傾斜水路模型における二次元重み付差分法による潮流解析

九州産業大学　学員 ○ 安武　徹　　東和大学　正員　空閑幸雄
九州産業大学　正員　加納正道　　九州産業大学　中村直史
九州産業大学　正員　赤坂順三

1. まえがき

我々の研究室では、実海域の潮流解析に重み付差分法を適応させることを目標に、今津湾模型及びこれを理想化した傾斜水路模型において、重み付差分法を用いた潮流解析を行った。[文献1] に示す今津湾模型の解析結果は格子と交差する流速成分が実流速より小さく計算されていた。そこで筆者らは現象が一次元で比較的取り扱いやすい傾斜水路模型解析において、[文献2] で示したように今津湾等の実海域により近い条件で様々な解析を行った。

本研究では、今津湾模型等の実海域の潮流解析に重み付差分法を適応させる際に課題となる境界条件等を考慮し、更に時間ステップを比較的大きくできる陰形式を用いて解析を行った。

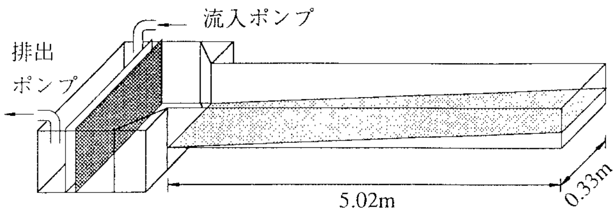

図1　傾斜水路模型実験装置

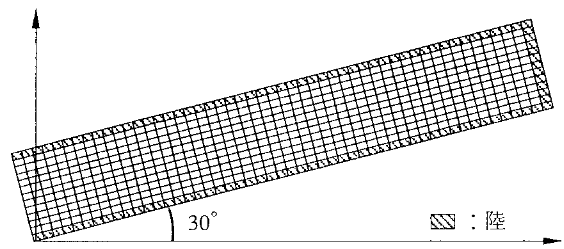

図2　傾斜水路格子分割図

2. 傾斜水路模型装置

今津湾を理想化した傾斜水路模型装置を図1に示す。この装置は幅0.33 m、長さ5.03 mの水路に海域の平均底面勾配を想定した1/25の傾斜をつけ、潮汐変動は2台のポンプの流出入量を時間変化で与える。1周期の潮汐変化時間は今津湾模型の相似率と同じ450secである。また、格子間に海と陸の境界を与え図2に示す。

3. 基礎方程式および解析方法

潮流の基礎方程式は二次元浅海流方程式 (1)、(2) および連続の式 (3) を用いる。式中における $M=U(h+\zeta)$、$N=V(h+\zeta)$ は各々X,Y方向の平均流速、ζ は平均水面(H)からの水面の高さ、gは重力の加速度、γ_b は水底における摩擦係数、ε は渦動粘性係数であり、コリオリ力及び粘性項は無視している。

解析方法をX方向のMに関して示すと以下の通りである。式 (4) は前の時間のMを与える既知項とする。式 (1) の右辺は求めるMを含むが、式 (4) と同様に前の時間のMを与えると、Mとは独立に求められる非同次項とみなし、式 (5) の非同次形の浅海流方程式とみなすことができる。

式 (5) を重み付差分法で解くために、まず右辺Fを0として得られる同次形浅海流方程式を図3に示す重み a_1 ～ a_3 の陰形式差分モデルを用いて同次形重み付差分式 (6) が得られる。式 (6) の重み a_1 ～ a_3 は同次形浅海流方程式を満足する多項式 (7) において、$r=0$ ～ 2とおいて得られるMの値

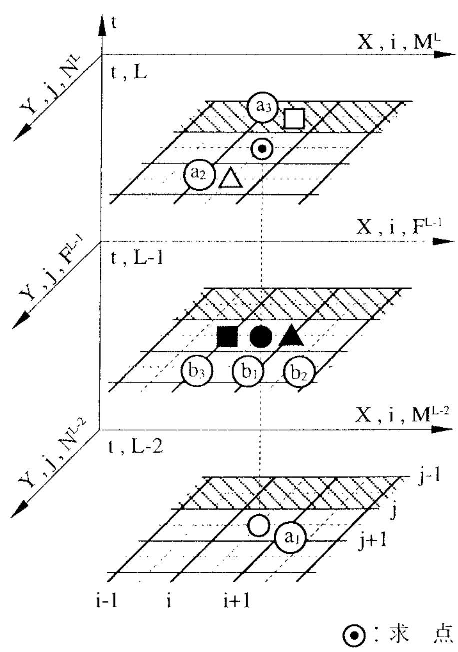

図3　多段階陰形式重み付差分モデル

を同次形重み付差分式(6)に代入して得られる連立方程式(8)を解くことで得られる。次に式(5)の右辺Fを0としない非同次形浅海流方程式を満足するように、図3に示す重みa_1～a_3、b_1～b_3の多段階陰形式差分モデルを用いて非同次形重み付差分式(9)が得られる。式(9)の重みb_1～b_3は式(5)を満たすM_LとF_Lを組み合わせた多項式(10)においてL=1～3とおいて得られるM、Fの値と式(8)から求めたa_1～a_3を式(9)に代入して得られる連立方程式(本報では省略)を解くことで得られる。

