

Ⅱ-1 瀬戸内海全域における海水流動の数値実験

香川大学工学部 学生会員 ○田中 陽二
 香川大学工学部 正会員 末永 慶寛
 香川大学工学部 フェロー 河原 能久
 香川大学工学部 フェロー 吉野 文雄

1. 研究の目的

近年、瀬戸内海では水面の埋め立てや海砂採取による地形変化、及び流域からの汚濁負荷の増加や富栄養化により瀬戸内海の水質や海水流動が大きく変化していることが考えられる。それらの影響を正しく評価し、水質保全を図るためには瀬戸内海の流動や水質を定量的に把握することが必要である。

本研究は、その基礎的な段階として、準3次元数値モデルによる計算により、瀬戸内海の海水流動特性を明らかにすること、及び冬季の季節風が海水流動に与える影響を解明することを目的とする。なお、瀬戸内海全域を対象にした単層モデルによる計算例や特定の湾を対象とした多層モデルによる計算例は報告されているが、本研究では瀬戸内海全域を多層モデルで計算しており、この点が本研究の特徴である。

2. 研究方法

(1) 数値計算手法

潮流の計算には静水圧分布を仮定した3層モデルを採用し、スタaggerドグリッドを用いた(図1)。

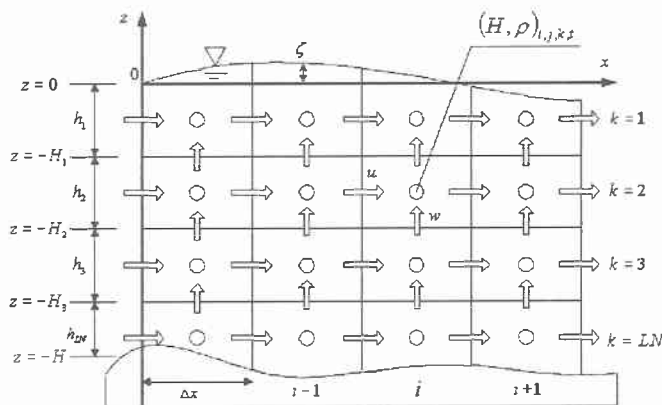


図1 数値計算における変数配置

本研究における基礎方程式を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} w_{LN} &= 0 \\ w_{k-1} &= w_k - \frac{\partial M_k}{\partial x} - \frac{\partial N_k}{\partial y} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= w_1 - \frac{\partial M_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial y} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_k}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} (M_k \bar{u}_k) - \frac{\partial}{\partial y} (M_k \bar{v}_k) - (uw)_{-H_{k-1}} \\ &+ (uw)_{-H_k} + f_0 N_k - \frac{h_k}{\rho_k} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\rho_1 g h_k}{\rho_k} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ &- \frac{g h_k}{\rho_k} \sum_{i=1}^{k-1} h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial x} - \frac{1}{2} \frac{g}{\rho_k} h_k^2 \frac{\partial \rho_k}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_h \frac{\partial M_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_h \frac{\partial M_k}{\partial y} \right) \\ &+ \gamma_i^2 \left\{ (u_{k-1} - u_k) \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2} \right. \\ &\left. - (u_k - u_{k+1}) \sqrt{(u_k - u_{k+1})^2 + (v_k - v_{k+1})^2} \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_k}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x} (N_k \bar{u}_k) - \frac{\partial}{\partial y} (N_k \bar{v}_k) - (vw)_{-H_{k-1}} \\ &+ (vw)_{-H_k} - f_0 M_k - \frac{h_k}{\rho_k} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{\rho_1 g h_k}{\rho_k} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ &- \frac{g h_k}{\rho_k} \sum_{i=1}^{k-1} h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial y} - \frac{1}{2} \frac{g}{\rho_k} h_k^2 \frac{\partial \rho_k}{\partial y} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_h \frac{\partial N_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_h \frac{\partial N_k}{\partial y} \right) \\ &+ \gamma_i^2 \left\{ (v_{k-1} - v_k) \sqrt{(u_{k-1} - u_k)^2 + (v_{k-1} - v_k)^2} \right. \\ &\left. - (v_k - v_{k+1}) \sqrt{(u_k - u_{k+1})^2 + (v_k - v_{k+1})^2} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、 u, v, w : 流速 (x, y, z)、 M, N : 線流量 (x, y)、 $\bar{u}_k, \bar{v}_k$: k 層内平均流速 (x, y)、 h_k : k 層の層厚、 f_0 : コリオリパラメータ、 ρ : 密度、 p_a : 大気圧、 g : 重力加速度、 ζ : 潮位、 ϵ_h : 水平渦動粘性係数、 p : 圧力、 γ_i^2 : 層間の摩擦係数、である。海面上の風応力と海底面の摩擦応力についても(2)、(3)式の最終項のようにバルク形式により表現している。

離散化方法については差分法を用いて、時間差分については Leap Frog 法、空間差分については2次の中心差分とした。

(2) 計算条件

計算領域を図2に示す。開境界 AB、CD、EF より

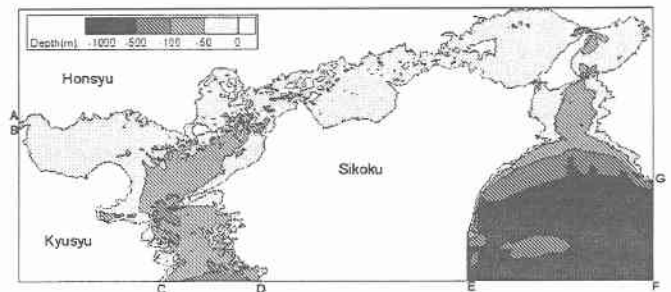


図2 計算領域

M_2 分潮の潮汐を与えて内部の流速を計算している。東側境界の FG は水深 0m として壁のようにしている。各開境界 AB、CD、EF の振幅はそれぞれ 0.491, 0.508, 0.462(m)、遅角はそれぞれ 95.4, 0.0, 0.0(deg) を与えて計算を行った。

