

傾斜水路模型における潮流解析

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 正員 赤坂順三

1. まえがき 筆者らは[文献1]において、潮流解析のための重み付差分法の提案を行った。[文献2]においては、重み付差分法の実海域への適用を考え、その1ステップとして傾斜水路模型流れ解析への重み付差分法(WFDM)を示した。しかし図1に示す実験においては渦動粘性係数 ϵ が非常に小さく、ここに示した重み付差分法では非同次項の重み Q が大きくなり、解の発散がみられた。そこで今回は、浅海流方程式において粘性項を無視した移流項のみの基礎式(3)で解析を行うことを考え、式(3)の重み付差分式の定め方および、傾斜水路模型の実験決結果の一部を示す。

2. 水理模型実験 図1に示す3次元水槽(長さ5.03m×幅0.33m×深さ0.336m)を使って実験を行った。水槽の一端にはポンプ式の水位変動装置を設置し、また水位を上下させる際流れをスムーズにするためにスロープをつけた。時間縮尺は将来の今津湾潮流解析への適用を考え、文献3)に示すように1/100とし、今津湾の実際の満潮から干潮への変化が6時間15分であることから225秒のCOSカーブで与えることにした。まず満潮水位(35cm)の所まで水を注ぎ、次にポンプを動かし干潮時(25cm)まで下げる。これを2~3周期(満潮→干潮→満潮を1周期とする)繰り返し、一定水位が得られたところで流速と波高を測定する。その結果の一部を図2,3に示す。

3. 解析方法 基礎式に前報[文献1]同様、浅海流方程式及び連続の式を用いる。そこでは、 $M=U(H+\zeta)$, $N=V(H+\zeta)$ は各々 x, y 方向の線流量、 U, V は x, y 方向の平均流速、 ζ は水面の平均水面(H)からの高さ、 g は重力の加速度、 γ_b は水底における摩擦係数であり、コリオリ力および粘性項は無視している。

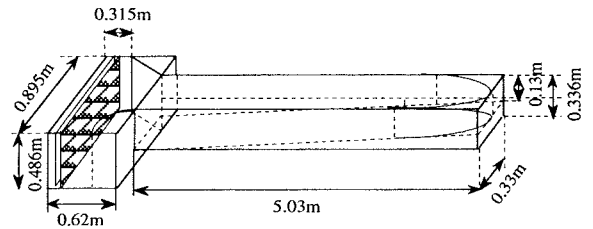


図1 水理模型装置

$$\frac{M}{H+\zeta} = m, \quad \frac{N}{H+\zeta} = n \quad (1)$$

$$\frac{\gamma_b^2}{(H+\zeta)^2} M \sqrt{M^2 + N^2} - g(H+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} = F_L \quad (2)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + m \frac{\partial M}{\partial x} + n \frac{\partial M}{\partial y} = F_L \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M(i, j, \ell) = & a_1 \cdot M(i, j, \ell-2) + a_2 \cdot M(i, j+1, \ell-2) \\ & + a_3 \cdot M(i, j-1, \ell-2) + a_4 \cdot M(i, j+2, \ell-2) \\ & + a_5 \cdot M(i, j-2, \ell-2) \end{aligned} \quad (4)$$

$$M^{(r)}(x, y, t) = \sum_{i=0}^r \left\{ \frac{(x-mt)^i + (y-nt)^i}{i!} \right\} \quad (5)$$

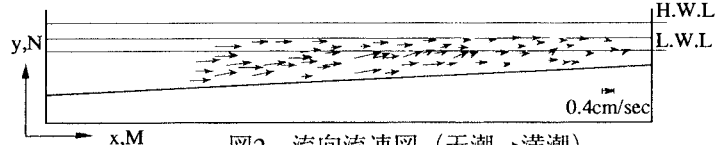


図2 流向流速図(干潮→満潮)

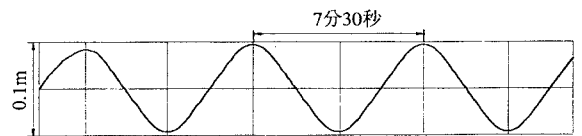


図3 波高計による波高一時間曲線

次に、重み付差分法で M に関する運動方程式を解析する方法について述べよう。この式(1)は前の時間の M を与える既知項とする。式(2)は求めようとする M を含むが、式(1)同様前の時間の 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(3)の非同次型の運動方程式とみなすことができる。式(3)を重み付差分法で解くため