以上の手順から、Mに関する浅海流方程式解析用の重み付差分式(9)が定まる。連続の式については式(3)より展開した従来の差分法で解く。

4. 境界条件

連続の式(3)において境界上のζ、M、Nは0、X方向の運動方程式(1)に関しては境界に対する法線方向の実流速を0と考え虚像原理を使い、Y方向の運動方程式(2)に関しては右辺の非同次項を0とした同次形で解析を行っている。

5. 解析結果の検討

傾斜水路模型解析解及び実験による流速ベクトルを図4に示す。今回の境界を考慮した二次元での解析結果は、一次元よりも実験解を精度よく再現している。

6. むすび

これまで一次元として取り扱っていた傾斜水路模型解析における、微小な潮位、流速の差も重み付差分法によって表現することが可能であることを示した。これによって実海域での解析における、高精度な解析も期待できるであろう。

今後は、重み付差分法を今津湾模型解析に適応させ、更に様々な海域の潮流解析を行いたいと考えている。

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{M}{h+\zeta}\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{N}{h+\zeta}\frac{\partial M}{\partial y}= -g(h+\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial x}-\frac{\gamma_b^{\,2}}{(h+\zeta)^2}M\sqrt{M^2+N^2}+\varepsilon\left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{M}{h+\zeta}\frac{\partial N}{\partial x}+\frac{N}{h+\zeta}\frac{\partial N}{\partial y}= -g(h+\zeta)\frac{\partial \zeta}{\partial y}-\frac{\gamma_b^{\,2}}{(h+\zeta)^2}N\sqrt{M^2+N^2}+\varepsilon\left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \quad (3) \qquad \frac{M}{h+\zeta}=m \quad \frac{N}{h+\zeta}=n \quad (4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}+m\frac{\partial M}{\partial x}+n\frac{\partial N}{\partial y}=F \quad (5)$$

$$M(i,j,L)=a_1\cdot M(i,j,L)+a_2\cdot M(i,j+1,L-2) + a_3\cdot M(i,j-1,L-2) \quad (6)$$

$$M^{(r)}(x,y,t)=\sum_{i=0}^{r}\left\{\frac{(x-mt)^i+(y-nt)^i}{i!}\right\} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -C_x-C_y & -C_x+(\beta-C_y) & -C_x+(-\beta-C_y) \\ \frac{1}{2}(C_x^2+C_y^2) & \frac{1}{2}\left\{C_x^2+(\beta-C_y)^2\right\} & \frac{1}{2}\left\{C_x^2+(-\beta-C_y)^2\right\} \\ -C_x-C_y & -C_x+(\beta-C_y) & -C_x+(-\beta-C_y) \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \\ a_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$M(i,j,L)=a_1\cdot M(i,j,L)+a_2\cdot M(i,j+1,L-2) + a_3\cdot M(i,j-1,L-2)+b_1\cdot F(i,j,L-1) + b_2\cdot F(i+1/2,j,L-1)+b_3\cdot F(i-1/2,j,L-1) \quad (9)$$

$$M_L=\sum_{i=0}^{L-1}\left\{\frac{(x-mt)^i+(y-nt)^i}{i!}\right\}\cdot t+\frac{(x-mt)^L+(y-nt)^L}{L!}$$
$$F_L=\sum_{i=0}^{L-1}\left\{\frac{(x-mt)^i+(y-nt)^i}{i!}\right\}-1 \quad (10)$$

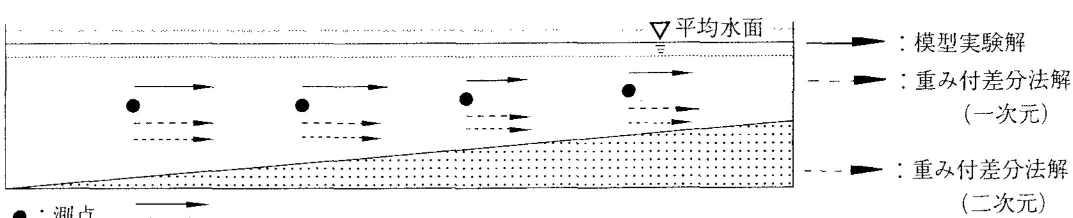

図4 傾斜水路模型流速ベクトル(干潮から満潮)

参考文献 1) 加納、赤坂、久田見、安武:博多湾西部海域潮流解析への重み付差分法の適用(平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集)

2) 加納、赤坂、空閑、安武:傾斜水路模型における重み付差分法による潮流解析(土木学会第53回年次学術講演会講演概要集)