

# 移動境界手法を用いた 潮流シミュレーションに関する研究

## STUDY ON TIDAL CURRENT SIMULATION WITH MOVABLE LAND-SEA BOUNDARY METHOD

増田光一<sup>1</sup>・居駒知樹<sup>2</sup>・大塚文和<sup>3</sup>・小澤宏樹<sup>4</sup>  
Koichi MASUDA, Tomoki IKOMA, Fumikazu OTSUKA and Hiroki OZAWA

<sup>1</sup>工博 日本大学理工学部海洋建築工学科教授 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台七丁目24-1)

<sup>2</sup>工博 日本大学理工学部海洋建築工学科助手 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台七丁目24-1)

<sup>3</sup>工博 三洋テクノマリン株式会社 (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町一丁目3-17)

<sup>4</sup>学生会員 工修 日本大学大学院理工学研究科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台七丁目24-1)

A numerical simulation in estuary including a tidal flat is carried out with the Movable Land-Sea Boundary Method that land boundary changes according to the ebb and flood. We developed a new method controlling two problems, namely, conservation of water mass, tidal curve on shallow water area. By comparison of other two methods, our present method controlled about 1-10% as to conservation of water mass. And tidal curve was expressed naturally without any impact of numerical treatment. Then, we carried out a tidal current simulation for evaluation of flow field in Sanbanze. In Sanbanze, there are some passage that is 5-12m depths and some emergence areas in spring tide. The topography condition is very complicated. Simulation results agreed with current direction in each tidal cycle and the locations of emergence areas. However, the scale of emergence areas was larger a little than observation data, since computational grid was large compared with a spatial scale of the tidal flat. From the above examination, application to the tidal flat of our present method was confirmed.

*Key Words : Estuary, Tidal Current, Tidal Flat, Numerical Simulation, Movable Boundary*

### 1. 緒言

内湾における干潟の存在は、流動や水質、生態系を特徴付ける重要な要素である。干潟を対象とした潮流計算では、潮汐による干出と水没現象を考慮した境界条件が必要となるが、一般にこの種の境界条件は、潮位変化の再現性と計算領域中の水量の保存性に関して問題を残していることが知られている。本研究では過去の手法を調査分析しこれらの問題を極力抑える新たな潮流計算手法を提案する。さらに、新手法を導入した潮流モデルを東京湾の三番瀬に適用し、新手法の実海域への適用性を検討する。

### 2. 既往の移動境界手法

潮汐による海面低下時に、自由表面変位(潮位)が設定水深を下回って水位が負値になると計算が続行不能に陥る。特に干潟のような水深が浅く平坦な地形を計算対象領域に含む場合、干潟域の水没・干出に伴って陸地境界位置を移動させる工夫をモデルに組み込む必要がある。ここでは既往の代表的な移動境界手法について概略を述べる。

#### (1) 干潟域の潮流計算への適用

干潟域の水没・干出現象の再現を試みた代表的な研究としては加藤ら<sup>1)</sup>の研究がある。加藤らの移動境界手法を簡潔に述べる。海面上昇時では、海域内の水位を計算後、その水位を干出状態にある領域へ外挿する方法により水没を再現している(図-1(a))。外挿する水位値は干出領域に接する海域が1つならば直接外挿し、複数ならば平均化した水位値を外挿する。そのとき同時に外挿すべき流速値については、水位自体が外挿値であることから領域間の水面勾配は生じないとして零としている。

海面低下時では、干出を判断する水位として計算された水位より更に0.15m低い仮想的な水位を採用し、これが負値となった場合に陸地境界の移動処理を行う方法をとっている(図-1(b))。仮想水深の導入の理由は1ステップの水位低下により格子の一部で干出が起らないようにする為としている。この仮想水深に基づき水位計算点を中心とし、水深定義点を頂点とした正方形格子の各辺に35種類の境界パターンを与え毎ステップ判定処理を行っている。

同手法を用いた研究は数例あり、境界移動処理の判定アルゴリズムを簡略化し計算時間の短縮を図った経塚ら<sup>2)</sup>の研究では、一部の干出領域において低

潮時の潮位曲線に振動が生じるとし、これは境界移動時の判別処理がクリティカルに行われるために生じると報告している。また岡本ら<sup>3)</sup>は加藤らの移動境界手法を有明海に適用し、移動境界手法を用いない場合に比べ潮流の再現性が向上した報告している。

