

湾内流の数値シミュレーションに関する研究

岡山大学工学部 正員 名倉 宏之
岡山大学工学部 正員 河原 長美
岡山県庁 正員 前野 詩朗

筆者らは、これまで児島湾水域を対象として、観測によって湾内の運動機構について検討を行なってきたが、観測面からのみ湾内の全体的な運動機構を把握することは困難とともなりつつある。以上を考慮して本報告は、児島湾における全体的な運動機構を説明するための基礎として、1層2次元モデルを用いて観測によって得られたデータをもとに数値計算を行ない、観測結果と計算結果とを比較により、本計算法の妥当性について検討を加えるとともに、児島湾における流動特性について若干の考察を加えたものである。

1. 基礎式

$$\text{連続式} : \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial (hu)}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial (huv)}{\partial y} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} - fhv - \frac{1}{\rho} (\tau_x^s - \tau_y^b) - \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial (hA_x \frac{\partial \zeta}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (hA_y \frac{\partial \zeta}{\partial y})}{\partial y} \right\} \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (hv^2)}{\partial y} + fhv - \frac{1}{\rho} (\tau_y^s - \tau_x^b) - \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial (hA_x \frac{\partial \zeta}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (hA_y \frac{\partial \zeta}{\partial y})}{\partial y} \right\} \quad \dots (3)$$

ここに、 x, y, z : 水平面内に、東向きに x 軸、北向きに y 軸、鉛直上方に z 軸とする。 t : 時間、 u, v : それぞれ x, y 方向の平均流速、 f : コリオリス因子で $f = 0.00008 \text{ sec}^{-1}$ とする。 A_x, A_y : 水平運動量拡散係数、 τ_x^s, τ_y^s : 断応力項については、次に示される表現を適用する。

$$\tau_x^s = k \rho_a W^2 \sin \psi, \quad \tau_y^s = k \rho_a W^2 \cos \psi \quad \dots (4)$$

$$\tau_x^b = \rho \nu_b^* u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_y^b = \rho \nu_b^* v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots (5)$$

ここに、 k, ν_b^* はそれぞれ、水面および海底での抵抗係数、 W : 風速、 ψ : y 軸と風向とのなす角度

2. 差分式

数値計算にあたっては、図-1 に示される space-staggered-scheme による差分法を適用する。また、差分式を簡潔にするために、式(1)の表記法を用いた式(1)~式(3)は式(7)~式(9)のように差分化される。

$$\left. \begin{aligned} F^x &= \frac{1}{2} \{ F[(i+1/2), j, y, n, t] + [u(i), y, j, n, t] \} \\ \delta F &= \frac{1}{2} \{ F[(i+1/2), j, y, n, t] - [(i-1/2), x, j, y, n, t] \} \\ F_{\pm} &= F[(i, x, j, y, (n \pm 1), t)] \end{aligned} \right\} \quad \dots (6)$$

$$\text{連続式} : \frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \{ \delta_x (h^x u) + \delta_y (h^y v) \} \quad \text{at } (i, j, n) \quad \dots (7)$$

$$\text{運動方程式} : \frac{\partial (h^x u)}{\partial t} = - \delta_x (h^x u^x u^x) - \delta_y (h^y u^x u^y) + fh^x u^x - gh^x (\delta_x \zeta_x) + (\tau_x^s - \tau_y^b) + \frac{1}{\rho} \{ \delta_x \{ h^x A_x \delta_x \zeta \} + \delta_y \{ h^y A_y \delta_y \zeta \} \} \quad \text{at } (i+1/2, j, n) \quad \dots (8)$$

$$\frac{\partial (h^y v)}{\partial t} = - \delta_x (h^x u^y u^x) - \delta_y (h^y v^y v^y) - fh^y u^y - gh^y (\delta_y \zeta_y) + (\tau_y^s - \tau_x^b) + \frac{1}{\rho} \{ \delta_x \{ h^x A_x \delta_x \zeta \} + \delta_y \{ h^y A_y \delta_y \zeta \} \} \quad \text{at } (i, j+1/2, n) \quad \dots (9)$$

3. 初期条件および境界条件

図-2 に示されるように、児島湾水域を $\Delta x = \Delta y = 200 \text{ m}$ の格子網に分割し、●印で示される部分を閉境界とし、その他はすべて開境界とした。初期条件としては、湾口での初期水位と水面全体を与えた。また、

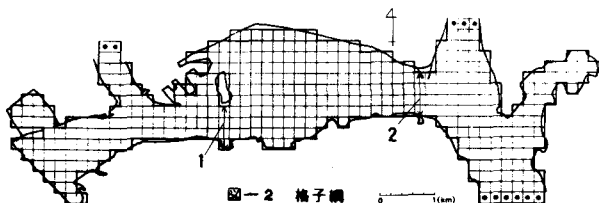


図-2 格子網

境界条件として、満口では実測水位を与え、旭川、吉井川ではそれぞれの河川の流域面積を保持した水位を想定し、この境界において連続式のみを適用して計算を進めるものとした。その他の計算条件として、 $\Delta t = 5$ 秒、底床係数 $\beta = 0.0026$ 、 $k_b = 200$ を与えた。河川流入量に関しては、両河川とも一律に $10 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

