

海面上昇による河道内塩水遡上の変化予測

名古屋工業大学大学院 学生員 船戸美佳
名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1. はじめに 河道内への塩水遡上の変化は、生態系をはじめ河口流域における上水、農業、工業用水等の水利用に大きな影響を与えるものであり、その対策の上でも温暖化に伴う海面上昇による塩水遡上距離や、河口域の流況変化をあらかじめ予測しておく必要がある。今まで、弱混合型塩水遡上への温暖化の影響は検討されてきたが¹⁾、緩混合型および強混合型を含めた実際の河川の系統的な変化予測は、まだ検討されていない。

そこで、本研究では、全国一級河川の塩水遡上の現状を、潮汐変動を考慮した弱混合型および強混合型のモデルを用いて解析を行い、現状の再現性について検討を加えた上で、温暖化に伴い海面上昇が起こった場合に、河道内への塩水遡上距離や河口部流況がどの程度変化するかを予測した。

2. 計算モデルの説明

(強混合型) 強混合型は、塩水が移流拡散現象によって河道内に侵入する形態であるとし、解析には以下示す一次元拡散方程式を含む式(1)～(3)を差分法で計算する²⁾。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot S)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(R \frac{\partial S}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g \frac{z}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot h)}{\partial x} = q \quad (3)$$

ここに、 u : 平均流速、 ζ : 水面変位、 ρ : 密度、 S : 塩分濃度、 q : 横流入量、 ν : 動粘性係数、 R : 拡散係数とする。

拡散係数 R については、オーダーの範囲でしか計算できないので、式(4)から拡散係数のオーダーを求め、次に、実河川の塩水遡上距離に合うように拡散係数 R を逆算した。

$$O[R] = O[u] \cdot O[S] \cdot O[\Delta x / \Delta S] \quad (4)$$

ただし $\Delta S / \Delta x$ は、 x 方向の塩分濃度の勾配を示す。

河口($x=0$)での境界条件としては、潮汐波の変動を正弦関数で与えた。また、流速 u については、微小振幅長波の波速 $C = \sqrt{g \cdot h_0}$ より $u = C / h_0 \cdot \zeta$ となるが、河川潮汐は定常波性であるので、水面変位 ζ と流速 u はほぼ 90° の位相差がある。それゆえ、流速 u は、式(5)のように与えた。

$$u = \sqrt{g / h_0} \cdot a \cdot \cos \left(2\pi \frac{n \cdot \Delta t}{12 \times 3600} \right) \quad (5)$$

ここに、 h_0 : 河口平均水深、 a : 潮汐振幅、 n : 差分法における時間ステップ数、 Δt : 差分法における時間ステップ幅とする。

塩分濃度 S については上げ潮流入時に河口($x=0$)の塩分濃度 S を海水の塩分濃度 $S=33\text{‰}$ と固定し、下げ潮流出時には塩分濃度 S を自由流出扱いとした³⁾。

なお、塩水遡上距離の判定は、工業用水の取水限界の塩分濃度 $S=約0.2\text{‰}$ までを、塩水遡上距離とした。

(弱混合型) 弱混合型は、河口二層流として、塩水楔の長さや形状、流速を計算することで、塩水遡上距離と流況の変化を求めた。解析には以下に示す上層、下層それぞれの連続式(6)、(8)、および運動量方程式(7)、(9)を用い計算を行った⁴⁾。

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x} + h_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + h_1 \cdot u_1 \frac{1}{b} \frac{\partial b}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + g \cdot \left(\frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{f_1}{2} \frac{|u_1 - u_2|}{h_1} (u_1 - u_2) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial h_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial h_2}{\partial x} + h_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + h_2 \cdot u_2 \frac{1}{b} \frac{\partial b}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

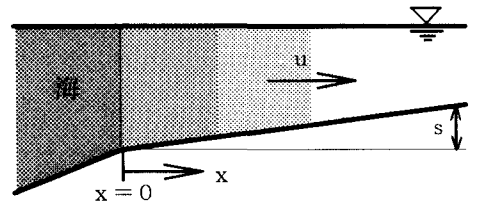


図-1 強混合型の記号の定義

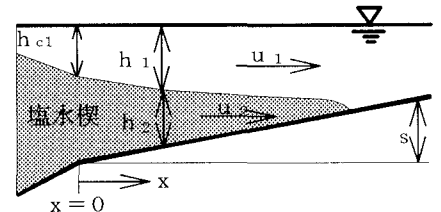


図-2 弱混合型の記号の定義

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + g \cdot (1 - \varepsilon) \left(\frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} + \frac{\partial s}{\partial x} \right) - \frac{f_i}{2} \frac{|u_1 - u_2|}{h_2} (u_1 - u_2) + \frac{f_b}{2} |u_2| \cdot u_2 = 0 \quad (9)$$