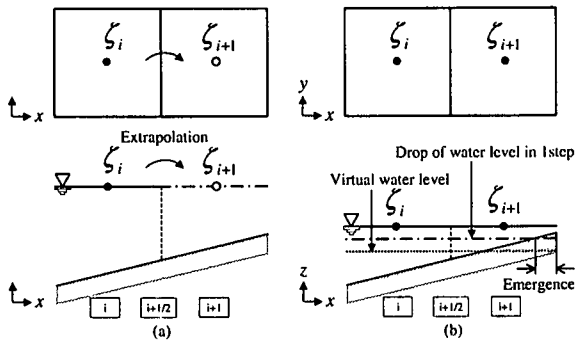


図-1 水位外挿と仮想水深による干出判定

## (2) 津波遡上計算への適用

加藤らとほぼ同時期に津波の陸上への遡上を考慮する計算手法を岩崎ら<sup>4)</sup>が提案している。この手法はその後、小谷ら<sup>5)</sup>により遡上時の線流量計算方法を改良され、磯部ら<sup>6)</sup>は引き波時の水量の連続性の問題を指摘している。津波が沿岸に来襲し陸上へ遡上していく過程は、乾いた領域に海水が浸入し計算領域が拡大していくという点で干潟水没時の現象と似ているが、津波のような大きな波エネルギーを持った波が押し寄せる現象と干潟のような準静的に水位が昇降するような現象では移動境界処理に当然違いがある。

図-2に小谷らの遡上計算手法の模式図を示す。図のように津波遡上計算では一般に底面を階差的に表現される<sup>7)</sup>。遡上時には加藤らの手法で用いられた水位外挿処理ではなく、図-2(b)に示すように格子辺を横切る線流量を計算する手法をとっている。この線流量計算に用いる水位については遡上格子 $i+1$ の水深値と海域格子 $i$ のうち浅い方の水深値を用いている。

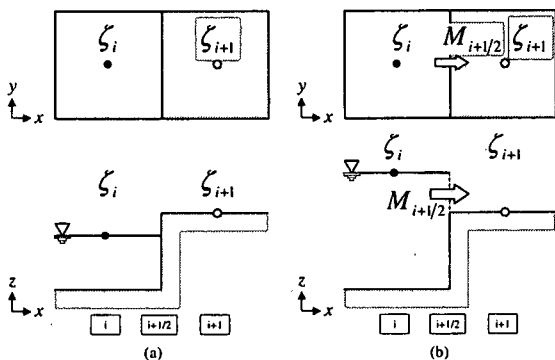


図-2 波の遡上過程のモデル化

## 3. 干潟域に適した移動境界手法の提案

### (1) 既往の移動境界手法の問題点

加藤らの手法では水没現象を簡便に水位の外挿処

理によって再現を試みているが、外挿先の領域の選定には流速や流向といった動的な物理的要素が考慮されていない。また外挿先の干出領域が1つの場合を除き、外挿水位は数点の平均値であるため外挿元と外挿先の水位計算点の間には水面勾配が生じ厳密には流速の外挿値は零にならない。また、干出の判定は仮想水深に基づき水深定義点を頂点とした計算格子毎に行うため、2つの水位計算点間の海底勾配が増大するほど水量の連続性を保つことが難しくなるといった問題がある。

一方、小谷らに代表される遡上計算手法では、水位や流速といった物理量は外挿によらず支配方程式によって計算することで動的な水塊の移動が解かれている。しかしながら階段状に表現された海底地形では、図-2(b)に示すように遡上水塊の線流量を計算した直後に水位計算が行われることになり、 $i+1/2$ 点と $i$ 点の間で水塊の移動時間が単位計算ステップの時間と等しくなるといった問題がある。また、この手法の緩勾配斜面である干潟域への適用は、階段状の海底地形が流況を著しく変化させると考えられるため問題となる。

### (2) 問題点の改善策

前節に述べた問題点の主な原因としては、水没(遡上)や干出の判断を計算格子単位で行っていることが考えられる。これにより線流量計算点と水位計算点の間の水の移動時間が正当に考慮されず、結果的に水量の連続性や潮位曲線の再現性といった問題に大きく関わっていると考えられる。従って、計算格子単位毎という概念ではなく線流量及び水位の計算点毎に水没、干出の判断を独立して行うことを考える。これらの判断には計算点毎の水位が必要となるが線流量計算点の水深値は水深定義点からの単純平均を用いる。

