

ヴァリアブル格子モデルによる諫早湾潮受堤防排水門の開放に伴う流動計算

九州大学大学院総合理工学府 学生員 古庄建作  
 九州大学大学院総合理工学研究院 正会員 濱田孝治  
 九州大学大学院総合理工学研究院 正会員 経塚雄策

1. はじめに

昨季における有明海の養殖ノリ不作問題が大きな社会問題となり、その原因として諫早湾の潮受堤防建設との因果関係が疑われている。一方、海洋環境の理解のためには、物理・化学・生物的な影響を考慮しなければならないが、特に流れについては浮遊物質の移流拡散を決定する基本量である。これらを知る事前の方法として本研究では、有明海全湾に不等間隔格子モデルを適用し潮受堤防に2箇所設置されている排水門を高解像度で再現した数値計算を行い、水門開放に伴う調整池から流出した水塊の拡散過程を可視化した。

2. 数値シミュレーションの概要

200m の格子幅による有明海北湾の計算結果はすでに報告したが、全湾への拡散状況を把握できないことや、南部排水門の幅が過大評価されてしまうことなどが十分ではなかった。そこで我々は MEC モデルの不等間隔格子 (<http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model/>) を使用し広領域から狭領域までを計算することにより、これらの問題を解消することができた。

海水の運動については次のような Navier-Stokes 方程式および連続の式で表され、鉛直方向の運動は十分小さいとして静水圧近似を適用し、密度変化については Boussinesq 近似を用いた。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_M \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f_u - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_M \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2.2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (2.3) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

Fig.1 は本研究に使用した諫早湾近海の計算格子を示しており、諫早湾潮受け堤防が格子方向に一致するように地形を回転している。最小格子間隔は南部排水門の幅に合わせて 50m とし、上下左右方向に比例級

数的に格子幅を大きくした。また全湾を不等間隔とした場合、極端な長方形格子が生成されてしまうので、計算領域の南西部は 1km の等間隔格子とした。また本計算に使用した主なパラメータを Table1 に、計算条件を Table2 にそれぞれ示す。

次に、潮流計算で求められた格子点での流速を用い、Euler-Lagrange 法によって仮想粒子の時々刻々の位置を以下のように計算する。仮想粒子の位置ベクトルを  $X(t)$  とすると  $t + \Delta t$  における位置ベクトルは Taylor 展開の 2 次の項までの近似によって与えられる。

Table1 Parameters used in the simulation

parameter	value	unit
number of grid	125,192,9	
min( $\Delta x, \Delta y$ )	50	[m]
max( $\Delta x, \Delta y$ )	1000	[m]
$\Delta z$	3,0.5,0.5,3,3,10,30,30,50	[m]
$\Delta t$	0.5	[sec]
tidal amplitude	1.8675	[m]
$A_M$	50(for 1000m)	[m <sup>2</sup> /sec]
$K_M$	0.001	[m <sup>2</sup> /sec]
$\gamma^2$	0.0026	

Table2 Conditions of numerical simulation

Case	Embankment	Floodgates	Opening
0	With	Close	
1	With	Partially Open	0.5 m
2	With	Partially Open	1.0 m
3	With	Full Open	
past	Without	Without	

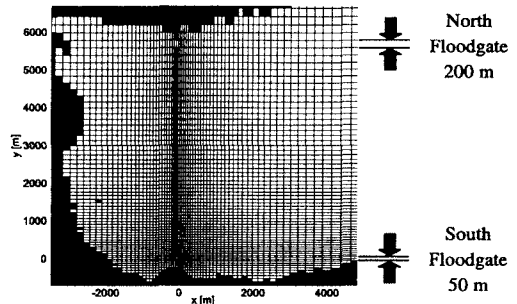


Fig.1 Calculation grid, Isahaya Bay

### 3. シミュレーション結果

Fig.2 は、調整池内外における水面変位の時刻歴の計算値であるが、ここでは初期値として調整池内外の水位はともに 0 とおき、開境界における潮汐振幅も最初の 1 周期間は初期擾乱の発生を防ぐため、時間とともに徐々に大きくなるようにしている。これを見ると、3 周期目以降には過渡的な影響は小さくなく、短時間のうちに周期的な現象が実現できることが分かる。調整池内部の水位の平均値は 0 ではなく、プラス側にシフトしているが、これは外海と通じている 2 つの排水門の幅が小さいことに依存していると考えられる。

