九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

諫早湾の潮受け堤防排水門の開放に伴う流動について

経塚, 雄策
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

古庄, 建作
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

木村, 洋一郎
NHK福岡放送局

https://doi.org/10.15017/16634

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 23 (2), pp.207-215, 2001-09. 九州大学大学院総合理工学府
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九州大学大学院総合理工学報告
第23巻 第2号 207-215頁 平成13年9月

Engineering Sciences Reports, Kyushu University
(KYUSHU DAIGAKU SOGORIKOGAKU HOKOKU)
Vol. 23, No. 2 pp. 207-215 SEPT. 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

経塚雄策* ・ 古庄建作** ・ 木村洋一郎***

(平成13年5月31日 受理)

A Numerical Simulation of Water Flow by Opening The Floodgate of Embankment in Isahaya Bay

Yusaku KYOZUKA*, Kensaku FURUSHO**, Yoichiro KIMURA***

The embankment of Isahaya Bay has been a big social problem since it is suspected as the main reason of the seaweed crop failure in Ariake Bay in winter from 2000 to 2001. Laver farmers insist to open the floodgates of the embankment. The investigation and the countermeasure have been discussed by the so-called third party committee. Marine environment is not simple because it consists of various factors by physical, chemical and biological effects. The flow in the bay, however, is primary important as the diffusion of materials is governed by the flow as the background. We tried to simulate the flow and the diffusions inside and outside of the embankment associated with the opening the floodgates. The numerical results on the velocity distribution around the gates, water flux through the gates during a tide, tidal exchange rate of the reservoir through the gates, diffusion pattern of water from the reservoir at Isahaya Bay and the residual flow changes with/without the embankment are presented by graphics.

1. はじめに

現在，有明海における養殖ノリの不作の問題が大きな社会問題となっており，その原因として，諫早湾の潮受堤防との因果関係が疑われている．福岡・熊本・佐賀などのノリ養殖漁民らは，諫早湾干拓事業の中止と堤防に2カ所設けられている排水門の開放を求めて，海上デモと工事用道路の封鎖などの実力行使にでたが，一方，長崎の地元の漁民らは排水門の開放に反対している．この問題の原因究明のために，3月に「農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会」(以下，第三者委員会)が作られ，これまでに4回の委員会が開かれたが，現在までのところ，水門を開けて行う調査も含めて2年間程度の調査が必要である，との結論である．今後，具体的な調査の方法が明らかにされると思われるが，有明海全体の環境の再生のために，迅速かつ最善の対策が望まれる．

海洋環境の理解のためには，物理的・化学的・生物的な影響を考慮しなければいけないが，特に流れについては，浮遊性物質の移流拡散を決定する基本量である．水門開放に伴って，流れはどうなるのか，調整池内部の底泥・浮泥の巻き上げはどうか，堤防から出た水塊は諫早湾でどのように広がり，有明海へはどのように拡散するのか，など多くの疑問点があるが，それらの疑問に答えるための事前の方法としては，数値シミュレーションが最善であろう．前述の第三者委員会においても，数値シミュレーションの重要性は言及されているが，これまでに公表された具体的な計算結果としては，第2回目の委員会において，農水省側から提出された，水門の開放に伴う水門付近の最大流速の推定値が唯一のものである．なお，最近になって㈱環境総合研究所は，諫早湾の過去と現在（水門締切）と未来（水門開放）の流れの広範な数値計算結果を同社のホームページ（http://www.bekkoame.ne.jp/~a-taka/eri.html）において，公開している．

本研究は，2月に潮受堤防排水門の開放要求が高まりをみせた時点で，手持ちのプログラムと地形データによって速報的に計算したものをベースにしたもので，計算領域としては島原－長洲以北の有明海北湾のみを考慮し，12時間周期の潮汐を対象としているが，以下の項目に力点を置き計算した結果について報告する．

1. 水門の開放に伴う水門付近の最大流速分布
2. 堤防内外の潮位変化と水門を通じる交流量
3. 調整池内部の海水交換率と平均滞留時間
4. 調整池から外部に出た水塊の拡散パターン
5. 堤防の有無と水門の開閉による残差流変化

* 大気海洋環境システム学専攻
** 大気海洋環境システム学専攻修士課程
*** NHK福岡放送局

2. 数値シミュレーションの概要

2.1 座標系

本研究では，潮受け堤防の方向が格子方向と一致するように計算格子を配置し，Fig.1 に示すような局所デカルト座標系を用いた．ここで，x-y 平面は平均海面を表し，z は鉛直上方を正となるようにとる．また，水深は h で表し，平均海面からの距離をζとしこれを水位とした．

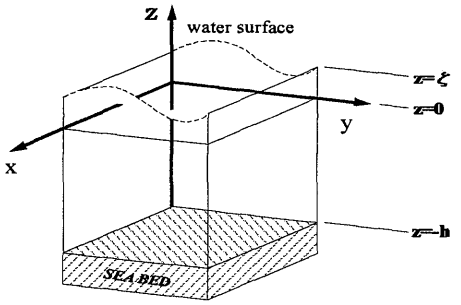


Fig.1　Coordinates system

2.2 基礎式

水は非圧縮性流体とする．流れの鉛直方向加速度は重力加速度に比べて十分小さいので鉛直方向の運動は圧力の釣り合いのみを考える．つまり，鉛直方向の圧力は静水圧により近似される．また，浮力以外のすべての項にブシネスクの近似を用いる．

x,y,z 軸方向の流速を U,V,W とすると，運動方程式，連続式は，

$$\frac{\partial U}{\partial t}+U\frac{\partial U}{\partial x}+V\frac{\partial U}{\partial y}+W\frac{\partial U}{\partial z}$$
$$=fV-\frac{1}{\rho_a}\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial U}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial U}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_V\frac{\partial U}{\partial z}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t}+U\frac{\partial V}{\partial x}+V\frac{\partial V}{\partial y}+W\frac{\partial V}{\partial z}$$
$$=-fU-\frac{1}{\rho_a}\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial V}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_V\frac{\partial V}{\partial z}\right) \quad (2)$$

$$0=-g-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial V}{\partial y}+\frac{\partial W}{\partial z}=0 \quad (4)$$

