

計算格子間隔の拡散係数に及ぼす影響について

九州大学工学部 学生員 ○塩見 尚潔

九州大学工学部 正員 朝位 孝二

九州大学工学部 正員 小松 利光

九州大学大学院 学生員 松永 康司

1. はじめに

水質シミュレーションを行う際、渦動粘性係数や渦動拡散係数の推定は重要である。Komatsu et al.¹⁾はこれらの係数は潮流の卓越する内湾などでは最大潮流流速と水深の積に比例するとして場所毎の係数を推定している。この方法によってより合理的な拡散係数を推定することが可能となってきた。しかしながら、仮に物理的な拡散係数が推定でき、それを用いて数値シミュレーションを行ったとしても、計算格子間隔が粗い場合は数値拡散のためシミュレーションの結果に誤差が含まれていて現象を忠実に再現できていない場合がある。従って計算格子間隔の影響を考慮した適切なシミュレーションのための拡散係数を評価することも重要な課題の一つであろう。本研究では格子間隔の影響を取り込んだ拡散係数の推定法を開発するための第1段階として、格子間隔が数値シミュレーションの結果に及ぼす影響を検討した。

2. 解析概要

解析手順は、まず潮流計算を行い、潮流・潮位・渦動粘性係数・渦動拡散係数のデータを求めた。次にこれらのデータを用いて種々の計算格子間隔で拡散計算を行った。

i) 基礎式

基礎式は次の運動方程式、連続の式、拡散方程式を用いた。

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{h+\zeta} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{h+\zeta} \frac{\partial M}{\partial y} - fN &= -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial M}{\partial y} \right) - \frac{\gamma^2}{(h+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{M}{h+\zeta} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{h+\zeta} \frac{\partial M}{\partial y} + fM &= -g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial N}{\partial y} \right) - \frac{\gamma^2}{(h+\zeta)^2} N \sqrt{M^2 + N^2} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= - \left(\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + q \end{aligned}$$

ここで、M、NはそれぞれX、Y方向の流量、hは平均水深、 ζ は平均水深からの変位、U、VはX、Y方向の水深平均流速、fはコリオリ係数、gは重力加速度、 ν_t は水平渦動粘性係数、 γ^2 は海底摩擦係数、Cは拡散物質濃度、qは負荷流入量、Kは水平渦動拡散係数で $K=\nu_t$ と仮定して与える。

ii) 潮流計算

図-1に示しているようなL型の湾をモデルとして数値解析を行った。計算格子間隔は $\Delta X = \Delta Y = 200\text{m}$ 、 $\Delta t = 10.0\text{sec}$ とした。また、水深は全点で $h = 10.0\text{m}$ とし、 $\gamma^2 = 0.0026$ 、 $f = 0.0\text{sec}^{-1}$ とした。潮位の境界条件として湾口で1.0mの振幅を持つ正弦波を与えた。周期は12時間25分である。計算手順は、Komatsu et al.の方法に従って、まず全点に $\nu_t = 100.0\text{m}^2/\text{sec}$ を与えて3周期計算し、各点の最大潮流流速 V_m を求め、 $\nu_t = \alpha V_m h$ より新たに ν_t を各点に与えて V_m が収束するまで計算した。さらにその後3周期計算し、最後の1周期のU、V、 ζ 、 ν_t を求めた。ここでは $\alpha = 40$ とした。

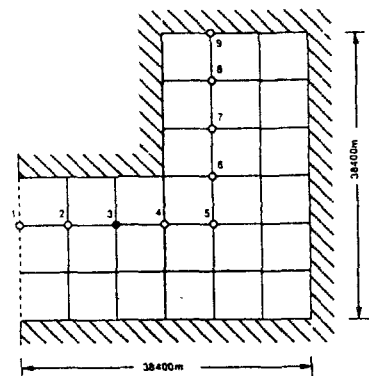


図-1 計算モデル

iii) 拡散計算

渦動拡散係数Kは潮流計算で求めた ν_t の平均値 $194.3\text{m}^2/\text{sec}$ を採用した。 $\Delta t = 5.0\text{分}$ 、計算格子間隔は $\Delta X = \Delta Y = 6400, 3200, 1600, 800\text{m}$ の4通りについて拡散計算を行った。図-1の●点に負荷量 10.24t/sec の連続負荷

