

感潮河川における塩水侵入のシミュレーション

宮崎大学 工学部 正員○杉尾 哲
学生 樋口英治

1. まえがき

感潮河川における塩分の混合形態は一般に、強混合、緩混合、弱混合の3種類に分類される。しかし、その混合機構は、例えば潮位、潮位差、河川流量、河口の状態、河道内の状態などの種々の要因の影響を受けて複雑に変化するから、ある河川がある時点によって強混合型の河川だからといって、常にそうであるとは限らないと考えられる。すなわち、緩混合型の形態をとる河川が、次の時点では強混合型を示し、別の時点では弱混合型に近い形態をとることがあるのではないかと考える。そこで本研究では、流れの方程式と拡散方程式を連立して数値的に解くことにより、混合型の変遷が表せられるのかを検討した。

2. 基本方程式

x軸を流れ上流向きに水平にとり、z軸を鉛直上向きにとる。また、鉛直方向の加速度は重力のそれに比べて十分小さいとし、流体に作用する物体力には重力のみを考えると、

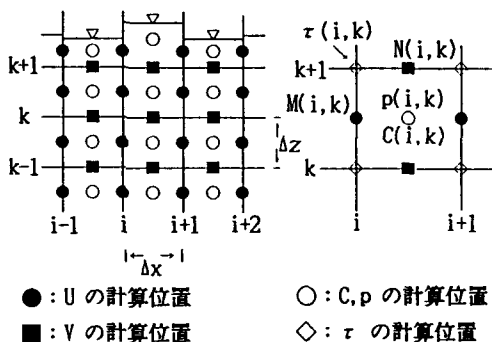
運動方程式

$$x \text{ 軸 } \frac{\partial M}{\partial t} + U \frac{\partial M}{\partial x} + V \frac{\partial M}{\partial z} = - \frac{B}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{B}{\rho} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (1)$$

$$z \text{ 軸 } -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\text{連続式 } \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\text{拡散方程式 } B \frac{\partial C}{\partial t} + M \frac{\partial C}{\partial x} + N \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(B D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(B D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (4) \quad \text{図-1}$$



ここに、 $M=B \cdot U$, $N=B \cdot V$, B は河川幅、 U, V はxおよびz方向の流速、 D_x, D_z はxおよびz方向の渦動拡散係数、 ρ は密度、 g は重力加速度、 τ は剪断応力、 C は塩分濃度、 p は圧力である。

3. 渦動拡散係数

渦動拡散係数は、従来の数値解析において用いられている値を参考にして、次のように与えた。

水平方向の渦動拡散係数は $D_x = 0.5 \text{ m}^2/\text{sec}$

$$\text{鉛直方向の渦動拡散係数は } D_z = \begin{cases} D_{z0} \cdot e^{-3Ri} & (Ri \geq 0) \\ D_{z0} & (Ri < 0) \end{cases} \quad Ri = - \frac{g(\rho_{i,s} - \rho_{i,b}) \cdot H_i}{\rho_i (\rho_{i,s} - \rho_{i,b})} \quad (5)$$

$$D_{z0} = 0.005 \text{ m}^2/\text{sec}$$

ここに、 H_i は断面の水深(m)、 $\bar{\rho}$ は鉛直方向の平均密度(Kg/m^3)であり、添字s,bはそれぞれ水面位置の値と河床位置の値であることを示す。また Ri は Over all Richardson数である。

4. 密度と濃度の関係式

液体の密度と濃度は次式によって換算する。

$$\rho = \rho_0 / (\lambda + 0.698P_0) \quad (6)$$

$$\lambda = 1779.5 + 11.25T - 0.0745T^2 - (3.8 + 0.01T)C$$

$$P_0 = 5890 + 38T - 0.375T^2 + 3C$$

ただし、水温による影響は考えず、 $T=20^\circ\text{C}$ の一定値とする。

5. 剪断応力

ブラントルの混合距離理論を適用して、剪断応力は

表-1 川幅

断面番号	川幅 (m)	断面番号	川幅 (m)
1	270	10	212
2	250	11	185
3	235	12	150
4	276	13	150
5	254	14	150
6	230	15	150
7	235	16	120
8	241	17	110
9	224	18	100

$$\tau_{i,k} = \rho_i \cdot f_i (M_{i,k} - M_{i,k+1})^2 / B_i^2 \quad \text{-----} (7)$$

とおく。ここに、 $f_i = 0.04(h_i/\Delta z)^2$ である。また、河床面においては

$$\tau_{i,b} = 0.04 E \rho_i \left(\frac{h_i}{\Delta z} \right)^2 \frac{(M_{i,b} - M_{i,b+1})^2}{B_i^2} \quad \text{----} (8)$$

$$E = \begin{cases} 1 & (M_{i,b} > M_{i,b+1}) \\ -1 & (M_{i,b} < M_{i,b+1}) \end{cases}$$