ただし f はコリオリパラメータで，

$$f=2\Omega\sin\phi \quad (5)$$

ここで，t は時間，φ は緯度，Ω は地球の自転の角速度，ρ は海水密度，p は圧力，g は重力加速度，ρ_a は海水の基準密度(定数)，A_H，A_V はそれぞれ水平方向，鉛直方向の渦動粘性係数である．

2.3 境界条件

有明海で最も卓越する流れは 1 日 2 回の M_2 分潮によって支配される．したがって今回のシミュレーションでは，開境界で M_2 分潮を次式によって与えた．

$$\zeta(t)=A(t)\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) \quad (6)$$

ここで，A(t)は計算中の擾乱波の発生を防ぐために，1 周期目のみ 0 からζ0へ線形的に増加させた．

陸地との境界(閉境界)では，no-slip の境界条件を用いた．

水面(z=ζ)では通常，風の影響を考慮するが今回は無視した．また海底では，底面における摩擦を考慮して次式を与えた．

$$W_b=0 \quad (7)$$

$$\tau_{bx}=\rho_b\gamma_b^2u_b\sqrt{u_b^2+v_b^2}=\rho_bA_V\frac{\partial u}{\partial z} \quad (8)$$

$$\tau_{by}=\rho_b\gamma_b^2v_b\sqrt{u_b^2+v_b^2}=\rho_bA_V\frac{\partial v}{\partial z} \quad (9)$$

ここで，γb は底面における摩擦係数を表す．

2.4 粒子追跡法

潮流計算で求められた格子点での流速を用い，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+Δt における位置ベクトルは 2 次までの近似によって次式で与えられる[1)]．

$$X(t+\Delta t)=X(t)+\Delta t\cdot U(X(t),t)+\frac{t^2}{2}\frac{DU(X(t),t)}{Dt} \quad (10)$$

ただし，

$$\frac{DU(X(t),t)}{Dt}=\frac{\partial U(X(t),t)}{\partial t}+U(X(t),t)\cdot\nabla U(X(t),t) \quad (11)$$

ここで，

$$\nabla=\left(\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right) \quad (12)$$

海水交換率は，初期に仮想粒子を Fig.3 のように調整池内に均等に配置し，水門の開放とともに流出する粒子を除き，調整池内に残存する粒子数から計算される次の残余関数 r(ti)によって評価した．

$$r(t_i)=N_i/N_0 \quad (13)$$

ただし，Ni は i 周期後における調整池内に残存する仮想粒子の総数，N0 は初期における仮想粒子の総数である．

式(13)は短期の海水交換率を表していると考えられ，海水交換率の算定は水深が一定でないと厳密ではないが，ここでは，近似的に成立するものとした．

一方，長期の海水交換率については次式で与えられる平均滞留時間 τr によって評価した[2)]．

$$\tau_r = \int_0^\infty r(t)\cdot t\cdot dt \Big/ \int_0^\infty r(t)dt \qquad (14)$$

粒子追跡は8潮汐間(96時間)の計算を行った．また，仮想粒子の初期投入の条件としては，各メッシュに4個(水平方向間隔100m, 鉛直方向間隔0.5m), 全体で13,448個の仮想粒子をFig.3のように均等に投入し，それらを時々刻々の位置を計算する．調整池内に残留する仮想粒子の個数をそれぞれ10分毎にカウントし，残余関数を求めた．

2.5 モデル海域

Fig.2に本計算で用いたモデルの地形図を示す．モデル海域は長崎県の有明町と熊本県の長洲町を結んだ線以北の有明海である．有明海の潮流の主流方向は南北より半時計回りに約30°程度傾いているので，それに合わせて格子の方向をとり，南の境界を開境界とする．本計算で採用した水平格子間隔はΔx, Δyともに200mであり，潮受け堤防の幅も200mで近似している．また，潮受け堤防に設けられている北部・南部排水門の幅はそれぞれ200m, 50mであり，本モデルでは南部排水門については正確に表現することができない．そこで，断面積を合わせるように水深を1m浅くしたが，それでも断面積で3倍であり，過大評価した形となっている．

なお，筑後川など河川流量の影響についても残差流などでは小さくないと予想されるが今回は考慮しなかった．

2.6 計算に用いたパラメータ

今回の計算で用いた主なパラメータをTable 1に示す．水平渦動粘性係数については，Richardsonの4/3乗則に従うものとし，200mに対してA_Hは5m²/secとおいた．また，鉛直渦動粘性係数Avを0.0001m²/sec, 海底摩擦係数γ_bを0.0026, タイムステップを2secとした．

本研究ではTable 2に示すように，排水門開放に関して2つの場合を想定した．Case-1は常に水門を開放する場合であり，Case-2は調整池の水位を-1.0m以上には上げないで水門の開閉を制御する場合で，第2回目の第3者委員会において，農水省側から提案された方法である．

本数値計算における水門の開閉については，水門位置の1メッシュを流体メッシュあるいは陸上メッシュに置き換えることに近似している．Case-2では，堤防内外の水位によって開閉の判断をする必要があり，調整池内の水位については調整池中央部付近の5点における平均水位をとった．

