

内湾における2次元潮流計算

九州大学大学院 学生員 ○松永 康司
 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 劉 容伶

1. はじめに

潮流計算を行う際には渦動粘性係数をどのように評価するかが重要な課題となる。k-ε乱流モデルは今後潮流計算のための有力な手法になると思われるが、まだ不明点が多い。ここでは水深平均されたk-ε乱流モデルを用いて平面2次元の潮流計算を行なってみた。一方Komatsu¹⁾が提案し、観測結果との良い一致が得られている渦動粘性係数の評価法を用いた同様の潮流計算を行い、結果の比較検討を行った。

2. 基礎式

基礎式は次式のようなk-εの水深平均モデルを用いた。

ここで、U,VはそれぞれX,Y方向の水深平均流速、hは平均水深、ζは潮位、gは重力加速度、ν_tは水平渦動粘性係数、γ²は海底摩擦係数、kは水深平均の乱れエネルギー、εは水深平均の乱れエネルギーの散逸率、qは流入水量、U_{*}は摩擦速度である。k方程式の右辺第4項とε方程式の右辺第5項とはそれぞれ底面からのエネルギーの生成、エネルギー散逸率の生成を表す項である。

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} &= -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} \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} &= -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} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (h+\zeta) U \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (h+\zeta) V \} &= q \\ \frac{\partial k}{\partial t} + U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \nu_t \left\{ 2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right\} + C_k \frac{U_*^3}{h} - \epsilon \\ \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) + C_{1\epsilon} \left(\frac{\epsilon}{k} \right) \nu_t \left\{ 2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right\} + C_{\epsilon} \frac{U_*^4}{h^2} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \\ \nu_t &= C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \end{aligned}$$

k-ε乱流モデルの定数は次の値を用いた。

$$C_\mu = 0.09, \quad C_{1\epsilon} = 1.44, \quad C_{2\epsilon} = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \\ \sigma_\epsilon = 1.3, \quad C_k = 1.0, \quad C_\epsilon = 2.95$$

壁面における境界条件は、U、V、k、εはそれぞれ0である。さらに、境界の一つ内側のメッシュ上の点においてk、εをそれぞれ $k = U_{*w}^2 / \sqrt{C_\mu}$ 、 $\epsilon = |U_{*w}|^3 / \kappa \Delta X$ で与える。U_{*w}は壁面摩擦速度であり、 $U_{*w}^2 = \nu_t \partial u / \partial n$ (uは壁面方向流速成分、nは壁に垂直な方向を示す。) で求める。

3. 計算条件

図-1に示すような単純な矩形の湾をモデルにして潮流計算を行った。計算領域は図-1に示すように、節点数がx方向に20、y方向に10とし、計算条件はΔx=Δy=200m、Δt=5秒、湾口での潮位の変動幅は1.0m、流入水量q=0、γ²=0.0016とした。また、基礎式は全て陽解法で解かれた。

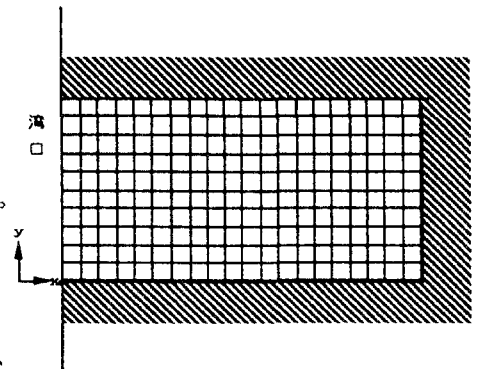


図-1 計算領域

4. 計算結果と考察

潮流計算の結果を図2、3に示す。図-2はk-ε乱流モデルを用いた時の上げ潮最盛時の流況図であり、図-3はKomatsuらの方法を用いた時の同時刻の流況図である。Komatsuらの方法は、各点の最大潮流流速を V_m 、水深 h 、比例定数を α として、 $\nu_t = \alpha V_m h$ によって評価する。ここで、比例定数 α は40を採用した。これらの結果より潮流のパターンそのものは両者の間に顕著な違いはないことが分かる。