4. 計算結果および考察

3.で述べた計算条件を固定して、数値計算において重要と考えられる水平運動拡散係数 A_x, A_y の値を表-1に示される値を対象として数値計算を行った。結果のうち、CASE1, CASE2, CASE3の旭川河口における実測水位と計算結果を図-3～図-5に示している。これらの図より、CASE2で採用した A_x, A_y の値が適切であると推定される。なお、CASE4については、CASE2の場合とほぼ一致していた。図-6は、図-2に示される1,2の断面での流量変化を示したものである。図より、流量変化は潮汐による大きな流量変化と、それより小さな周期をもった変化とがあり、非常に複雑であることが示されている。図-7は、前述の開境界をすべて閉境界として、風によるセイシュを発生させた場合における断面1,2での流量変化を示したものである。図-6で示されたものと同様の周期成分をもった流量変化が発生することから示されている。図-8は、図-1に示されるA地点における実測値の流速の鉛直分布が示されている。図-9は計算結果得られた流速分布図である。実測値による平均流速が 30 cm/s 程度であると推定され、計算値による流速も 30 cm/s 程度でありよく一致している。流河に関しては同様によく一致している。しかし、図-8に示されるように、流速は、鉛直方向に関してかなり変化しており、これらを取り扱うためには3次元の取り扱いが必要となってくる。以後は、流れのみならず拡散も含めて、3次元的な取り扱いが可能なようなモデルについて検討を進めていく予定である。

表-1

	$A_x (\times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s})$	$A_y (\times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s})$
CASE 1	0.1	0.05
CASE 2	1.0	0.5
CASE 3	10.0	5.0
CASE 4	1.0	1.0

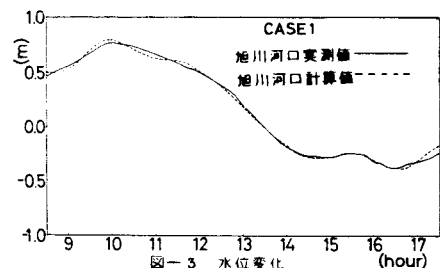


図-3 水位変化

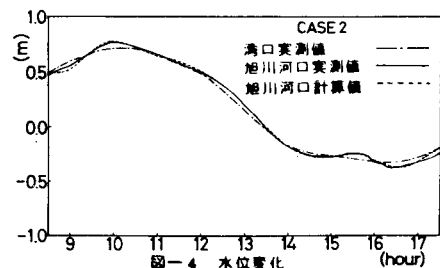


図-4 水位変化

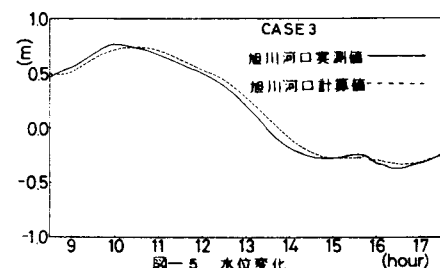


図-5 水位変化

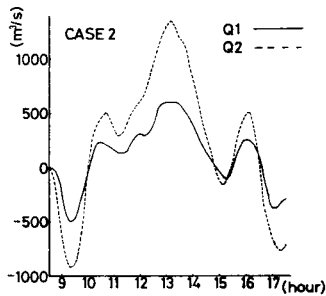


図-6 流量変化

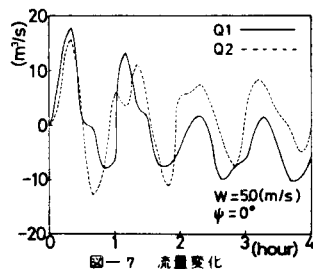


図-7 流量変化

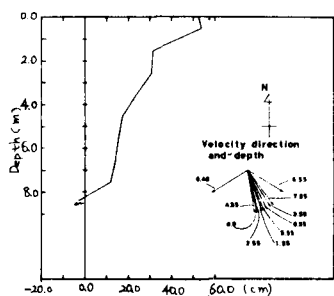


図-8 流速・鉛直方向(実測)
(12時14分)

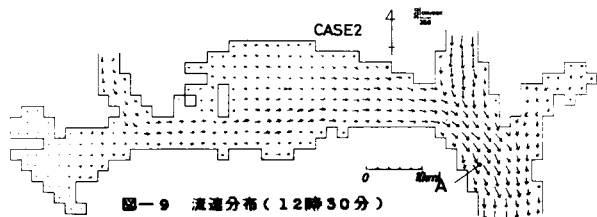


図-9 流量分布(12時30分)