3. 数値シミュレーションの結果と考察

3.1 堤防内外の水位変動，水門での流速および流量

Fig.4は，水門を全開にするCase-1の堤防内外の2点における水位変動，水門位置での流速および水門を通じて流れる流量フラックスの時刻歴を示す．開境界における強制潮位振幅は，島原におけるM_2振幅(1.475m)を与えたが，Fig.4に見られるように計算初期の過渡現象を避けるために最初の12時間は潮位を線形的に大きくし，水門開放のタイミングは，ひき潮時で堤防外の水位が-1.0mに下がった瞬間とした．これは，現在の調整池の水位が-1.0mに保持されており，急激な流れを避けるためである．

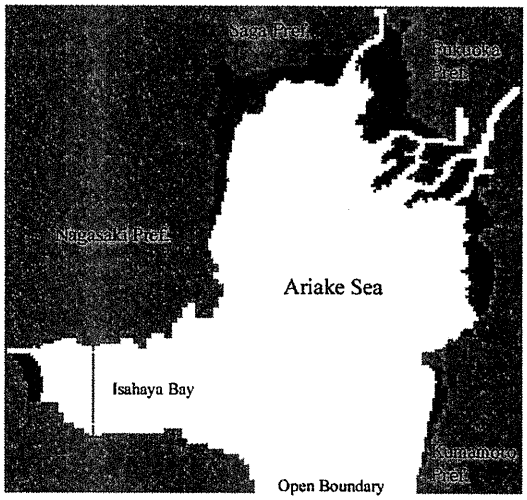


Fig.2 Calculation area
($\Delta x = \Delta y = 200m$, $NX = NY = 200$)

Table 1 Values of parameters used for simulation

f	7.94×10^{-5} sec^{-1}	Coriolis parameter
g	9.8 m/sec^2	acceleration of gravity
ρ_0	1022.5 kg/m^3	reference density of sea water
KE	15	number of levels
Δx	200 m	horizontal mesh size
Δy		
γ_b	2.6×10^{-3}	friction coefficient of bottom
γ_w	1.0×10^{-4}	friction coefficient of wall
Δt	2 sec	time step
ζ_0	1.475 m	amplitude of input tide
T_0	12 hour	period of input tide
ρ_a	1.2×10^{-3} kg/m^3	density of air
A_H	5 m^2/sec	horizontal eddy viscosity
A_V	0.0001 m^2/sec	vertical eddy viscosity

Table 2 Condition of calculation

case-1	Gate Full Open
case-2	Gate control to keep reservoir water level −1m

まず，堤防内外の２点における水位の変化を見ると，堤防外ではほぼ±1.5m であるが，堤防内部では＋1.5m と-1.0m と非対称になっていることが分かる．この水位の非対称性は，水路を開けるタイミングに依存するもので，過渡現象である．堤防内の潮位振幅は，外の潮位振幅の約 8 割ほどであり，この結果から，水門の幅は 400m（実際には 250m）と防波堤の長さ 7km に比べて狭いが，海水交流量としては予想以上に大きい結果となっている．

次に，水門位置における流速については，正を堤防内に向かう流れとしているが，正負によって波形が非対称になっている．最大流速は調整池流入時に生じており，約 4m/sec である．流速は潮位差の平方根に比例するとすれば，この値は大潮時換算で約 5.2m/sec である．南門は北門よりも 1m 浅いので海底摩擦の影響で若干流速が小さくなっている．

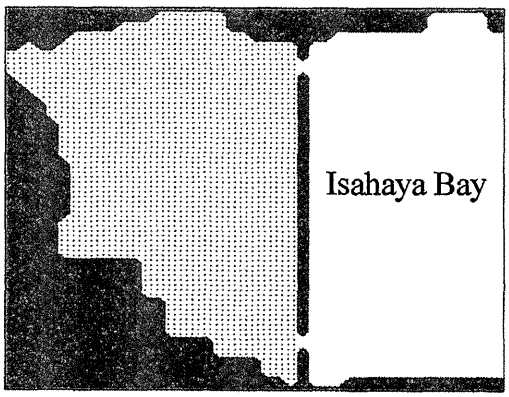


Fig.3 Initial deployment of the particles

次に，南北の水門を通じた流量フラックスについては

$$Q(t)=\int_{-h}^{\zeta} u(t)\cdot B\cdot dz \qquad (15)$$

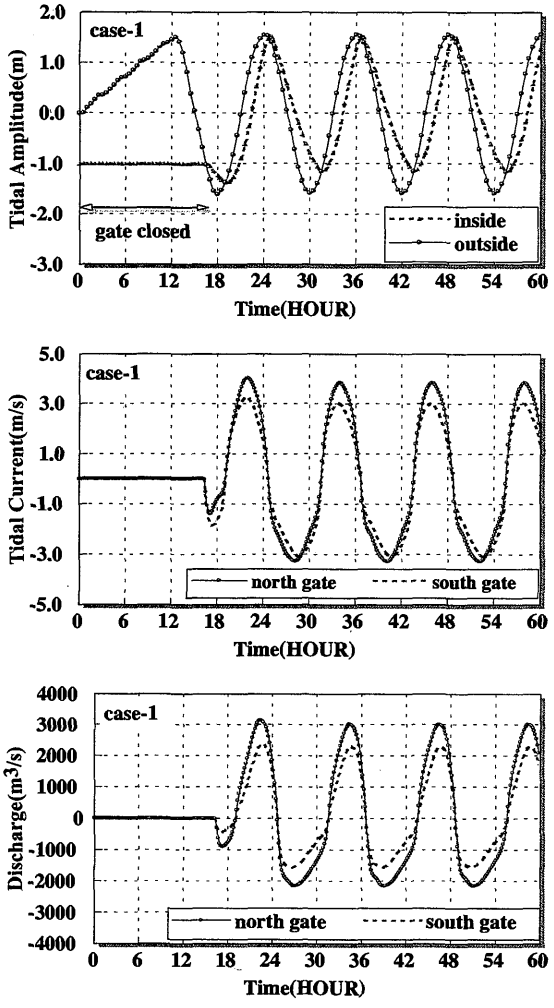


Fig.4 Time series of surface elevations inside/outside of enbankment, velocity at the gates and flux through gates in case-1