ここに、 h_1 ：上層水深、 h_2 ：下層水深、 u_1 ：上層流速、 u_2 ：下層流速、 b ：河幅、 s ：河床高、 ε ：相對密度差、 g ：重力加速度、 f_i ：界面摩擦抵抗係数、 f_b ：河床摩擦抵抗係数とする。

河口 ($x=0$) での、境界条件については、上層水深 h_1 は限界水深として固定し、潮汐波の変動を下層水深 h_{20} に正弦関数で与えた。また、下層流速 u_2 の与え方については、計算が安定する方法が容易に見つけないため、今回は次に示す近似解法を用いた。

すなわち、河道内に侵入している、海水層の平面積を A とするとき、 Δt 時間を小さくして h_{20} の変動を微小量とすると、 $b_0 \cdot h_{20} \cdot u_{20}^n \cdot \Delta t = A(h_{20}^n - h_{20}^{n-1})$ より、

$$u_{20}^n = \frac{A \cdot (h_{20}^n - h_{20}^{n-1})}{b_0 \cdot h_{20}^n} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (10)$$

と表すことができる。ここに、 b_0 ： $x=0$ での河幅、 u_{20} ： $x=0$ での下層流速、 h_{20} ： $x=0$ での下層水深、 n ：時間ステップ数とする。

3. 計算結果と考察

図-3、4から、両モデルとも、現状の再現性に多少ばらつきがあるといえる。しかし、ここには結果は示していないが、図-3、4以外の緩混合型の河川についての計算結果は、両モデルは塩水遡上の現状⁹⁾を良く再現しており、予測モデルとして妥当なものといえよう。

図-3、4から、弱混合型の方が、強混合型より温暖化に伴う海面上昇の影響を受けやすく、最大で50%程度遡上距離が長くなっていることがいえる。しかし、強混合型は、

潮汐変動に伴う塩水遡上距離の変動が弱混合型に比べ大きいため、温暖化に伴う海面上昇の影響よりも、温暖化に伴う潮汐変動の変化が、弱混合型より大きく影響すると予想される。

4. おわりに 以上、実河川を対象に、海面上昇に伴い塩水遡上距離がどのように変化するかを明らかにした。ここでは検討していないが、温暖化が河口部流況にどのような影響を与えるかを検討することも、河口部での水質を考える上で重要である。また、今後の課題としては、実河川における再現性がより高い計算モデルの開発と、河川の現段階での河口形状、河口流況、塩水遡上距離等のより詳細な実測データを収集することが、温暖化における変化を正確に予測するためにも重要である。

最後に、本研究は文部省研究費（総合研究(A)代表 渡辺 晃 東京大学教授）の補助を受けたことを付記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会海岸工学委員会地球環境問題研究小委員会：地球温暖化の沿岸影響, pp102-103.
- 2) 喜岡・船戸・中野(1993)：土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp273-274.
- 3) 宇野木・斉藤・小管 著(1990)：海洋技術者のための流れ学, pp47-61.
- 4) 松梨編著(1993)：環境流体汚染, pp175-176.
- 5) 堀口・洪田(1992)：海岸工学論文集 第39巻, pp261-265.
- 6) 建設省土木研究所河川部河川研究室(1993)：感潮河川の塩水遡上実態と混合特性, pp46-82.

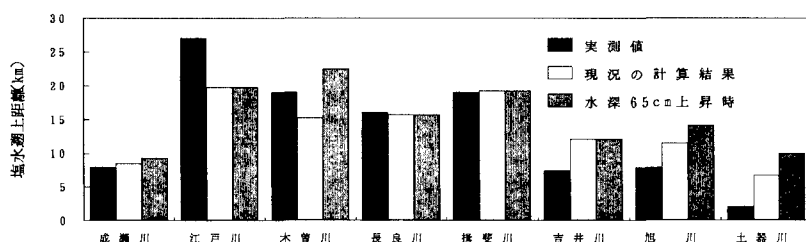


図-3 強混合型河川の塩水遡上

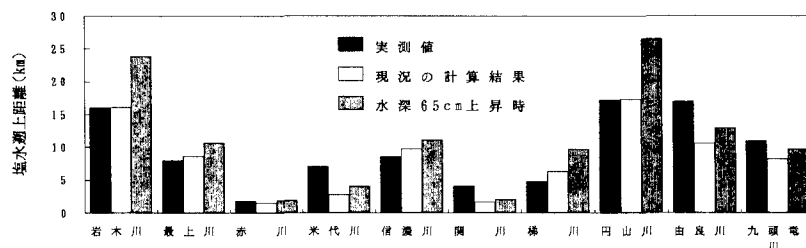


図-4 弱混合型河川の塩水遡上