

博多湾の渦動粘性・渦動拡散係数の評価法

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
九州大学大学院 学生員 相良 誠

1. はじめに 内湾における潮流の計算や水質汚染問題を考える際には一般的に数値計算による潮流シミュレーションや水質シミュレーションが行われるが、その際現象を規定する諸量のうち最も重要なものとして渦動粘性・渦動拡散係数が挙げられる。しかしながら、渦動粘性・渦動拡散係数の簡単かつ正確な評価法は現在までまだ確立されていない状況である。

そこで、本研究では場所毎の代表流速・代表長さを用いた渦動粘性・渦動拡散係数の評価法の確立を目的として、博多湾において2次元単層非定常モデル潮流計算、並びに水質シミュレーションを行い、渦動粘性・渦動拡散係数の評価を行った。

2. 基礎式 各地点において水深方向に平均化された x, y 方向の流速を $U(x, y, t)$ 、 $V(x, y, t)$ 、平均水深を $h(x, y)$ 、平均水面からの変位を $\zeta(x, y, t)$ 、保存物質の水深方向平均濃度を $C(x, y, t)$ 、淡水流入量を $q(x, y)$ 、負荷流入量を $q'(x, y)$ 、渦動粘性係数を $\nu_t(x, y)$ 、渦動拡散係数を $K(x, y)$ 、コリオリ係数を f 、海底摩擦係数を γ^2 とすると、2次元の運動方程式、連続の式、拡散方程式は以下の様になる。

運動方程式

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{(h+\zeta)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial}{\partial x} (h+\zeta) U \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial}{\partial y} (h+\zeta) U \right] \right\} - \frac{\gamma^2}{h+\zeta} U \sqrt{U^2 + V^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{(h+\zeta)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial}{\partial x} (h+\zeta) V \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial}{\partial y} (h+\zeta) V \right] \right\} - \frac{\gamma^2}{h+\zeta} V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (2)$$

連続の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (h+\zeta) U \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h+\zeta) V \} = q \quad (3)$$

拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{(h+\zeta)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(h+\zeta) K \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(h+\zeta) K \frac{\partial C}{\partial y} \right] \right\} + q' - qC \quad (4)$$

3. 博多湾への適用

(1) 場所毎の渦動粘性・渦動拡散係数の評価 渦動粘性係数 ν_t 、渦動拡散係数 K は代表流速と代表長さの積に比例するものと考えられる。そこで、代表流速として潮流最大流速 V_{max} を、代表長さとして水深 h を採用し、比例定数を α とおき、次式により場所毎の渦動粘性・渦動拡散係数の評価を行った。

$$\nu_t = \alpha V_{max} h \quad (5)$$

(2) 計算条件

①潮流計算 本研究では計算格子間隔を $\Delta x = \Delta y = 300\text{m}$ 、 $\Delta t = 10\text{sec}$ とし、境界条件としては湾口部において各時間毎の潮位 ζ を、海岸線上で流速 $U = V = 0.0\text{m/s}$ を与え、(1), (2), (3)式を用い差分法¹⁾により計算を行った。計算手順として、先ず $\nu_t = \text{const.}$ の条件の下で ν_t を仮定して潮流計算を行い V_{max} を求める。(5)式により新しい場所毎の ν_t を評価し、再度潮流計算を行い ν_t を評価する。これを繰り返し行うことによ

り τ_t を収束させ最適値を求めた。

②水質シミュレーション 計算格子間隔を $\Delta x = \Delta y = 900\text{m}$ 、 $\Delta t = 5\text{min.}$ とおき、境界条件として海岸線上において反射の条件を、湾口部において濃度分布の実測値を与えた。また、潮流計算により求めた流速、潮位、 τ_t のデータを用い、渦動拡散係数を近似的に $K = \tau_t$ とし、(4)式を用い計算を行った。また、拡散物質濃度としてCODを用いた。計算方法としては、Split Operator Approachを採用し、式(4)の移流項の計算では、小松らにより開発された高精度6-point scheme²⁾を、拡散項の計算は2次精度の中央差分を用い、一周期平均濃度が定常になるまで計算を行った。