とする。

7. 計算対象領域と境界条件

計算対象河川として、図-2のような河床形状の河川を考え、これを水平方向に $\Delta x = 600\text{m}$ 、 $\Delta z = 1.5\text{m}$ の格子に分割した。また上流端において一定量の流入があるものとし、下流端においては外海の潮汐振幅として0.8mの一定値を与えた。なお平均水位は0.0m、潮汐の周期は12時間としている。また下流端の塩分濃度は水深方向に一定とし、NaCl濃度で35(‰)とした。

8. 計算結果

上流端の流入量を $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ として得られた3時間毎の塩分濃度分布から等濃度線を描いて図-2に示している。この図から、中流部より下流側においては、高潮時に強混合型であった濃度分布が、退潮時に緩混合型を示し、入潮時に再び強混合型を示すように混合形態が変遷していくことが分かる。次に、図-3は上流端の流入量を $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ として得られた3時間毎の濃度分布である。この場合も図-2と同じように混合形態が変遷するが、塩分濃度が全体的にかなり低くなっている。なお各点における塩分濃度の経時変化を調べると、下流域においては、濃度の最高値と最低値が現れるのは、それぞれ潮位の最大時と最小時に一致するのに対し、上流ほど時間遅れを生じて、上流域では、濃度の最高値が潮位の最大時の1時間後に現れ、濃度の最低値は潮位の最小時より4時間後に現れている。

以上の他に、河川幅、河床形状、渦拡散係数の値を変えて解析を行った。しかし、これらの解析結果の塩分濃度分布はあまり相違せず、これらの要因が塩分濃度に大きな影響を与えないことが分かった。渦拡散係数の値を変化させても拡散状況に変化がみられない点については、式(4)の項別比較を行ったところ、この解析例においては左辺の移流項が卓越し、これによって拡散状況が決定されていることが分かった。

参考文献：岩佐・井上・田中：京都大学防災学研年報 第25号B-2, pp. 585~596, 1982.

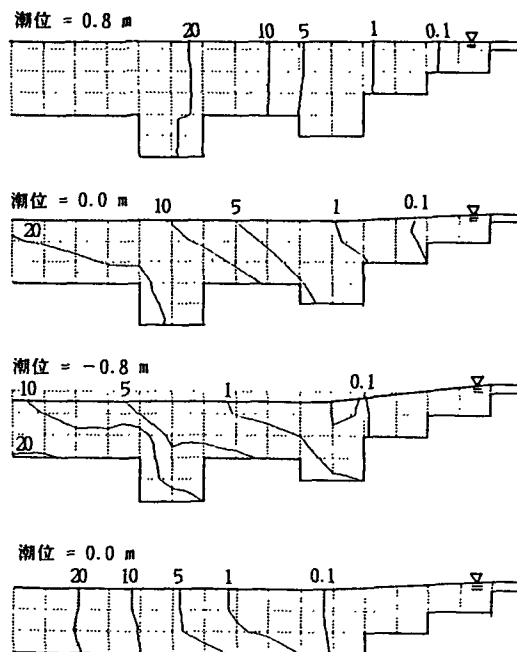


図-2

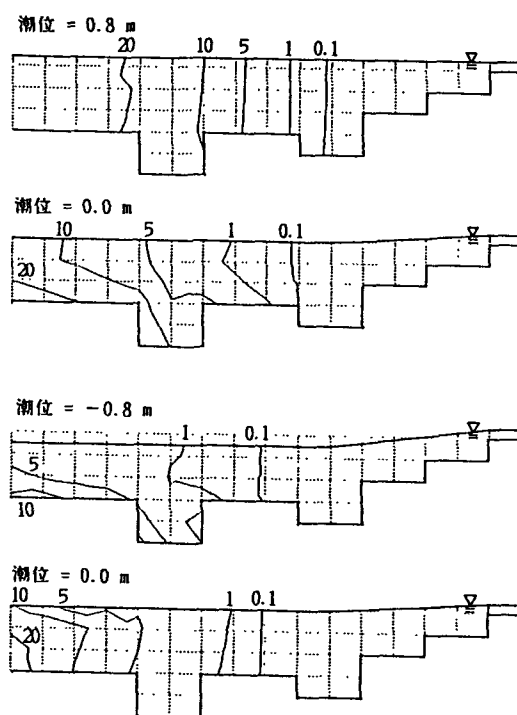


図-3