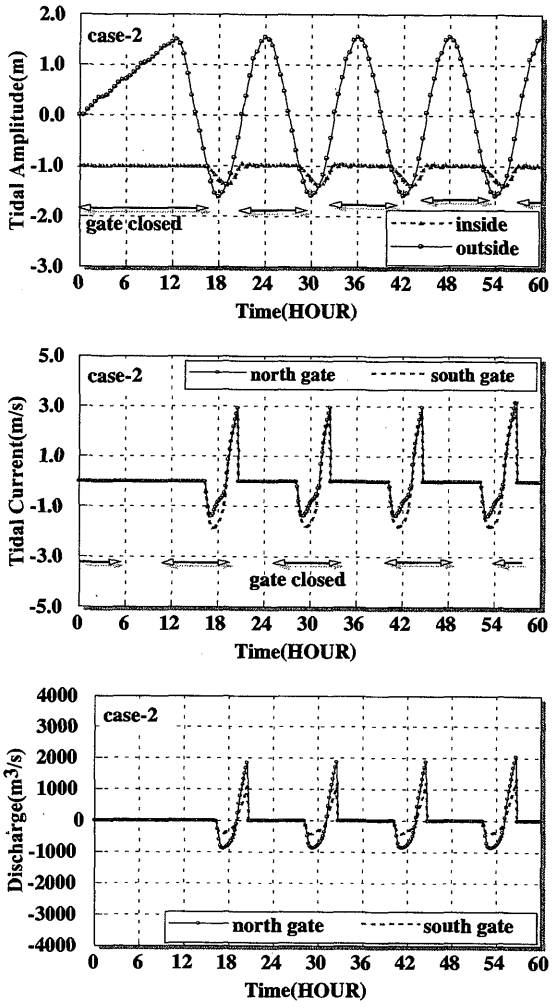


Fig.5 Time series of surface elevations inside/outside of enbankment, velocity at the gates and flux through gates in case-2

によって計算しているが，流速の波形と同様に正負によって非対称となっていることが分かる．ただし，Bは水門幅である．南北の流量フラックスの違いは，主として水門における水深の違いによるものである．

Fig.5 は，調整池の水位が**-1.0m** 以上に上がらないように水門の開閉を制御する **Case-2** の場合の同様な結果を示したものである．まず，堤防内の水位の変化から水門が開放されていることが分かるが，今回の条件では干潮時の約 4 時間のあいだ水門が開くことになり，調整池内の水位は約**-1.3m** まで下がることになる．

このとき流速については，**Case-1** の 1 周期にみられるような変形した波形で始まり，水門の閉鎖によって突然に 0 になる．最大流速はやはり上潮時に生じ，南北の水門とも約 **3m/sec** となっている．流量フラックスの時間波形についても，流速とほぼ同様な変化を示しており，**Case-1** における流量フラックスの 1 周期目の波形が繰り返される，とも言える．

流量フラックスを正負ごとに潮汐の半周期間にわたって積分すれば流入時と流出時の正味の流量が得られる．今回の計算では，過渡的な影響が残っており，流入時と流出時の交流量は一致していないが，それらの平均値をとって整理すると **Table 3** のような結果となった．

Table 3 において，調整池の容積は，**Case-1** では水門開放後の静止水面より下の，**Case-2** では**-1.0m** より下の容積をとり，それらを基準として交流量の割合を比較した．これらの結果をみると，南門の交流量は **Case-1** で北門の約 **0.7**，**Case-2** では約 **0.6** となっており，開け方によって多少，異なることになる．**Case-2** の正味の交流量は **Case-1** の約 1/7 であることなどが分かる．

3.2　水門付近における流速分布

Fig.6 は，**Case-1** の上潮最強時の水門付近の流速分布を等高線で示したものである．強流部は水門からほぼ直角方向に延びており，噴流状に調整池内部に貫入しているようすが見て取れる．この場合，調整池内では指摘されているように，浅掘や土砂の巻き上げに対する対策が必要となるが，その範囲の決定にはこの等高線が参考となろう．

Fig.7 は，**Case-1** の下げ潮最強時の水門付近の流速分布を示したものである．この場合，当然ながら強流部は諫早湾側に生じ，水門から直角方向に広い範囲で強い流れが生じている様子がみてとれる．

Fig.8 は，同様に **Case-2** の下げ潮最強時の結果である．**Fig.7** に比べると，速度の絶対値と強流部の面積が小さくなっていることが分かる．

Table 3 Water discharge through gates during one tide

case	volume of reservoir (m^3)	volume of water exchange per tide (m^3)		
		north gate	south gate	total
1	1.047E+08	3.877E+07	2.707E+07	6.584E+07
		37.0%	25.9%	62.9%
2	7.995E+07	6.101E+06	3.650E+06	9.751E+06
		7.6%	4.6%	12.2%