次に我々は両排水門における流速変化についても同様に時刻歴を算出したが、ここでは、この値と水門位置での断面積との積によって得られる流量から 1 周期間の流入・流出量を積分して得られる交流量について考察する。Table3 に示すように、北部・南部排水門におけるそれぞれの値は約 4 倍となっていることがわかる。これは両排水門の幅の違いに起因している。

Fig.3 は粒子追跡法によって計算された Case-1,3 における 100 時間後の仮想粒子の位置を可視化したものである。両者の差は明らかであるが、Case-0 や Past の結果を見ても Case-3 と同様に、仮想粒子は島原半島に沿って南下した後、熊本県沿岸に沿って北上する拡散パターンと早崎瀬戸を通じ橋湾へ抜けるパターンに分けられることが分かった。

次に、粒子を初期配置した領域(調整池内全域)に残存する粒子の個数を 5 分毎にカウントし、初期の個数で除した値の時刻歴を Fig.4 に示す。これらの曲線を指数関数によって近似し平均滞留時間を計算した結果を Table4 に示す。堤防建設前は 6 日程度であったが、水門を全開にした場合 5 日弱となった。これは往復運動と不規則運動の違いによって生じている。

### 4. 結言

本計算は物理場のみを考慮した一様流体の計算である。これによって有明海における流動パターンと水門開放に伴う調整池水の拡散過程を可視化することができた。また、平均滞留時間の概念によって、排水門を常時開放した場合約 2/3 の水が 5~28 日で交換されることが分かった。

#### 参考文献

1) 経塚, 古庄, 木村(2001). “諫早湾の潮受け堤防排水門の開放に伴う流動について”, 第 16 回海洋工学シンポジウム, pp 73-80

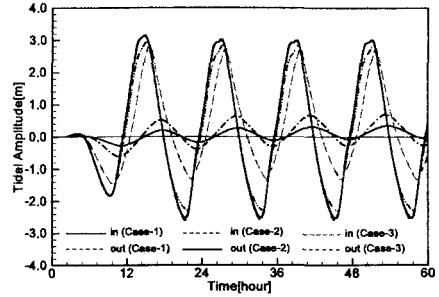


Fig.2 Time series of tidal amplitude inside/outside the embankment

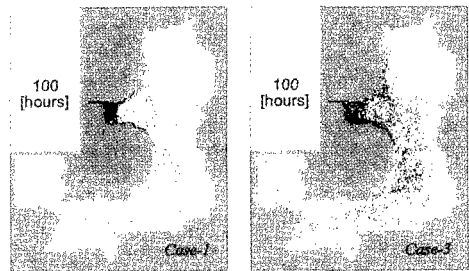


Fig.3 Distribution of the particles after 100 hours for Case-1, 3

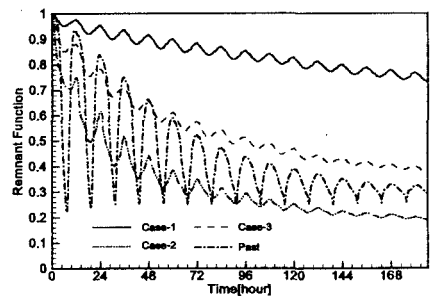


Fig.4 Variation of the remnant function plotted every 5 minutes for Case-1, 2, 3 and Past

Table3 Total water flux through floodgates during ebb tide and flood tide for 1 tidal cycle

Case	Northern Floodgate [m <sup>3</sup> ]		Southern Floodgate [m <sup>3</sup> ]	
	Inflow	Outflow	Inflow	Outflow
1	6.51E+06	6.48E+06	1.66E+06	1.61E+06
2	1.54E+07	1.53E+07	3.82E+06	3.76E+06
3	6.22E+07	5.91E+07	1.55E+07	1.50E+07

Table4 Average residence time

Case	Average Residence Time [hour]	Average Residence Time [day]
	1	666.67
2	204.08	8.50
3	116.28	4.84
Past	142.86	5.95