

財電力中央研究所 正員 水島 雅文

同上 正員 角湯 正剛

1. はじめに

鉛直方向の加速度を無視した平面二次元流れの数値解析手法については、これまで多くの研究結果が報告されているが、非常に浅い水域、例えば干潟などの発達している所では、汀線が時間的に移動するため、その取扱いがむずかしく、一般にはある一定の水深の所を境界として、汀線を固定させる方法がとられる。しかし、干潟を有する海域での環境問題も考える上では、干潟での流れをシミュレートすることは、不可欠な要因である。岩佐らは先に破壊による河川の氾濫現象解析のため、汀線の移動する一つの数値モデルを考案したが、本報では潮流の卓越した干潟を有する簡単な内湾モデルを設定し、前述の数値モデルを応用して潮流のシミュレーションを実施し、従来の汀線を固定した場合の計算結果と比較検討し、本モデルの干潟を有する海域での潮流解析への適用性について報告するものである。

2. 解析モデルの概要

(1) 基礎式：基礎式としては、流体力学的な基礎式を水深方向に積分した次式を用いる。

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) = -gh \frac{\partial S}{\partial x} + \mu \nabla^2 M - \frac{gm^2 U \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{3/2}} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial S}{\partial y} + \mu \nabla^2 N - \frac{gm^2 V \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{3/2}} \quad \dots (2)$$

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots (3)$$

$$\text{ただし、} M = U \cdot h = \int_0^h u \, dz, \quad N = V \cdot h = \int_0^h v \, dz,$$

μ : 渦動粘性係数, m : マニングの粗度係数で、今回の計算では、 $\mu = 10 \text{ m}^2/\text{s}$, $m = 0.03$ とした。

(2) 干潟域における取扱い：汀線付近の流れを厳密に取扱うことはきわめてむずかしい問題である。本モデルは流れの場を巨視的にとらえることを目的としているため、汀線付近のみ複雑な取扱いをすることはモデル全体のバランスを考慮して適当ではない。岩佐・井上・水島は汀線付近での取扱いとして、次のような方法をとっており、本報でもこの方法を用いた。今、ある微小な水深 ε を基準値として設定し、

(i) 周囲の水位より地盤の高い格子において、1つ前の時間ステップでの格子の水深が ε 以下であれば、その格子の流入は0とする。

(ii) 水深が ε 以下の格子から流出する流量フラックスが計算された場合には、この流量フラックスを0に置換える。

(iii) 計算された水深が負となった場合は、0で置換える。

今回の解析では、 ε の値を幾々のケースについて試算したが、 $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$

とした場合に安定な解を得た。 ε の値は、地形条件、格子の大きさなどにより、適切な値が決まり、解の安定性に直接関係する因子であると考えられる。

(3) 計算条件：対象とするモデルは図-1に示すような湾奥に干潟を有する奥行約2.5km、幅約1kmの細長い内湾である。中央の境界条件としては、図中の潮位設定境界において、潮位差1mの半日周期の潮位を与えた。汀線を固定させる場合の湾奥の境界は図中の一点鎖線で示す箇所とした。その他の計算条件は表-1に示すとおりである。なお、差分法はLax-Wendroff法を用いた。

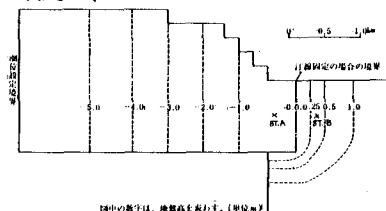


図-1 内湾モデル

ケース番号	湾奥系(ΔSm)	汀線条件
I	100	移動
II	50	移動
III	100	固定

表-1 計算条件

3. 計算結果

図-2は、満潮後2時間の前記3ケースの流速平面分布をベクトル表示したものである。ケースⅢとケースⅠ、Ⅱを比較すると、両者の間の流速値の差は、湾奥ほど大きくなる、といことがわかる。汀線を固定した場合、湾奥の境界条件の影響により、境界付近の流速が0に近づくためである。ケースⅠおよびⅡの干潟域での流況に注目すると、両者にはあまり大きな差異はなく、ともに地形条件に従った妥当な流れをしていると判断できる。