### (3) 新手法による移動境界処理

本手法による移動境界処理に必要な情報は各計算点における水位のみである。下げ潮から干出に至る過程では任意の計算点の水位が予め設定した閾値を下まわった場合には、その計算点を非計算点として一時的に計算ルーチンから除く。上げ潮から水没に至る過程では最も近い計算点の潮位と干出している計算点の水深より水位を算定し、閾値を上まわった場合に通常の計算点に戻す処理を行う。

図-3に本手法による水没過程の模式図を示す。図-3(a)は潮位計算点 $i$ を中心とした正方形格子は水没状態であり陸域境界は丁度 $i+1/2$ に位置している。一方、隣接する格子は乾いている状態である。(a)の状態では $M_{i+1/2}$ 及び $\zeta_i$ が計算されるが、この計算に必要な $M_{i+1/2}$ は移動境界処理により非計算点として扱われているため零である。図-3(b)は数ステップ後の状態を示している。線流量計算点 $i+1/2$ に水が遡上しているが先端は潮位計算点 $i+1$ には到達していないため、このステップでは $\zeta_{i+1}$ は非計算点である。

$M_{i+1/2}$ の計算では $\zeta_i$ から水先端までの区間では潮汐の準静的な運動特性より水面勾配は微小であるとし $\partial\zeta/\partial x=0$ として近似する。このとき $i+1/2$ 点の水位は $\zeta_i$ と平均水面下の水深 $H_{i+1/2}$ より決定する。 $H_{i+1/2}$ は $H_i$ 及び $H_{i+1}$ の平均値である。 $M_{i+3/2}$ は(a)における $M_{i+1/2}$ 同様零となっている。図-3(c)は $i+1$ 点と $i+3/2$ 点に陸域境界が移動した状態である。(b)において $\partial\zeta/\partial x=0$ として扱った $M_{i+1/2}$ を計算するための圧力項は(c)の状態では通常の手順によって計算される。 $\zeta_{i+1}$ はこのステップで計算点となる $M_{i+3/2}$ は零である。図-3(d)は $i+3/2$ より右側に陸域境界が移動した状態で、 $M_{i+1/2}$ 、 $\zeta_{i+1}$ の計算に必要な物理量は全て海域に存在している。下げ潮から干出に至る過程はこれと同様に逆の処理を行う。このような移動境界処理により干潟域における緩やかな海面の昇降を再現する。

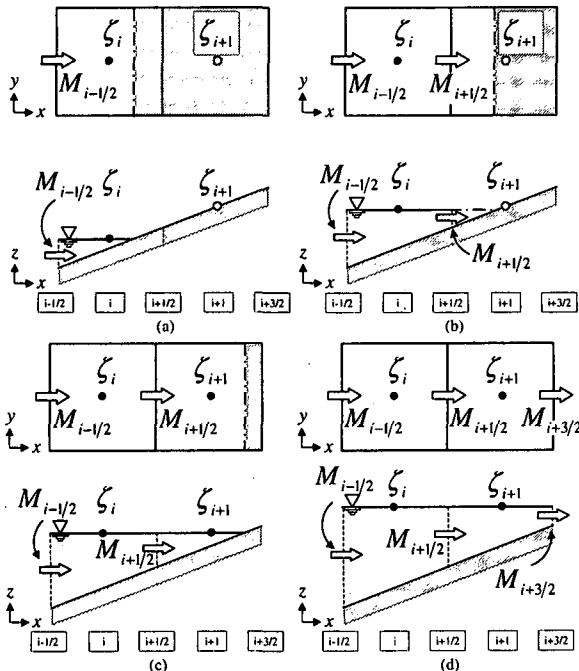


図-3 新手法による水没過程の概念図

#### 4. 矩形湾における各手法の比較計算

##### (1) 既往の移動境界手法の構築

既往の研究における流動場の数値モデルは、本研究の潮流計算モデルと基礎方程式や差分スキーム、変数配置の点で異なることから完全に同一の手法を再現することは困難である。従って既往の手法の特徴を取り入れ簡略化した移動境界手法を作成する。加藤らの方法については、計算格子単位で水位外挿による水没と仮想水深に基づく干出を考慮し、この手法をMethod-1とする。小谷らの手法は階段状の海底地形の導入および計算格子単位での水没と干出を考慮し、この手法をMethod-2とする。