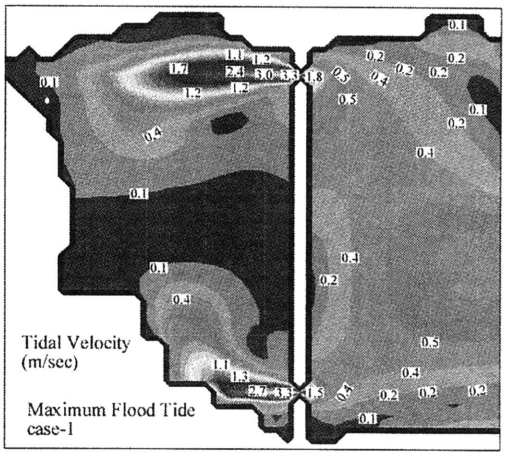


Fig.6 Distribution of tidal velocity at maximun flood tide in Case-1

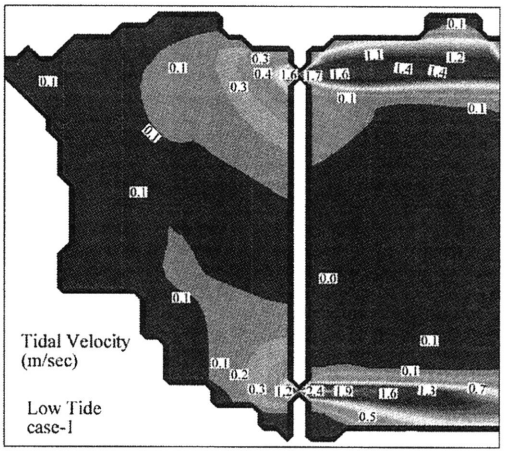


Fig.7 Distribution of tidal velocity at low tide in Case-1

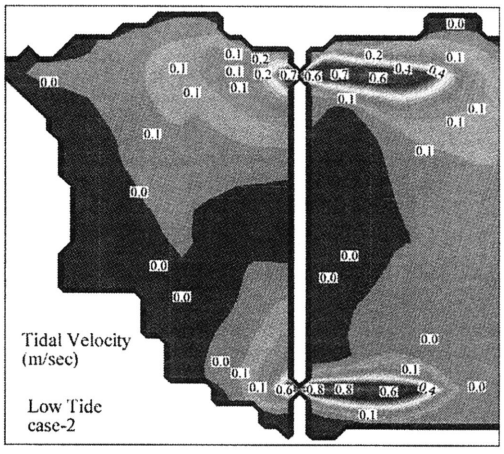


Fig.8 Distribution of tidal velocity at low tide in Case-2

3.3 粒子追跡法による流れの可視化

Fig.9 は，Case-1 について水門開放から 24，48，72，96 時間後の仮想粒子の拡散状況を比較したものである．24 時間後の結果をみると，調整池内部では粒子の密度が少ない部分が帯状になっていることが分かるが，これは外からの海水が噴流状に貫入したためである．水門からの噴流のパターンについては，渦動粘性係数によってかなり変化するので今回の設定が妥当であるかどうかについては，今後検討しなければならない．次に，堤防外の粒子の拡散状況をみると，南門から出た粒子は島原半島に沿って直進しているのに対し，北門からの粒子は直進するものと南下するものの 2 グループがあるようにみえる．このような結果になる理由としては，コリオリ力と島原半島の境界による影響が考えられる．

48 時間後の粒子の拡散状況をみると，相当数の粒子が諫早湾全体に広がっていることと先端部は南部から諫早湾を出て，有明海に到達しそうなことなどが分かる．さらに，72 時間では調整池内の粒子数が減り，島原半島側から有明海側に拡散していく様子が分かり，96 時間では島原半島側から出た粒子が有明海の中央部あるいは北側に拡散していく様子が分かる．

Fig.10 は，Case-2 について Fig.9 と同様な結果を表示したものであり，Fig. 9 と比較すると興味深い．まず，24 時間の結果については，調整池内の粒子はほぼ均等に分布している．これは，Case-1 のように外から強い流れが貫入してこないためである．堤防外の粒子については，Case-1 と個数においては大差がないように思われ，拡散のパターンも，ほぼ同様に南門から出た粒子は直進し，北門からの粒子は南下の気配がみえる．

48 時間の結果をみると，北門から出た粒子の密度から堤防北側に大きな渦構造がみえる．また，南側の島原半島に沿って流れる粒子は Case-1 と同様な速度で東に向かっているが，諫早湾中央部付近での粒子の個数と拡散の様子はかなり異なっている．

さらに，72 時間と 96 時間の結果を比べると堤防外の粒子数や拡散の様子などがあまり大差がないことが分かる．これは，この間の 24 時間で調整池の海水交換がそれほど進んでいないためであり，Case-1 の結果と比較すると調整池内の粒子密度が高いことが分かる．

3.4 調整池の海水交換率

堤防内部の調整池には，元の干潟が広がっており，有明海の環境再生のためには干潟の浄化作用を利用すべきであるという意見も強い．ただし，水門を開けた場合に水門を通じてどの程度の海水交換が行われるのか，あるいはどれくらいの時間で調整池の海水が交換されるのか，といった情報は，生態系の再生を考える上で基本的かつ必須のものであろう．

Fig.11 は，Case-1 と Case-2 の残余関数の変化を 10 分毎にとって比較したものである．時間の基準は水門を開放したときである．Case-1 では，水門を通じて粒子が出入りを繰り返すので，残余関数は潮汐周期で振動するが，Case-2 では水門を閉じている間は粒子の出入りがないので階段状に減少していくことがわかる．この結果では，Case-2 の交流量は Case-1 に比べて少なかったにもかかわらず，残余率としては Case-1 の半分くらいになっており，予想以上に海水交換率が良いような結果になっている．

12 時間周期の振動成分を無視して 1 潮汐間の残余率をとれば Fig.12 のようななだらかな曲線が得られるが,それを

$$R(t)=\alpha\exp(-\beta\cdot t) \tag{16}$$

によって近似した時,平均滞留時間は

$$\tau_R=\frac{\int_0^\infty R(t)\cdot t\cdot dt}{\int_0^\infty R(t)\cdot dt}=\frac{1}{\beta} \tag{17}$$