(3) 計算結果 (5)式中の比例定数 α の値を変化させて潮流計算と水質シミュレーションの計算を行い収束した計算値と実測値の比較検討を行った結果、比例定数 α の最適値として $\alpha = 40$ を得た。得られた渦動粘性・渦動拡散係数分布図、潮流流況図(上げ潮最強時)、一周期平均COD濃度分布図を図-1, 2, 3に示す。また、図-4で一周期平均COD濃度の計算値と実測値の比較を行った。

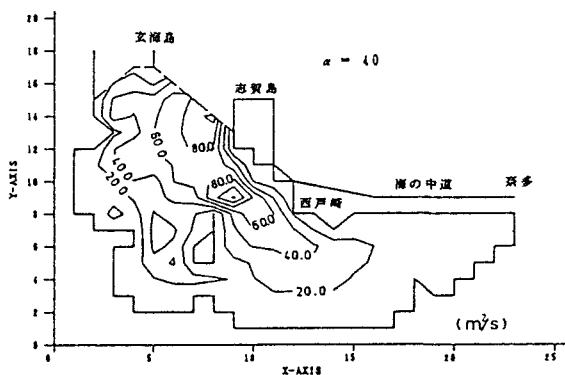


図 - 1 渦動粘性・渦動拡散係数分布図

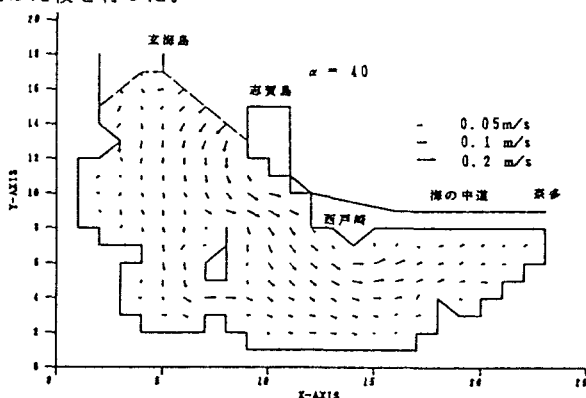


図 - 2 潮流流況図(上げ潮最強時)

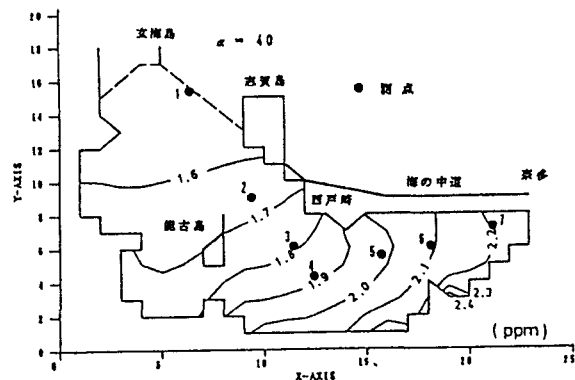


図 - 3 一周期平均COD濃度分布図

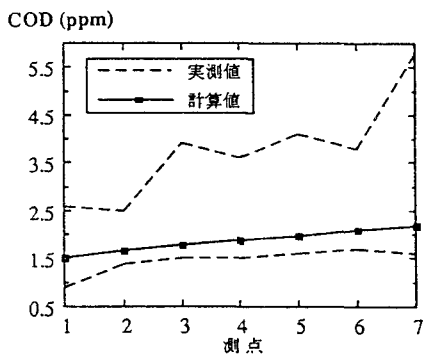


図 - 4 計算値と実測値の比較

4. おわりに 比例定数 $\alpha = 40$ は普遍定数であることが期待される。今後他の内湾における計算により α の普遍性についての検討を行い、内湾における2次元潮流・水質シミュレーションの計算方法の確立を目指したい。

5. 参考文献

- 1) 伊藤 剛編 数値計算の応用と基礎 アテネ出版 pp.1~27.
- 2) T.Komatsu, F.M.Holly, N.Nakashiki and K.Ohgunshi: Numerical calculation of pollutant transport in one and two dimensions, J. Hydroscience and Hydraulic Eng., Vol.3, No.2, pp.15~30.