##### (2) 検討ケース

著者らが提案する移動境界手法 (Method-3) の妥当性を検討するために、一様勾配斜路における

Method-1, Method-2との比較計算を行う。検討内容は次の3点である。

- ・ 時系列潮位曲線についての比較検討
- ・ 水量の連続性についての比較検討
- ・ 水位減少に伴う流速の非線形性の比較検討とした。水位の閾値はMethod-1では仮想水深として0.05m, Method-2, 3では0.001mとした。勾配の設定については我が国の現存干潟の平均勾配である1/300~三番瀬の勾配1/1000の範囲を参考にした。

##### (3) 潮流の基礎方程式

潮流は非圧縮粘性流体の運動方程式と連続の式を水深方向に積分した準三次元多層位モデル<sup>8)</sup>の基礎方程式によって解く。以下に基礎方程式(1)~(3)式を示す。基礎方程式の離散化は差分法を用い、時間項について陽解法、空間項は中央差分を用いた。ただし移流項については上流差分を適用した。

・ 連続の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = w_1 - \frac{\partial M_1}{\partial x} - \frac{\partial N_1}{\partial y}$$

$$w_{k-1} = w_k - \frac{\partial M_k}{\partial x} - \frac{\partial N_k}{\partial y} \quad (k=2,3,\dots,K) \quad (1)$$

$w_K = 0$

・ 運動方程式 [x方向]

$$\frac{\partial M_k}{\partial t} = -u \frac{\partial M_k}{\partial x} - v \frac{\partial M_k}{\partial y} - (uw) \Big|_{z=-H_{i-1}} + (uw) \Big|_{z=-H_i}$$

$$+ fN_k + \frac{h_k}{\rho_k} \left\{ [\bar{P}_x]_k - \frac{1}{2} g h_k \frac{\partial \rho_k}{\partial x} \right\} + A_x \frac{\partial^2 M_k}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 M_k}{\partial y^2} + \frac{1}{\rho} \tau_x^{k-1} - \frac{1}{\rho} \tau_x^{k+1} \quad (2)$$

・ 運動方程式 [y方向]

$$\frac{\partial N_k}{\partial t} = -u \frac{\partial N_k}{\partial x} - v \frac{\partial N_k}{\partial y} - (vw) \Big|_{z=-H_{i-1}} + (vw) \Big|_{z=-H_i}$$

$$- fM_k + \frac{h_k}{\rho_k} \left\{ [\bar{P}_y]_k - \frac{1}{2} g h_k \frac{\partial \rho_k}{\partial y} \right\} + A_x \frac{\partial^2 N_k}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 N_k}{\partial y^2} + \frac{1}{\rho} \tau_y^{k-1} - \frac{1}{\rho} \tau_y^{k+1} \quad (3)$$

運動方程式の圧力項中の $[\bar{P}_x]_k$ については、

$$\left\{ \begin{aligned} [\bar{P}_x]_1 &= -\frac{\partial P_A}{\partial x} - \rho_1 g \frac{\partial \zeta}{\partial x} & (k=1) \\ [\bar{P}_x]_k &= [\bar{P}_x]_{k-1} - g h_{k-1} \frac{\partial \rho_{k-1}}{\partial x} & (k \geq 2) \end{aligned} \right.$$

と定義する。 $y$ 方向についても同様である。ここで、 $\zeta$ は自由表面変位、 $M, N$ は線流量成分、 $u, v, w$ は流速成分、 $f$ はコリオリパラメータ、 $h$ は層厚、 $H$ は水深、 $\rho$ は海水密度でknudsen式<sup>9)</sup>によって解く。 $A$ は水平渦動粘性係数、 $P_A$ は大気圧、 $\tau$ は境界面に働く剪断応力で表層では風応力、層間では内部摩擦応力、最下層では海底摩擦応力である。

##### (4) 結果

###### a) 時系列潮位曲線についての比較検討

図-4, 図-5に各手法による干出, 水没時の潮位変化を示す。勾配の違いによる顕著な差はみられなかったので1/1000の結果を載せる。図-4よりMethod-1では潮位-0.15mから干出処理が始まっており比較的大きな仮想水深を設定した影響が明瞭に現れている。また処理に伴う若干の振動もみられた。