によって与えられる．

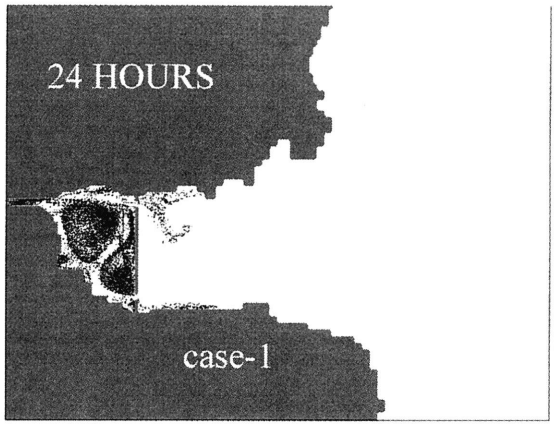
Table 4 は，このようにして求められた平均滞留時間の結果を示している．Case-1 の場合には約 3 日半で約 2/3 の海水が交換されることになる．また，Case-2 のような水門の開け方でも約 1 週間で同様に調整池内の海水の 2/3 ほどが交換されることになる．ただし，本計算は潮汐振幅として中潮（堤防前で±1.5m）を仮定しているので，小潮時などについては別途計算する必要がある．

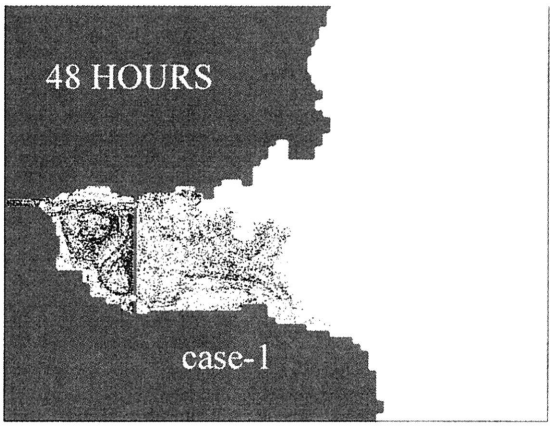
3.5 潮汐残差流

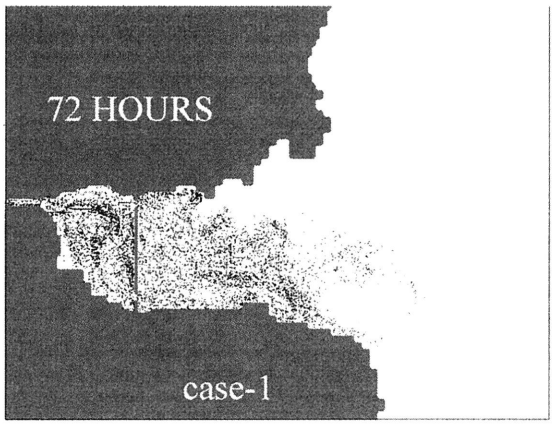
潮流は，周期的な流ればかりでなく時間に無関係で一定方向への定常的な流れも伴っている．おもな原因としては，地形の影響による渦の発生に伴う非周期的な流れである．物質の拡散を考える場合には，残差流などの定常流の影響の方が大きいとされており，たとえ流速の絶対値は小さくとも重要である．

ここでは，防波堤が作られる前の地形における残差流を基準にして，現在の水門を閉じた状態および水門を Case-1 の全開にした場合の残差流を比較した．ここで，残差流はベクトルであるので差をどのようにとるかが若干問題であるが，ここでは次式のように残差流の絶対値の差をとった．

$$\Delta\overline{U}=\left|\overline{U}_X\right|-\left|\overline{U}_{Past}\right| \tag{18}$$







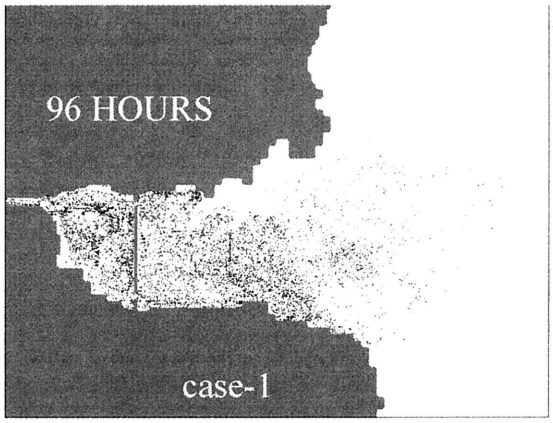
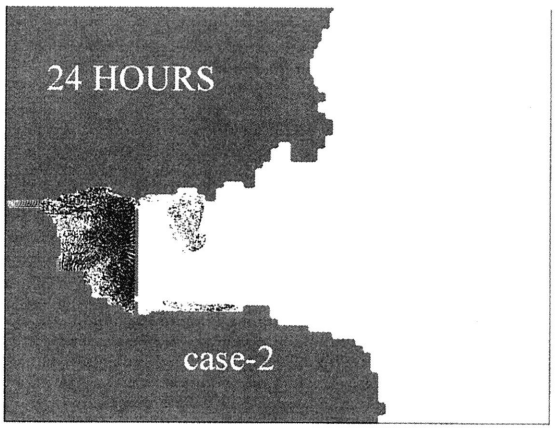
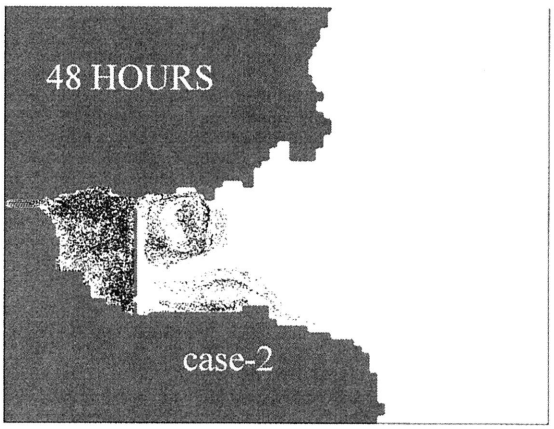
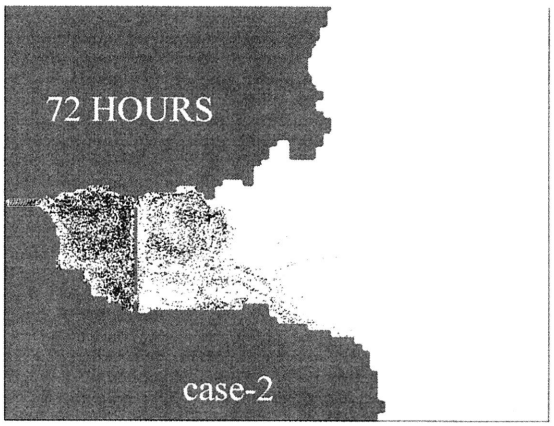


