらる。これらに関しては、今後の研究課題としたい。[参考文献] 1) 矢野真一郎 他：内湾における渦動粘性係数・渦動拡散係数の評価法について、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第2部, pp.1262-1263, 1992 2) Fischer, H. B.: Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries, J. Fluid Mech., Vol.5, Part 4, pp. 671-687, 1972.

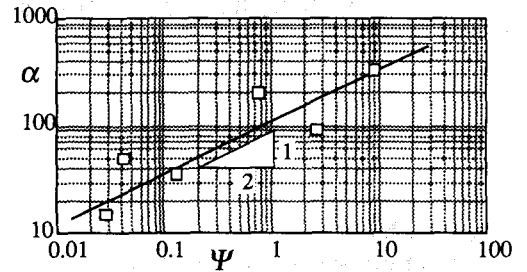


図-2 α と Ψ の関係

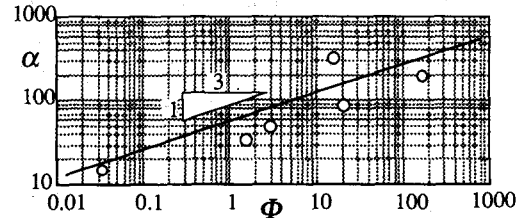


図-3 α と Φ の関係

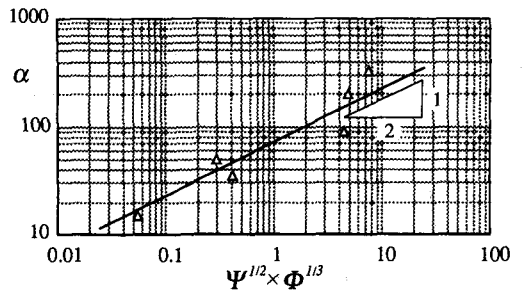


図-4 α と $\Psi^{1/2} \cdot \Phi^{1/3}$ の関係