Method-2では潮位-0.11m付近から水面の低下が徐々に緩やかになり、水位が下がりきらない間に干出となった。階段状の海底地形では潮位計算点間の水面勾配の大きさによっては線流量計算点が露出することが原因である。図-5よりMethod-1, 2では仮想水深または閾値を超えた直後に水没が始まっているが、水没後ある程度の時間は緩やかな水面上昇がみられる。これはMethod-1, 2とも水没時の処理において線流量および流速が予め零に設定されていることが関係している。これらの手法に比べ、Method-3では、干出、水没付近のいずれの潮位変化においても人工的な移動境界処理の影響がみえず、スムーズな潮位変化を再現することができている。

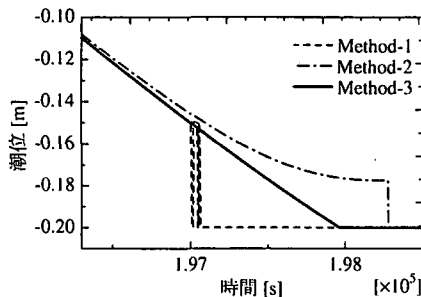


図-4 干出時の潮位曲線の比較

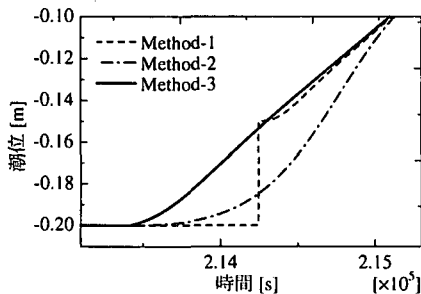


図-5 水没時の潮位曲線の比較

#### b) 水量の連続性についての比較検討

図-6にMethod-3を基準とした場合のMethod-1, Method-2との1潮汐周期間の開境界における流量収支の相対誤差を示す。境界移動に伴う流量の相対誤差はMethod-3がいずれの手法よりも低く抑えられていることを示しており、水量の連続性を保つ面での優位性を確認できる。

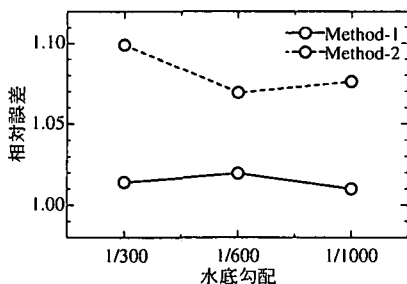


図-6 開境界における流量収支の相対誤差

#### c) 水位減少に伴う流速の非線形性の比較検討

図-7に水深0.25mの流速計算点におけるMethod-3に対する2手法の最大流速値の比率を、海底摩擦係

数を一定としたケースa, 水位に依存させたケースbについて検討した。Method-1はMethod-3に比べ干出時に60%程度、水没時に70%程度の最大流速であった。Method-3の閾値はMethod-1の1/50であるがこのような微小水位でも平均して65%程度の増速に収まった。Method-2では、干出時と水没時で流速が大きくばらついた。干出時はMethod-3と同程度であるのに対し、水没時は85%の増速であった。また、いずれの手法とも海底摩擦係数を水位依存とした場合では15%程度の減速となった。Method-3では干出、水没時ともに最大流速値は $0.10\text{ms}^{-1}$ 程度であったがこのうち非線形影響が含まれている割合は明確に把握できないが、他手法と比較から許容される範疇であると考えられる。

