

SDS&2DHモデルを用いた潮流数値シミュレーション

中国工業技術研究所 正員 ○朝位孝二

中国工業技術研究所 正員 宝田盛康

1. はじめに

内湾などの閉鎖性水域の背後には大都市や工場地帯が控えていることが多い。そのため、陸上から生活排水や工場排水等が内湾に流入しやすく、なおかつ外海との海水交換が悪いため、多くの内湾で有機汚濁など水質の悪化が大きな社会問題となっている。内湾の水質を改善するには陸や海底からの負荷を減少させることが最大の対策ではあるが、別の対策として内湾の海水交換能力の活性化が挙げられる。例えば、浚渫や覆土による海底形状の改変、導流堤の設置などにより潮汐流を制御し海水交換を向上させることが考えられる。この様に人工的に流れを制御する場合、その効果を数値的に検討することは重要である。内湾の潮流計算では単層モデルで計算されることが多いが、この時渦動粘性係数をどのように与えるかが問題の一つとなる。そこで、本研究では最近提案されたSDS&2DHモデル¹⁾を採用し潮流計算を試みた。

2. SDS&2DHモデル

SDS&2DHモデルは水深に規定されない水平方向の大規模な乱れは直接計算をし、水深に規定されるスケール (Subdepth-Scale(SDS)) の乱れをモデル化するものである。基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{U(h+\eta)}{\partial x} + \frac{V(h+\eta)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = & -g \frac{\eta}{h+\eta} + \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(h+\eta) \left(2\nu_t \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3} k \right) \right] \right. \\ & \left. + \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial y} \left[(h+\eta) \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right\} - \frac{\gamma^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{h+\eta} + fV \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = & -g \frac{\eta}{h+\eta} + \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(h+\eta) \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \right. \\ & \left. + \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial y} \left[(h+\eta) \left(2\nu_t \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3} k \right) \right] \right\} - \frac{\gamma^2 V \sqrt{U^2 + V^2}}{h+\eta} - fU \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(h+\eta) \frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right] \right\} + \frac{1}{h+\eta} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(h+\eta) \frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right] \right\} + P_{kh} + P_{kv} - \varepsilon \quad (4)$$

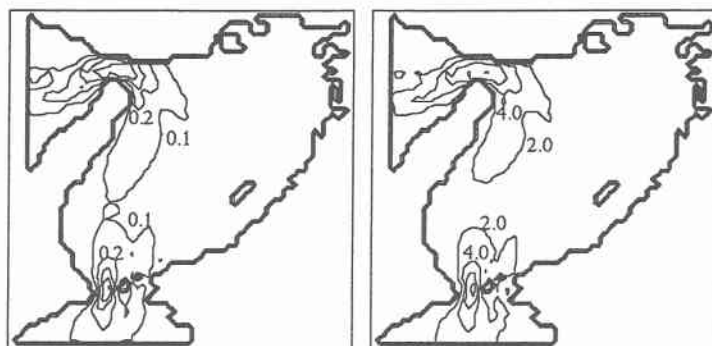
ここで、 $P_{kh} = \nu_t \left[2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right]$, $P_{kv} = \frac{1}{\gamma} \frac{U_*^3}{h}$, $\varepsilon = C_d \frac{k^{1.5}}{l}$, $\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$, $l = \alpha h$

η は潮位、 h は平均水深、 U は x 方向の流速、 V は y 方向の流速、 k はSDS乱れエネルギー、 γ^2 は海底摩擦係数、 g は重力加速度、 f はコリオリ係数、 ν_t はSDS渦動粘性係数、 ε はSDS乱れエネルギーの散逸率、 U_* は摩擦速度、 l は長さスケールである。 C_d , C_μ , σ_k , α はモデル定数で、ここではそれぞれ0.17, 0.09, 1.0, 0.1を採用する。

式 (1) ~ (3) はそれぞれ水深平均された連続の式、 x 方向の運動方程式、 y 方向の運動方程式であり、式 (4) はSDS乱れエネルギーの輸送方程式である。

3. 潮流計算

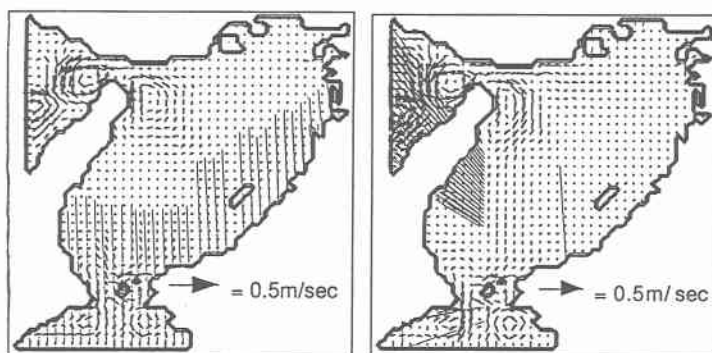
大阪湾を対象に潮流計算を行った。計算条件は $\Delta x = \Delta y = 1000\text{m}$, $\Delta t = 10\text{sec}$ であり、開境界の境界条件は文献2)に準じて与えた。初期条件として潮位、流速とも0を与えれば周期的に定常な状態(準定常)になるまで計算を行った。また海底摩擦係数は0.0026, コリオリ係数は $8.4 \times 10^{-5} 1/\text{sec}$ を与えた。SDS乱れ k に対する開境界条件は流入出条件とした。図-1および図-2にそれぞれ一潮汐平均の渦動粘性係数のコンター図と潮汐残差流のベクトル図を示す。比較のために $\alpha = 1.0$ の場合の計算結果も併示している。



(a) $\alpha = 0.1$ (b) $\alpha = 1.0$
コンター間隔 $0.1\text{m}^2/\text{sec}$ コンター間隔 $2.0\text{m}^2/\text{sec}$
図-1 一潮汐平均のSDS渦動粘性係数の等値線 (m^2/sec)

4. 計算結果

$\alpha = 0.1$ の場合と $\alpha = 1.0$ の場合では渦動粘性係数はおよそ10倍程度大きくになっている。 $\alpha = 0.1$ の場合は沖の瀬環流と友ヶ島反流が再現されているが、 $\alpha = 1.0$ の場合には沖の瀬環流が少し小さくなり友ヶ島反流が消滅している。このように動粘性係数の値によって残差流パターンが大きく変わることが分かる。



(a) $\alpha = 0.1$ (b) $\alpha = 1.0$
図-2 潮汐残差流 (m/sec)

5. おわりに

多くの潮流シミュレーションでは動粘性係を一定値として計算を行うことが多いが、実際現象としては時間的・空間的にその値が変化する。SDS&2DHモデルは時空間的に変化する動粘性係数を合理的に決定することのできる有力な手法の一つと考えられる。しかしながら α の決定に十分な検討を必要とする。今後は α の検討を行い、海底地形改変や導流堤、人工島などが潮流流にどのような変化をもたらすのかを数値的に検討していく予定である。

参考文献

- 1) 灘岡・八木 (1993) : 浅い水域の乱流場に関する数値計算モデルの開発と沿岸流場への応用, 土木学会論文集, No.473, pp25-34
- 2) 金子・堀江・村上 (1975) : ADI法による潮流汚染拡散の数値計算, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第1号