

飛島建設株式会社 正員 ○宮本 祥弘
岡山大学 工学部 正員 河原 長美
岡山市 山地 由記

筆者らは、従来より児島湾水域を対象として、観測および数値シミュレーションにより湾内流の特性について検討を行なってきた。今回は、児島湾における流動特性を解明するための基礎として、1層2次元モデルを用いて数値シミュレーションを行なう場合に、計算結果に影響を与えると思われる要因をとりあげ、各々の要因が児島湾における湾内流のシミュレーション結果におよぼす影響の程度について、観測結果とも比較して検討を加える。

1 基礎式

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

$$\text{運動方程式} \quad \begin{aligned} \partial(hu) / \partial t + \partial(hu^2) / \partial x + \partial(huv) / \partial y + gh \partial \zeta / \partial x &= fhu + \frac{1}{\rho} (\tau_x^s - \tau_x^b) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial(hA_x \partial u / \partial x)}{\partial x} + \frac{\partial(hA_y \partial u / \partial y)}{\partial y} \right) \\ \partial(hv) / \partial t + \partial(huv) / \partial x + \partial(hv^2) / \partial y + gh \partial \zeta / \partial y &= fhv + \frac{1}{\rho} (\tau_y^s - \tau_y^b) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial(hA_x \partial v / \partial x)}{\partial x} + \frac{\partial(hA_y \partial v / \partial y)}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

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 軸をとる。 t : 時間、 u, v : それぞれ x, y 方向の平均流速、 f : コリオリ係数($f=0.00008 \text{ rad/s}$)、 A_x, A_y : 水平運動量拡散係数、また、せん断応力項については、次に示される表現を適用する。

$$\tau_x^s = \rho \rho_a W^2 \sin \phi, \quad \tau_y^s = \rho \rho_a W^2 \cos \phi \quad \text{----- (4)}$$

$$\tau_x^b = \rho \rho_b u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_y^b = \rho \rho_b v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 ρ, ρ_b : それぞれ、水面および底面での抵抗係数、 W : 風速、 ϕ : y 軸と風向のなす角度

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、差分法の表示を簡潔にするため式(6)の表記法を用いれば、式(1)~(3)は式(7)~(9)のように差分化される。

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \{ F[(i+\frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, \text{nat}] - F[(i-\frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, \text{nat}] \} \\ \delta_x F &= \frac{1}{\Delta x} \{ F[(i+\frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, \text{nat}] - F[(i-\frac{1}{2})\Delta x, j\Delta y, \text{nat}] \} \\ F_t &= F(i\Delta x, j\Delta y, (n\pm 1)\Delta t) \end{aligned} \right\} \text{----- (6)}$$

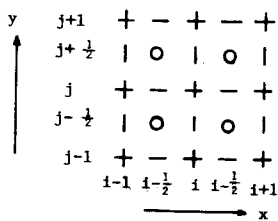


図-1 Space-staggered grid
+ ζ $\circ$ h
- u $|$ v

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

$$\text{運動方程式} : \overline{\delta t (\overline{h^x u})}^t = - \delta_x (\overline{h^x u^x u^x}) - \delta_y (\overline{h^y u^x v^x}) + f \overline{h^x u^x} - g \overline{h^x} (\delta_x \zeta_t) + (\tau_x^s - \tau_x^b) \\ + \frac{1}{\rho} \{ \delta_x \{ \overline{h^x A_x^x} \delta_x u \} + \delta_y \{ \overline{h^y A_y^x} \delta_y u \} \} \quad \text{at } i+\frac{1}{2}, j, n \quad (8)$$

$$\overline{\delta t (\overline{h^y v})}^t = - \delta_x (\overline{h^x u^y v^y}) - \delta_y (\overline{h^y v^y v^y}) - f \overline{h^y v^y} - g \overline{h^y} (\delta_y \zeta_t) + (\tau_y^s - \tau_y^b) \\ + \frac{1}{\rho} \{ \delta_x \{ \overline{h^x A_x^y} \delta_x v \} + \delta_y \{ \overline{h^y A_y^y} \delta_y v \} \} \quad \text{at } i, j+\frac{1}{2}, n \quad (9)$$

3 観測方法と潮流計算に対する入力条件

児島湾における観測は、図-2に示す各地点で、水位については10~30分間隔で、流速については1時間間隔で12時間継続して行なった。

潮流計算を支配する因子としては様々な要因が考えられるが、すべてについて検討を行なうことはできないので、コリオリ力、風力、抵抗係数、水平運動量拡散係数、河川流入点の取り扱い方法について検討を行なう。

児島湾水域(図-2参照のこ)について、 $\Delta x = \Delta y = 200 \text{ m}$ の格子網に分割し、初期水位としては湾口での初期水位

を与え、流速はすべてゼロとした。また、境界条件としては河口での実測水位を与え、担川、吉井川では、実測流速を与える場合と、河川浸透部への流入流量が両河川ともに $90 \text{ m}^3/\text{s}$ であるとし、連続式のみを適用する場合を検討する。計算条件については、表-1に示す。