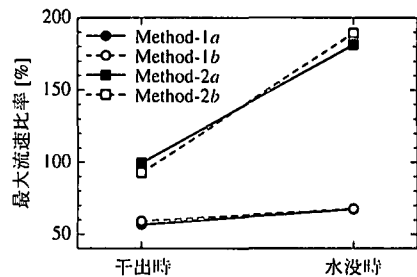


図-7 干出・水没時の最大流速の比率

### 5. 三番瀬における流動解析

#### (1) 三番瀬の流動特性に関する既往の知見

三番瀬海域の既往の調査<sup>9)</sup>によると、三番瀬では次のような流動特性が観察できると報告している。

- ・ 上げ潮時に沖合から岸に向かって浅海域内に海水が流入し、下げ潮時に浅海域から沖合に向かって出て行くパターンであり、市川航路にほぼ平行な岸-沖方向の流れが中心となっている。
- ・ 海岸域においては岸に平行な流れが卓越するのが普通であるが、三番瀬では東側、西側ともに埋立地で囲まれており、このような流れはほとんどみられない。
- ・ 数値シミュレーションより、夏季の三番瀬では流速は上げ潮時、下げ潮時ともに浅海域の奥部ほど遅く、特に猫実川河口から市川市の護岸沿いおよび船橋海浜公園前において最も遅くなっている。一方、浅海域南部では流速が速く、特に浦安市の埋立地突端は三番瀬内で最も速い所となっている。

また、流動に影響を与える沿岸波浪に関する知見としては、

- ・ 浅海域南端の砂堆から斜面上部にかけては碎波帯となっており、この部分では波浪の影響が大きい。しかし、沖からの波浪がこの部分において碎波し、減衰することによって陸側には波浪の影響の比較的小さい静穏域が形成されている。また、三番瀬における波浪は、南南西方向からのものが大きい、浅海域西部の市川側奥部はこの方向からの波高に対して浦安市埋立地の陰になっている。このため、この海域では波浪に

よる影響が三番瀬内で最も小さくなっている。と述べられている。以上の知見から得られた三番瀬の流動の特徴を表わす模式図を図-8に示す。

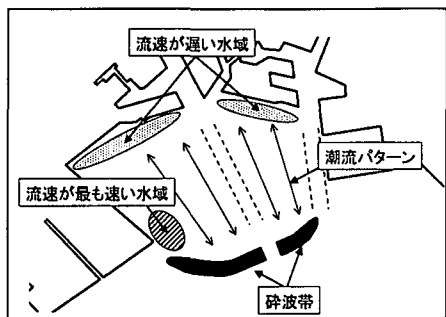


図-8 三番瀬における流動の概況

## (2) 潮流シミュレーション

三番瀬海域の平均大潮期の流場における干出、水没現象、数点での潮位変化に焦点を当てるため、単層モデルによる順圧的な流動場の解析を行った。計算領域は間口～保田以北の東京湾全域とした。計算領域を図-9に示す。東京湾では主に $M_2$ 分潮成分が卓越するが、単分潮の計算では干出、水没領域の再現が難しいため、外力としては実際の潮位を入力することが望ましい。一般に潮汐推算には数多くの分潮の調和定数が必要となるが、これらは験潮所によって解析されている数が異なることから、本計算では利用可能な6分潮 (O1, P1, K1, M2, S2, K2) を開境界で与えた<sup>10)</sup>。ただし、保田には験潮所が設置されていないため最も近い岩井袋の値を参照した。また、水深データは基本的に海上保安庁刊行の海図および海の基本図をもとに作成したが干潟域のデータは記載されていないため、三番瀬の水深についてはアセスメント資料<sup>8)</sup>を参考にした。計算に用いた各パラメータを表-1に示す。尚、移動境界処理で用いる水位の閾値は計算の安定性を考慮して0.02mとした。

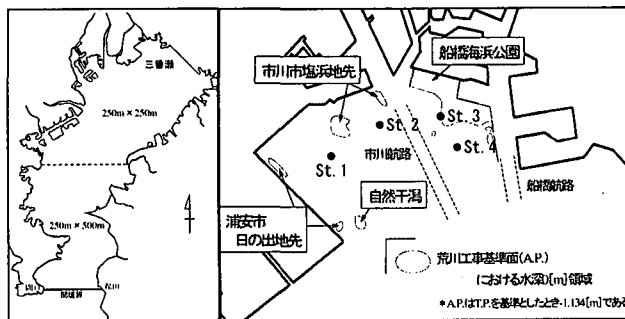


図-9 計算領域 図-10 三番瀬の大潮期の主な干出域

表-1 計算パラメータ

パラメータ	値	説明
$\Delta t$	2.0sec	タイムステップ
$\Delta x$	250m	水平格子間隔
$\Delta y$	250~500m	
$f$	$8.446 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$	コリオリ係数
$A_H$	格子規模の4/3乗に比例	水平渦動粘性係数
$\gamma_s$	0.0013	海面摩擦係数
$\gamma_b$	0.0026	海底摩擦係数