$$\begin{bmatrix}
-C_x - C_y & -C_x + \beta - C_y & -C_x - \beta - C_y & -C_x + 2\beta - C_y & -C_x - 2\beta - C_y \\
C_x^2 + C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x - C_y) & C_x^2 + (\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (\beta - C_y)) & C_x^2 + (-\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-\beta - C_y)) & C_x^2 + (2\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (2\beta - C_y)) & C_x^2 + (-2\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-2\beta - C_y)) \\
-C_x^3 - C_y^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + C_y^2) & -C_x^3 + (\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (\beta - C_y)^2) & -C_x^3 + (-\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (-\beta - C_y)^2) & -C_x^3 + (2\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (2\beta - C_y)^2) & -C_x^3 + (-2\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (-2\beta - C_y)^2) \\
C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x - C_y) & (\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (\beta - C_y)) & (-\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-\beta - C_y)) & (2\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (2\beta - C_y)) & (-2\beta - C_y)^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-2\beta - C_y)) \\
C_x^4 + C_y^4 + \frac{4}{h}[-C_x^3 - C_y^3] & C_x^4 + (\beta - C_y)^4 + \frac{4}{h}[-C_x^3 + (\beta - C_y)^3] & C_x^4 + (-\beta - C_y)^4 + \frac{4}{h}[-C_x^3 + (-\beta - C_y)^3] & C_x^4 + (2\beta - C_y)^4 + \frac{4}{h}[-C_x^3 + (2\beta - C_y)^3] & C_x^4 + (-2\beta - C_y)^4 + \frac{4}{h}[-C_x^3 + (-2\beta - C_y)^3] \\
-C_y^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + C_y^2) & +(\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (\beta - C_y)^2) & +(-\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (-\beta - C_y)^2) & +(2\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (2\beta - C_y)^2) & +(-2\beta - C_y)^3 + \frac{3}{h}(C_x^2 + (-2\beta - C_y)^2) \\
+\frac{2}{h}(-C_x - C_y) & C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (\beta - C_y)) & C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-\beta - C_y)) & C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (2\beta - C_y)) & C_y^2 + \frac{2}{h}(-C_x + (-2\beta - C_y))
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$M(i, j, \ell) = a_1 \cdot M(i, j, \ell - 2) + \dots + a_5 \cdot M(i, j - 2, \ell - 2) + b_1 \cdot F(i, j, \ell - 1) + b_2 \cdot F(i, j + \frac{1}{2}, \ell - 1) + b_3 \cdot F(i, j - \frac{1}{2}, \ell - 1) + b_4 \cdot F(i + \frac{1}{2}, j, \ell - 1) + b_5 \cdot F(i - \frac{1}{2}, j, \ell - 1) \quad (7)$$

$$M_L = \sum_{i=0}^{L-1} \left\{ \frac{(x - mt)^i + (y - nt)^i}{i!} \right\} \cdot t + \frac{(x - mt)^L + (y - nt)^L}{L!} \quad (8)$$

$$F_L = \sum_{i=1}^L \left\{ \frac{(x - mt)^{i-1} + (y - nt)^{i-1}}{(i-1)!} \right\}$$

$$(\zeta_{i,j}^{\ell-1} - \zeta_{i,j}^{\ell-3}) / 2\Delta t = -(M_{i+1,j}^{\ell-2} - M_{i,j}^{\ell-2}) / \Delta x - (N_{i,j+1}^{\ell-2} - N_{i,j}^{\ell-2}) / \Delta y \quad (9)$$

にまず、右辺を0として得られる同次方程式を図4に示す陽形式差分モデルにおいて重み $a_1 \sim a_5$ を求める。このためには、同次方程式を満足する多項式(5)において $r=0 \sim 4$ とにおいて得られる M の値を重み付差分式(4)に代入して得られた連立方程式(6)を解けばよい。次に、式(3)を満たすように、図4に示す10点10種類の多段階陽形式差分モデルを考えると、非同次型重み付差分式(7)を得る。原点を考える点に移し、式(3)を満たす F_L と M_L の組み合わせた多項式(8)において、 $L=1 \sim 5$ とにおいて得られる M, F の値と同次方程式を満たすように求めた $a_1 \sim a_5$ の値を、式(7)に代入した連立方程式を解けば重み $b_1 \sim b_5$ が求まり、 M に関する運動方程式解析用のWFDMが定まる。連続の式は式(9)で示す従来の差分法で解く。

4. あとがき 現在以上述べた多段階陽形式重み付差分法により解析中であり、結果が次次第発表の予定です。さらに多段階陰形式重み付差分法も検討中である。

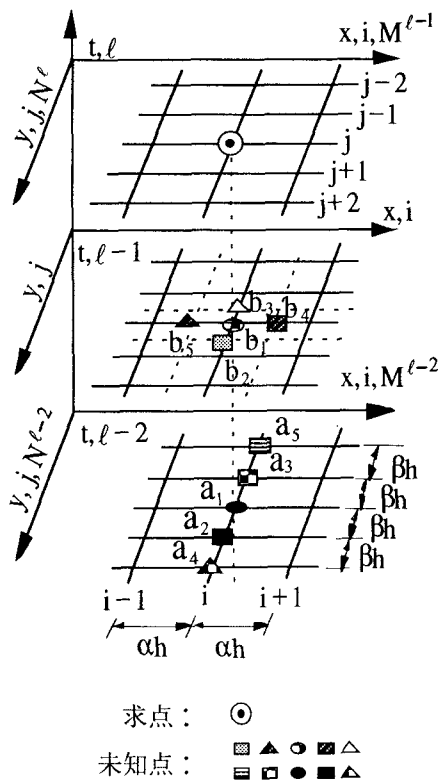


図4 多段階陽形式差分モデル

- 参考文献 1) 空閑、加納、赤坂、寺本：多段階重み付差分法による潮流解析、平成4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：重み付差分法の浅海流方程式への適用、第49回年次学術講演会概要集
3) 寺本、加納、赤坂、空閑：今津湾水理模型実験における潮流解析、平成5年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集