Fig.9 Distribution of particles after 24, 48, 72, 96 hours from opening the gate in Case-1







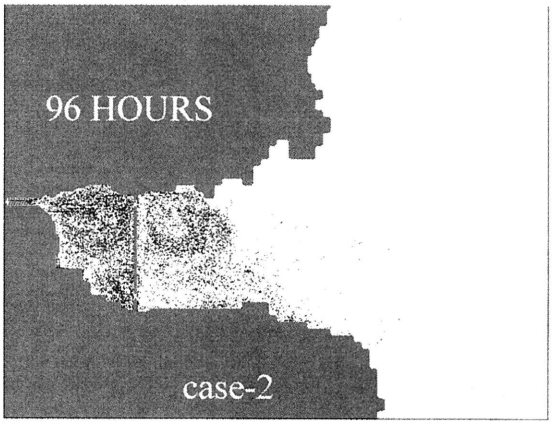


Fig.10 Distribution of particles after 24, 48, 72, 96 hours from opening the gate in Case-2

Fig.13 は，水門が閉まった現在の残差流ベクトルから堤防建設前の残差流ベクトルを差し引いた結果である．島原半島側の諫早湾と有明海の接合部付近では，現在も過去も残差流ベクトル自身は北向きであるが，現在の残差流ベクトルは過去のものに比べて弱くなった結果，残差流の差は南向きになっている．

Fig.14 は現在の残差流の絶対値から過去のそれを差し引いて等高線として示したものである．島原半島側の諫早湾と有明海の接合部付近で負の等高線が表れており，残差流が弱くなっている．その沖には，反対に残差流が大きくなっているところもあるが，絶対値と面積を考えると堤防の建設によって残差流が弱くなったと言えるのではないか，

Fig.15 は，現在の状態で水門を開けた場合の残差流ベクトルを **Fig.13** と同様に過去のそれと比較したものであり，また **Fig.16** は，残差流の絶対値を過去のそれと比較したものである．これらの結果から，水門を開放した場合は，諫早湾の残差流は全域で過去とは全く異なったものになってしまうこと，一方，**Fig.13**，**14** で生じていた有明海における残差流は過去との差がほとんどなくなってしまうことが分かる．

4．まとめ

本研究では，諫早湾の潮受け堤防排水門の開放に伴う流動の予測シミュレーションを行い，水門付近の流速分布，調整池内の交流量・海水交換率・平均滞留時間，調整池から流れ出る海水の拡散シミュレーションおよび有明海北湾の残差流について比較した．おもな結論は以下である．

1．堤防の長さに比べて水門の幅は狭いが，水門全開の場合，水門を通じる交流量はかなり大きい．

2．水門全開の場合の調整池の海水交換は，平均滞留時間が約 **3.5** 日である．また，調整池内の水位を**−1.0m** 以下におさえて水門を開放する場合は約 **7** 日であるが，これは予想以上に短い．

3．調整池から出る海水のうち，南門から出る水は島原半島に沿って流れ，短時間で有明海に達する．

4．堤防建設に伴って残差流が小さくなってしまった海域が諫早湾と有明海の接合部付近にあるが，水門を開けると元に戻る．ただし，諫早湾内では全く新しい流動環境が出現する．

おわりに，今回の流動シミュレーションでは，特に幅 **50m** の南門の表現が不十分であり，河川流量なども考慮していない．また，対象海域が北部有明海に限定されていることも気になるところであり，有明海全体を含んだ計算の必要性を感じている．今後の予定としては，部分的に密でかつ広域にわたる計算が可能なものとして「**MEC** モデル」[3] の **Variable Mesh** によるシミュレーションの適用を試みる予定である．

Table 4 Average residence time

	Case-1	Case-2
á	0.965	0.974
â	0.118	0.062
$\hat{o}_R$ (hour)	84.75	161.30
$\hat{o}_R$ (day)	3.53	6.72