4 計算結果および考察

ケースNo.1の結果を図-3および図-4に示す。水位変化については、干潮時および満潮時に観測値と計算値との間に幾分差が認められるが、全体としては、比較的よく一致しており、流況に関しても湾内流をほぼ再現していると推定される。以下のケースはケースNo.1と比較して、計算条件の影響に関して検討を加える。

コリオリ力による影響はほとんど無視でき(図-5参照)、底面の抵抗係数については 0.0026 としておさえたいよう(図-6参照)風の影響は 5 m/s 程度までならばほとんど認められない(図-8参照)。また、運動量拡散係数については、 $10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ ではめらかな流速分布が得られず、 $10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ になると水位変化のずれが大きくなってくる(図-9参照)。

河口での境界条件として、流速を与える場合と、連続式を用いる場合(図-10参照)とを比較すると大きな差が認められない。境界条件を与えるための観測にも時間間隔の問題があり、今後更に検討を加える予定である。なお、紙面の都合で、説明不足の点があるが、詳細については講演時に発表する予定である。最後に、名合教授の御指導を受けたことを記し、謝意を表します。

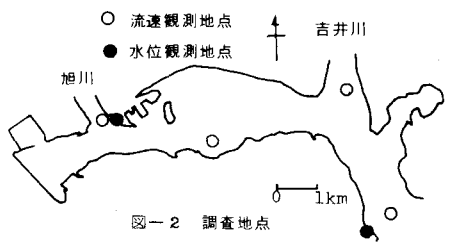


表-1 計算条件

ケース (No.)	タイムステップ (Δt)	底面抵抗係数 (γ_b^2)	コリオリ係数 (f)	底面抵抗係数 (A_x, A_y)	境界条件 (河口)	風速 (W)	備考
1	5	0.0026	0.00008	$A_x=1.0 \times 10^4$ $A_y=5.0 \times 10^4$	連続	0	本計算
2	"	"	0	"	"	"	"
3	"	0.0026×2.0	0.00008	"	"	"	"
4	"	$0.0026/2.0$	"	"	"	"	"
5	"	$C=1/n^2 \times 1^3$	"	"	"	"	"
6	"	0.0026	"	"	"	1 (East)	"
7	"	"	"	"	"	5 (East)	"
8	"	"	"	$A_x=1.0 \times 10^4$ $A_y=1.0 \times 10^4$	"	0	"
9	"	"	"	$A_x=1.0 \times 10^4$ $A_y=1.0 \times 10^4$	"	"	"
10	"	"	"	$A_x=1.0 \times 10^4$ $A_y=5.0 \times 10^4$	"	"	"
11	"	"	"	$A_x=1.0 \times 10^4$ $A_y=5.0 \times 10^4$	連続式のみを適用	"	"

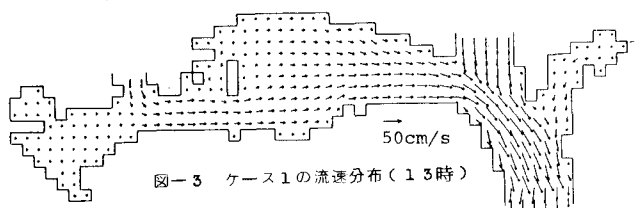


図-3 ケース1の流速分布(13時)

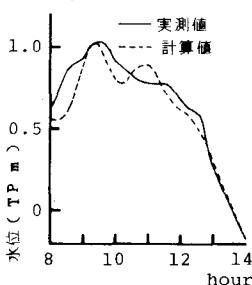


図-4 ケース1の水位

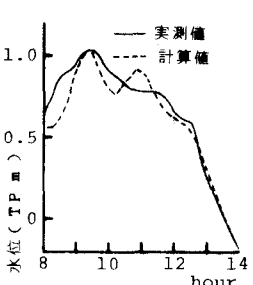


図-5 ケース2の水位 (コリオリ力を無視した場合)

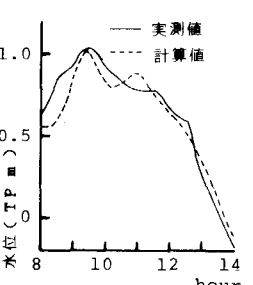


図-6 ケース3の水位 ($\gamma_b^2=0.0026 \times 2$)

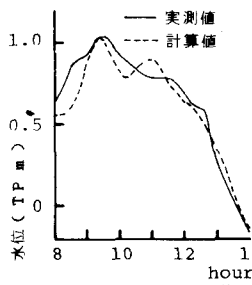


図-7 ケース4の水位 ($\gamma_b^2=0.0026/2$)

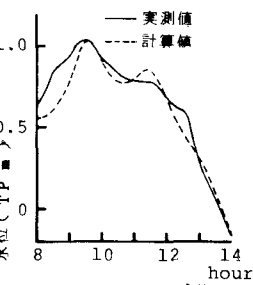


図-8 ケース5の水位 (風速 5 m/s)

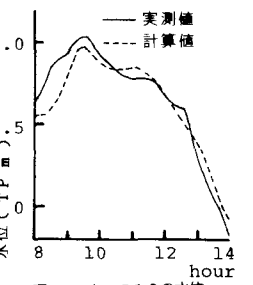


図-9 ケース6の水位 ($A_x=10^4, A_y=5 \times 10^4$)

図-10 ケース11の水位 (河口境界で連続式適用)