流入源を設け、1周期平均濃度が収束するまで計算を行った。計算方法はSplit Operator Approachを採用し、移流項には6-point Schemeを、拡散項には2次精度の中央差分を用いた。収束後の1周期平均濃度分布を図-2, 3, 4, 5に、図-1中の○点に沿った1次元濃度分布図を図-6に示す。

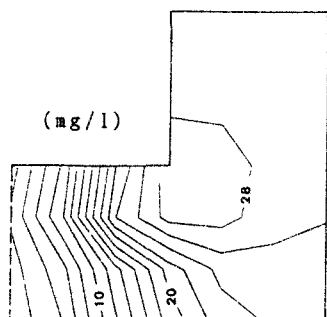


図-2 濃度分布図 ($\Delta X = \Delta Y = 6400\text{m}$)

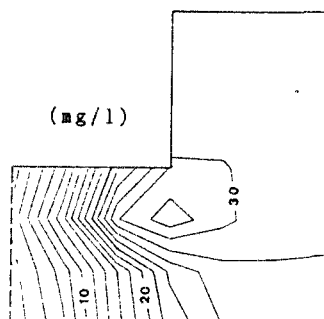


図-3 濃度分布図 ($\Delta X = \Delta Y = 3200\text{m}$)

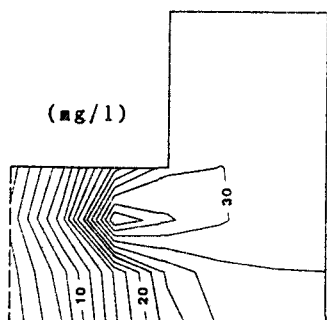


図-4 濃度分布図 ($\Delta X = \Delta Y = 1600\text{m}$)

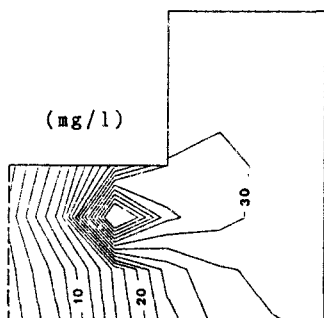


図-5 濃度分布図 ($\Delta X = \Delta Y = 800\text{m}$)

上図から、計算格子間隔が大きくなるにつれて拡散が大きく作用しピークが減少していることが分かる。しかしながら、 $\Delta X = \Delta Y = 6400\text{m}$ の場合の計算結果を除いて、湾奥にいくほど格子間隔の違いによる濃度分布の差はあまり現れてこない。これは湾奥に物質が停滞するような湾をモデルとしたために湾奥部では濃度勾配が緩やかになり格子幅の影響が現れにくくなったものと思われる。

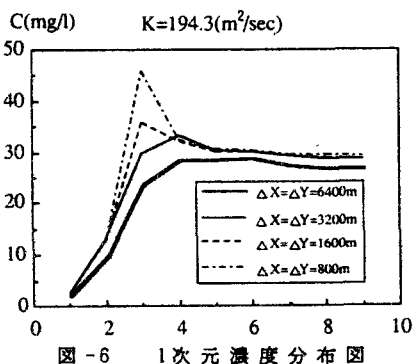


図-6 1次元濃度分布図

3. おわりに

計算格子間隔が変わると、他の計算条件は同じでも計算結果に大きな違いが現れることを示した。現在、できるだけ細かい計算格子で拡散計算を行い、その結果とfittingさせることにより計算格子が粗い場合の拡散係数の評価法の検討を行っている。講演時にその結果も併せて報告する予定である。

4. 参考文献

- 1) T. Komotsu, S. Yano, Y. Matsunaga, K. Ohgushi: Simulations of tidal current and pollutant diffusion in a bay, Proc. of the Int. Sympo. on Environmental Hydraulics, pp.847~852, 199