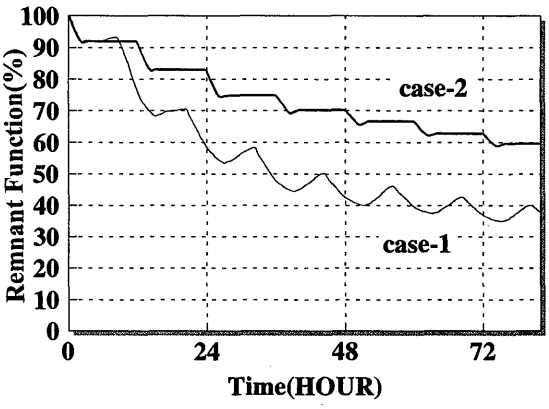


Fig.11 Remnant Functions of Case-1 and Case-2 in

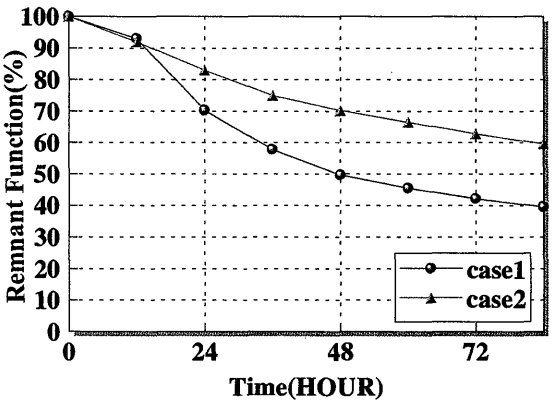


Fig.12 Remnant Functions of Case-1 and Case-2 in every

参考文献

1) 今里哲久，淡路敏之：明石・鳴門海峡を通しての海水交換の数値実験，沿岸海洋研究ノート，第20巻，第1号，19-32，1982.
2) 武岡英隆：沿岸海域の海水交換，沿岸海洋研究ノート，第20巻，第2号，169-182，1984.
3) MECモデルワークショップ(第1回)，日本造船学会海洋環境研究委員会，2000.
あるいは，MEC モデルのユーザー会から download が可能です.
http://mee.k.u-tokyo.ac.jp/mec/model/ug/userhome.html

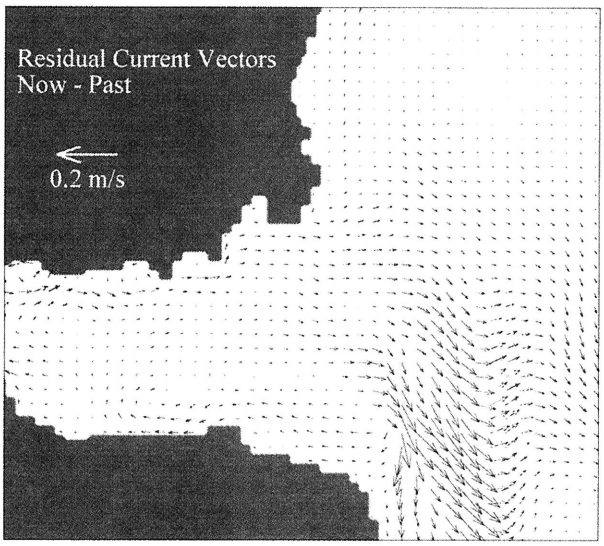


Fig.13 Difference in residual current vectors between "Now and Past"

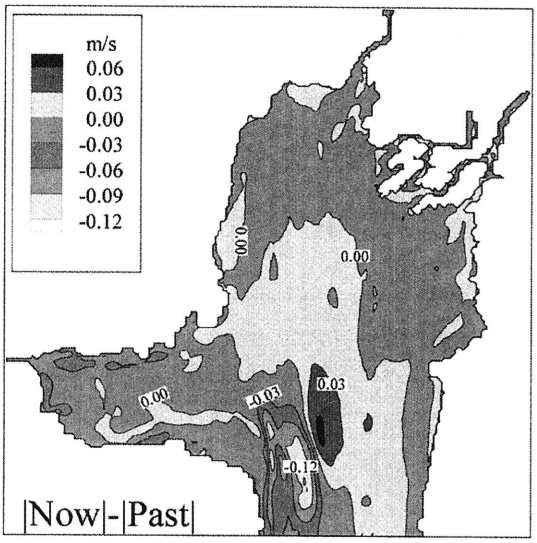


Fig.14 Difference in residual current between "Now and Past"

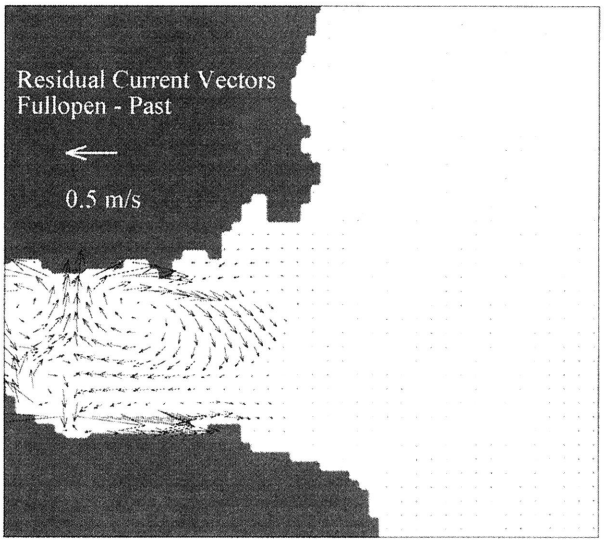


Fig.15 Difference in residual current vectors between "Full-open and Past"

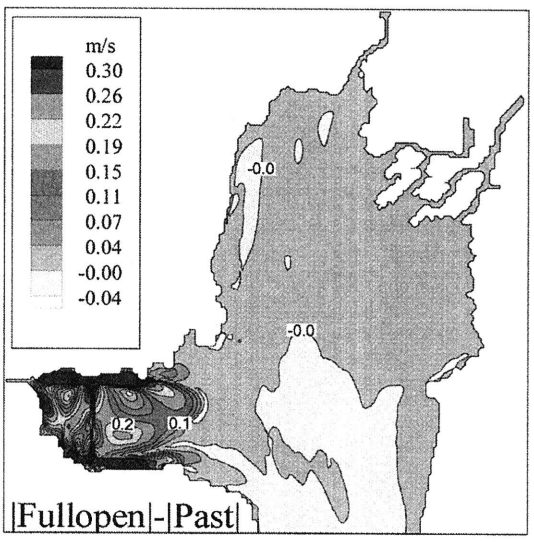


Fig.16 Difference in residual current between "Full-open and Past"