図-3は、図-1中に示したST.Aでの流速の時間的変化を表わしたものである。この地点では、汀線を固定した場合に境界の影響により、比較的流速値が小さく、また、流速値と潮位のピークの出現時間にずれが生じている。それに対し、汀線の移動を考慮した場合は、前者に比べ、約2倍の最大流速値を示すとともに、流速値のピークの出現時間にもずれはほとんどなくなる。しかし、100m格子の場合、上げ潮時に流速値の振動がみられるが、格子をさらに50m格子に細かく分割すると、この上げ潮時の値の振動は緩和され、比較的なめらかな正弦波を示す。この点は、図-4に示す干潟内のST.Bにおける流速変化にさらに顕著に現われている。100m格子の場合、上げ潮時の流速値の振動はあまり大きく、このような汀線付近での流速値の変動が上流部にも影響をおよぼしていると思われる。これは、汀線付近での数値計算上取り扱いに、若干不連続な要素が含まれているためであると考えられる。この問題を解消するためには、汀線付近では他の領域よりも細かい格子群に分割する必要があることが、50m格子での計算結果より、わかる。

図-1中の一点鎖線より右側の領域を干潟域と定義し、ある時間からの干潟内の全水量の変化分(DV)と、その時間までの干潟域への全流入量(DT)の差と、満潮時における干潟域での全水量(V_{max})との比($R = \frac{DT-DV}{V_{max}}$)の時間的変化をみると図-5のようになる。これは、干潟域での計算上生ずる水量の誤差をみる一つの指標とするものである。Rは、100m格子の場合約1.25%、50m格子の場合約0.5%程度であり、両ケースともほぼ水量の連続性は保たれていると考えられるが、やはり50m格子のものが連続性の点からよりすぐれているといえる。

4. おわりに

本報に示した結果より、本モデルを干潟を有する海域での潮流解析に十分適用することとできると考えられるが、今後は実際の海域へ適用し、現地観測値との適合性について十分検討する必要がある。また、本モデルの熱拡散などの問題への適用についてもあわせて今後の課題として挙げられよう。

<参考文献>

1) 岩佐・井上・水島：二次元環水水理の数値解析法について、第4回年講、1979。

← 汀線の移動する場合($\Delta S = 50m$)
 ← 汀線の移動する場合($\Delta S = 100m$)
 ← 汀線を固定した場合

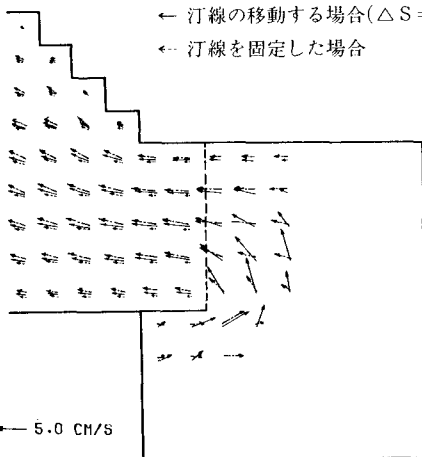


図-2 流速ベクトル図

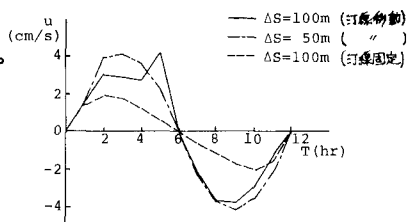


図-3 流速-時間曲線(ST.A)

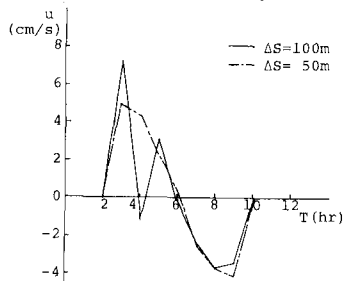


図-4 流速-時間曲線(ST.B)

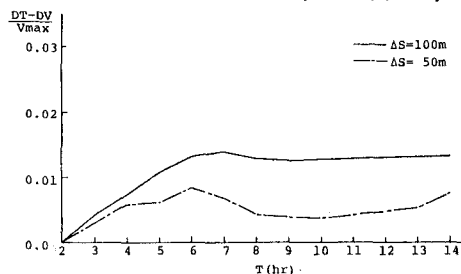


図-5 連続性の検証