本研究では単層モデルと多層モデルの違い、及び風の影響を調べるために単層モデルと 3 層モデル、及び無風状態と西風 3m/s を与えた計 4 ケースを計算した。共通する計算パラメータは表 1 である。3 層モデルの層厚は表層から 5m、5m から 100m、100m から海底までとした。

表1 計算パラメータ

パラメータ	値	パラメータ	値
$\Delta x, \Delta y$ [m]	1000	海底面摩擦係数 [-]	0.0026
Δt [s]	1	海面の摩擦係数 [-]	0.0013
f_0 [1/s]	8.12×10^{-5}	γ_i^2 [-]	0.05
ρ [kg/m ³]	1.0234	ϵ_h [m ² /s]	50.0

3. 計算結果と考察

(1) 瀬戸内海の海水流動特性の検討

3 層・無風のケースの計算結果を観測値¹⁾と比較した (図3)。図は上が振幅、下が位相の比較である。

豊後水道、紀伊水道から進入してきた潮汐波は燧灘付近で相合し、振幅が最大になる。また、明石海峡付近は振幅が最も小さく、節のようになっている。3 層モデルの計算結果はそれら観測値の潮差と位相の特徴を良好に再現している。

計算結果より鉛直流は海峡部でよく発達し、その流向は上げ潮時と下げ潮時で逆転することが判った。また、鉛直流の流速のオーダーは水平流の 1/100 程度である。

なお、単層・無風のケースによる計算結果も図中に示すが、単層モデルの結果も観測値と良好に一致している。明石海峡などで観測値との差異が大きくなっているが、海峡部の地形を変化させることで大幅に改善されることを確認している。

(2) 単層モデルと多層モデルの違い

下げ潮時における単層・無風と多層・無風のケースとの流量を各断面について算出した (図4)。図より、瀬戸内海東部においては単層モデルの方が流量が多いが、西部においては 3 層モデルの方が流量が多い。これは瀬戸内海の海底地形が西部の方が全体的に深いことが理由として考えられる。

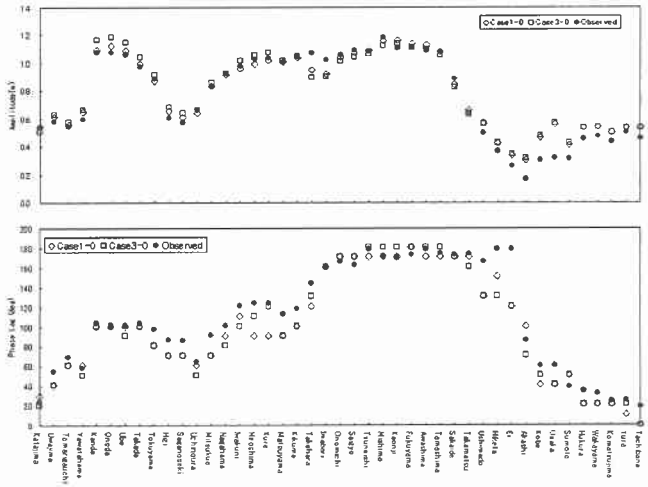


図3 計算結果と観測地の比較

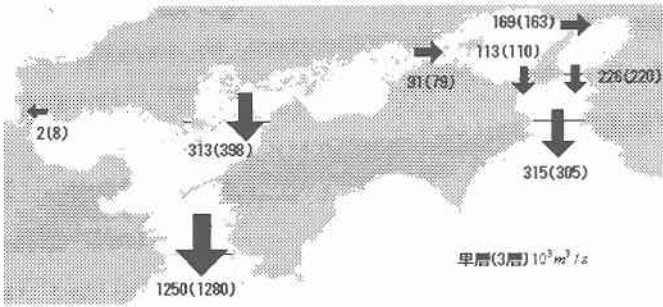


図4 下げ潮時における各断面の流量

時系列的に見ると、流速のピーク時については単層と 3 層モデルでは差が少ないが、転流時に流量の差異が大きい。

(3) 季節風の影響評価

単層・西風 3m/s のケースでは流速にあまり変化は見られなかったが、3 層・西風 3m/s のケースについては表層の流向が大きく変化した。3 層無風のケースで計算を行った結果では 1 層目と 2 層目の流向は湾内においてほぼ同じである。これらより、海水流動において季節風の影響はたとえ 3m/s の小さい風速であっても無視できないものであることが示唆される。

4. 今後の課題

今回、多層モデルにおけるパラメータ (層の数、層厚、層間の摩擦係数、海底面摩擦係数) の値が最適であるかは不明であり、今後検討する必要がある。

参考文献

- 海上保安庁水路部 (編) . 日本沿岸潮汐調和定数表. 財団法人 日本水路協会, 1992.
- Kazuo MURAKAMI. The considerations of M_2 components for numerical modeling of tidal current in the Seto inland Sea. Proc 8th Int. Symp. on Flow Modeling and Turbulence Measurements -FMTM2001-, pp. 35-36, 2001.