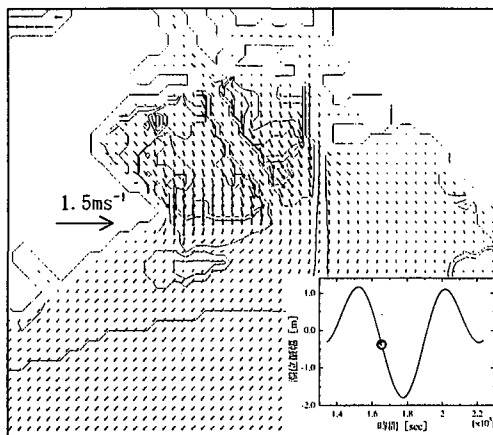


図-11 流況ベクトル [下げ潮時]

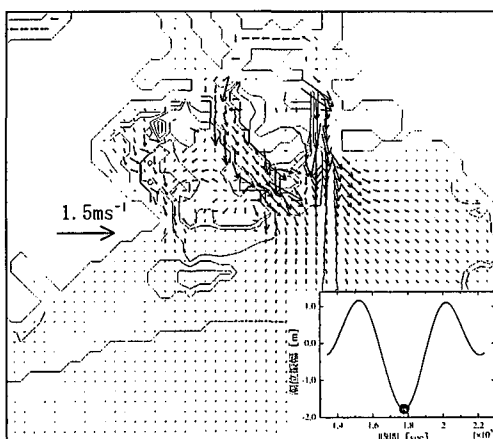


図-12 流況ベクトル [干潮時]

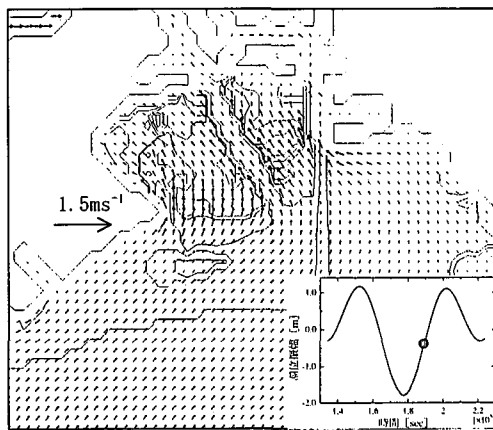


図-13 流況ベクトル [上げ潮時]

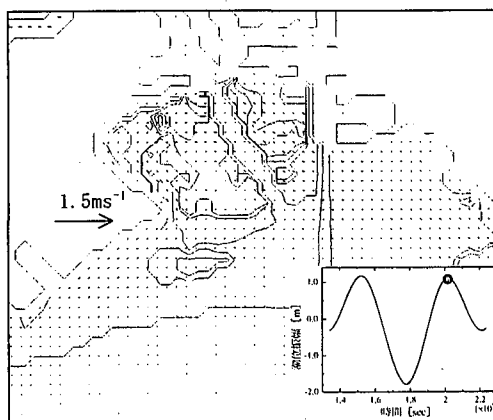


図-14 流況ベクトル [満潮時]

### (3) シミュレーション結果

三番瀬沖の1点での下げ潮から満潮に至る各潮位における流況ベクトルを図-11~14に示す。図中のコンターは水深を示す。図-11と図-13より潮流の流向は既往の知見と同様に岸一沖方向が卓越した。流速は両図とも三番瀬奥部で最も小さくおよそ $0.10\text{ms}^{-1}$ 以下、水深が著しく増大する砕波帯付近において大きく $0.20\sim 0.30\text{ms}^{-1}$ となった。既往の数値シミュレーション結果で最も流速が大きくなると指摘された浦安市埋立地突端については本計算においても概ね事実は一致しているが市川航路南端付近の流速も同程度であった。図-12に示す干潮時の流況では、船橋海浜公園の前面および沖側で大きな干出域が形成され干出せずに残った領域が数箇所みられる。このような「水溜り」は移動境界処理で強制的に陸地化することも可能であるが、三番瀬のように海底地形が起伏に富んでいる場合、実際に「水溜り」ができるので陸地化処理は導入していない。また2つの航路に沿って南向きの流速が大きくなっており、局所的に $1.5\text{ms}^{-1}$ 近くの流速もみられた。これらは浅海部と市川、船橋両航路（各水深7m, 12m）の境界で起きる水位低下による鉛直断面の減少および水面勾配や線流量のバランスで生じると考えられる。さらに底面摩擦係数を水深に関わらず一定値としたことも関係していると考えられる。