次に、 ν_t の分布図を図-4、5に示す。図-4はk-ε乱流モデルを用いた時の一周平均の ν_t であり、図-5はKomatsuらの方法を用いた時のものである。この結果より、 ν_t の分布図は両者で値および傾向に違いが見られる。

今回のk-εモデルの計算ではモデル定数はBooij²⁾と同様全て標準値を用いた。しかし、もともと3次元の式であるk-ε方程式を水深方向に積分して平面2次元の基礎式にする際に、移流分散効果が当然含まれてくると考えられる。その結果モデル定数、特に C_μ が大きく変わってくることが予想される。

本研究は、 C_μ も含めて平面2次元の場合のk-εモデルのモデル定数の再評価を行うことが目的であるが、 ν_t に対して鈍感な潮流計算の結果からだけではモデル定数の評価は容易ではない。詳細に検討するためには、渦動拡散に対して敏感な拡散の計算を行う必要がある。拡散シミュレーションの結果は講演時に発表する。

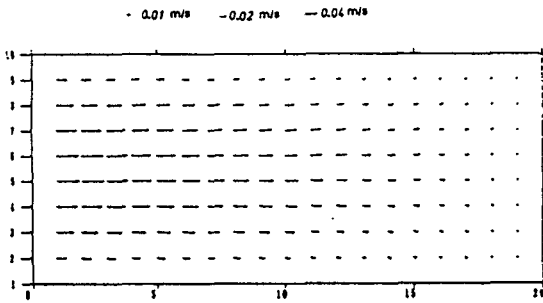


図-2 上げ潮最盛時の流況図 (k-εモデルを用いた時)

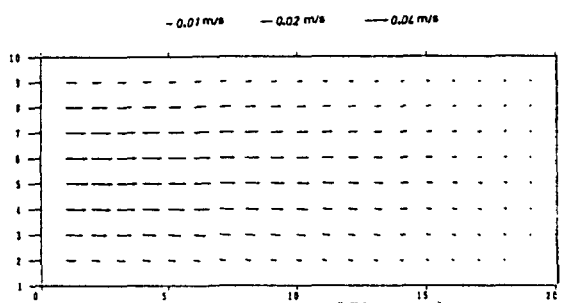


図-3 上げ潮最盛時の流況図 ($\nu_t = \alpha V_m h$)

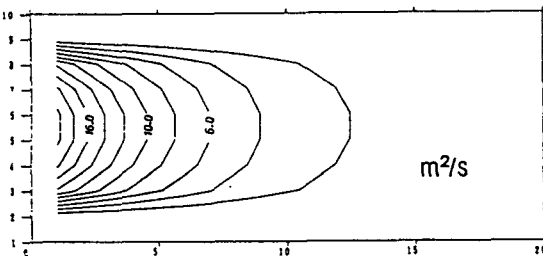


図-4 渦動粘性係数の分布図 (k-εモデルを用いた時)

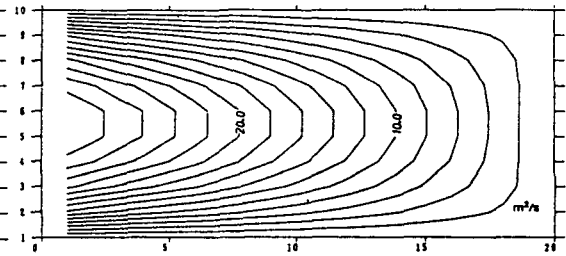


図-5 渦動粘性係数分布図 ($\nu_t = \alpha V_m h$)

5. 参考文献

- 1) T. Komatsu, 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, 1991
- 2) Robert Booij, Eddy viscosity in a harbour, Proc. of XXIV Congress IAHR, 1991