

湾における潮流解析について

名古屋大学 正員 足立昭平
学生員 ○ 中島 諭

沿岸水域の汚染防止は、環境保全のもっとも重要な課題の一つであり、汚染物質排出の流量規制処置とともに、沿岸の諸計画に対する環境予測の徹底が強く要請されている。環境予測は決して容易でないが、沿岸水域における汚染物質の動態は、一般に拡散現象よりもむしろ潮流による移流現象に依存する場合が多いものと考えられており、予測の基礎資料として正確な潮流解析が必要である。近年では、電算機による数値実験が二種の解析にも有力な手段として脚光を浴びつつあるが、それらの結果の検証については、広範な現地観測の難かしさもあって、まだまだ問題を残している。本研究は、現地観測のかわりに水槽実験と数値実験の二つの検証対象として、従来の平面2次元モデルの数値解析法の適用性を確かめ、数値実験に当たって適切な特性係数を選定する際の基礎資料を得ようとするものである。ここでは、まず始めに形状の単純な方形水域の潮流について、京大防災研究所で行なわれた樋口らの水槽実験¹⁾の結果を数値実験で再現することを試みたところについて報告する。

潮流に関するこれまでの数値実験は、流れの鉛直成分を省略して、圧力を静水圧分布と見なし、流量を水深に関する平均量でおきかえた平面2次元モデルによっている。すなわち、その基礎方程式は

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{gH}{L^2} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{UL} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - fL u^2, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{gH}{L^2} \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\varepsilon}{UL} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - fL v^2, \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh) + \frac{\partial}{\partial y}(vh) &= 0.\end{aligned}$$

で与えられる。ここに、 L 、 H および U はそれぞれ水平距離、鉛直距離、および水平速度の特性値であり、時間の特性値 T は、 $T = L/U$ で与えられる。 x 、 y および u 、 v 、さらに t はそれぞれ L 、 H 、 U および T を基準値とする無次元変数であり、 g 、 ε および f はそれぞれ重力の加速度、水平移動係数および抵抗係数である。なお、流水抵抗については、流速の2乗に比例するという形式をとる例が多いが、潮流は散流を伴うから、水深に関する平均流速に関する抵抗則は明らかでない。ここでは、計算上の便宜さのすを重く見て、流水抵抗は流速に比例すると想定した。

模型湾は、図-1に示すような1隅に開口部をもつ正方形水域であり、辺長は開口幅の5倍である。上記の基礎方程式における特性値として、 L に開口幅を、 H に静水時の水深を当て、また $U = \sqrt{gH}$ にとれば、数値実験の特性係数は、 α 、 β 式石田²⁾および3項にかゝる $e \equiv \varepsilon/UL$ および $\gamma \equiv fL$

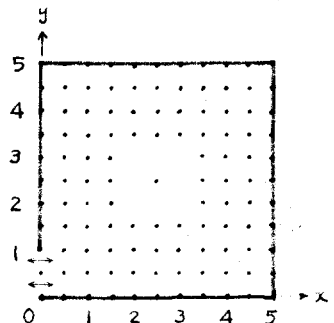


図-1. 模型湾と計算格子定

の2係数である。これらの e および γ の値の組合わせについて

は、第1試行として、樋口らの実験値を参照して、 $e = 4 \times 10^{-5}$ 、 $\gamma = 4 \times 10^{-2}$ を採用した。

初期条件および境界条件はそれぞれ

初期 $t = 0$ で $u = v = 0$, $h = 1$.

固定壁 $\begin{cases} x=0 \\ 1 \leq y \leq 5 \end{cases}$, $\begin{cases} x=5 \\ 0 \leq y \leq 5 \end{cases}$, $\begin{cases} 0 \leq x \leq 5 \\ y=0 \end{cases}$ および $\begin{cases} 0 \leq x \leq 5 \\ y=5 \end{cases}$ において, $u = v = \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial y} = 0$,

開口部 $\begin{cases} x=0 \\ 0 < y < 1 \end{cases}$ において, $h = A \sin \omega t + 1$, $\begin{cases} A = [\text{開口部水位の振幅}] / H \\ \omega = (2\pi L / \sqrt{gH}) / [\text{開口部水位の周期}] \end{cases}$

であり, $A = 5 \times 10^{-2}$, $\omega = 2.35 \times 10^{-2}$ とした。

潮流の数値解法には、差分法による例が多く、1次の前進および後進差分を組合せる手法²⁾、ADI法³⁾あるいはLax-Wendroff法⁴⁾などが用いられているが、ここでは、偏微分方程式の差分法として比較的に広範な問題に使用されているL-W法を忠実に適用し、空間差分 $\Delta x, \Delta y$ について2次、時間差分 Δt については1次の差分法を採用した。また、計算の安定・収束条件については、よく知られている偏微分方程式の場合の条件から類推して、 $\Delta t / \Delta x$ (or Δy) $\leq 1 / \sqrt{2} h_{\max}$ を用いた。

上記の第1試行の結果を潮汐残差流について、樋口らの水槽実験結果と比較すれば、図-2のようである。実線ベクトルが水槽実験、破線ベクトルが数値実験の潮汐残差流の分布状態をあらわしており、環流形式の概観は数値実験にもよく現われている。しかしながら、図-2では、数値実験の残差流の大きさを水槽実験のそれの20倍のスケールで記入しており、残差流の大きさについては、この第1試行は水槽実験と大きく、食い違っており、環流の中心もやや開口部側へ寄っている。一般に、数値実験の特性係数のうち γ の値を小さく設定すれば、流速が増大するから、残差流も大きくなり、環流も顕著になり、押しやられるものと推察される。したがって、第1試行においては、 γ の値の設定が過大であるといつてよいであろう。 γ の値を小さくした数値実験は、なお継続中であるが、図-2に見られる数値実験と水槽実験との定性の概観は、一定平面2次元モデルにとどめて、数値実験も、この特性係数の適切な設定により、かなりの結果を期待できることを示唆しており、引き続き γ および e の種々の値に対する計算を進めて、これらの値の決定に当たっての参考資料をとり集めたいと考えている。

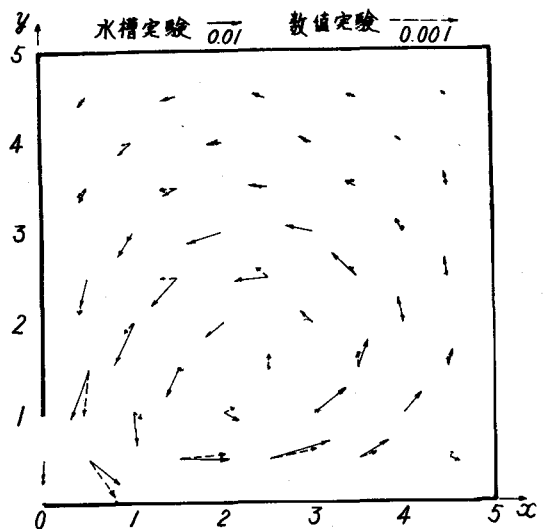


図-2. 水槽実験および数値実験による潮汐残差流の分布

(1) 樋口明生、他：第22回海岸工学講演会論文集、1975、pp. 232~238. (2) 伊藤剛：数値解析の応用と基礎、工学出版、1971、pp. 1~28. (3) 堀江毅、他：海研報告Vol. 15、No. 8、1976. (4) 和田明：第22回海岸工学講演会論文集、1975、pp. 161~166.