主な干出領域は図-10に示す船橋海浜公園の前面海域およびその沖一帯、市川市塩浜地先（放水路河口付近、人工干潟）、浦安市日の出地先（埋立地突端、猫実川河口付近）、西側南端の自然干潟である。図-12における多くの地点では図-10と同様の干出規模を再現できていると考えられるが、船橋海浜公園沖ではかなり広く干出域が形成された。これは計算格子規模がやや粗く海底地形を詳細に解像しきれていないことが原因である。図-15~18にSt. 1~4の潮位曲線を示す。低潮付近における潮位低下の鈍りや完全に干出に至らない様子がみられ、複雑な海底地形とそれに釣り合う線流量バランスの影響を受けていることが推察されるが、概ね自然な潮位変化が再現されていると思われる。

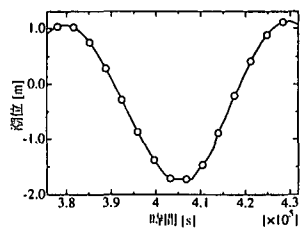


図-15 潮位曲線 [St. 1]

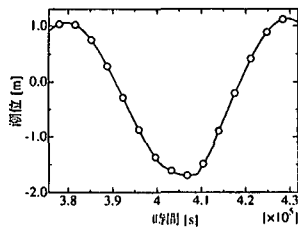


図-16 潮位曲線 [St. 2]

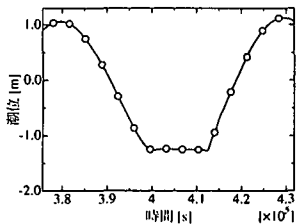


図-17 潮位曲線 [St. 3]

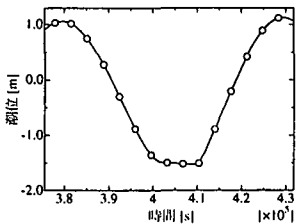


図-18 潮位曲線 [St. 4]

## 6. 結言

既往の移動境界手法の調査、干潟域に適した新たな手法を提案および比較計算を行った結果、次の結論を得た。

- 本手法は境界移動に伴う流量収支の相対誤差が最も小さく、水量の不連続性を最小限に抑える面で優れている。
- 本手法では潮位、線流量の各計算点において干出と水没の判定を行うことにより、自然な潮位曲線を再現することが可能である。
- 本手法は水位の外挿等を行わないため、境界設定に用いる膨大な境界パターンを考える必要がなく、プログラミングが容易である。

また、三番瀬を対象とした流動解析では、提案した移動境界手法を用いた潮流シミュレーションを行ったことにより、三番瀬の流動特性および干出領域の規模や位置等が定性的に再現できたことから、本手法の実海域への適用性を確認した。今後は、密度流計算等も含め、より定量的な流動場の解析を行っていく。

### 参考文献

- 1) 加藤一正, 田中則夫, 灘岡和夫: 干潟上の潮流計算および干潟変形予測の手法, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 11-14, 1972. 12.
- 2) 経塚雄策, 川浪健治: 干潟を考慮した有明海の潮流解析, 西部造船会々報, 第86号, pp. 134-141, 1993. 5.
- 3) 岡本強一, 森岡 豊, 佐久田昌昭: 移動・無反射境界を用いた海水流動の数値シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第531号, pp. 197-204, 2000. 5.
- 4) 岩崎敏夫, 真野 明: オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 70-71, 1979.
- 5) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-357, 1998.
- 6) 磯部雅彦, 藤城 透: ベンガル湾奥における高潮遡上計算, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 346-347, 1997.
- 7) 首藤伸夫: 津波の数値計算, 土木学会論文集, No. 411/II-12, pp. 20-21, 1989.
- 8) 中田喜三郎, 堀口文男, 田口浩一, 瀬戸口泰史: 追波湾の三次元潮流シミュレーション, 公害資源研究所彙報, 第12巻, 第3号, pp. 17-36, 昭和58年
- 9) 千葉県土木部, 企業庁: 市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について, 平成10年9月
- 10) 海上保安庁水路部: 日本沿岸潮汐調和定数表, 巻誌第742号, pp. 133-137, 平成4年2月