

II-118 河口感潮域における塩水遡上の数値解析とその適用について

京都大学大学院 学生員 溝口 宏樹  
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗  
 京都大学工学部 正員 井上 和也  
 日本道路公団 正員 吉村 義朗

1. まえがき; 本報は、河口感潮域における塩水遡上現象を解析し、塩害の防止法について考察することを目的としたものである。まず、分合流部を含み、かつ河幅の変化を考慮できるように横断方向に積分した準三次元モデルを開発する。さらに、これを大阪市内の旧淀川に適用して、流量が少ないときの塩水遡上について観測値との比較を行うとともに、塩害の防止法の一つとして、上流端からの放法操作法を考へ、塩水の遡上を抑えるのに有効な放流方法をシミュレーションにより検討する。

2. 離散式; 座標軸は河川縦断方向、横断方向、鉛直方向にそれぞれ  $x, y, z$  軸をとる。なお、 $x$  軸は上流向きを正とし、圧力は静水圧分布を仮定する。計算モデルは図-1 のようにとり、自由表面を含まない Control Volume について基礎式を積分し、離散化した式は以下のようになる。<sup>1)</sup>

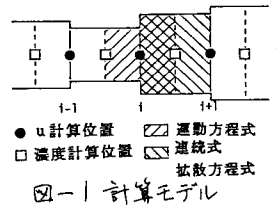


図-1 計算モデル

運動方程式  $x$  方向: 
$$\frac{U_{i+1/2}^{n+1} - U_{i-1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} [U_{i+1/2}^{n+1} U_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} U_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2}] + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} U_{i+1/2}^{n+1} C_{i+1/2} - W_{i-1/2}^{n+1} U_{i-1/2}^{n+1} C_{i-1/2} \} + \frac{P_{i+1/2}^{n+1}}{B_{i+1/2}} \frac{1}{\Delta x} B_{i+1/2} [P_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - P_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2}] - \frac{1}{B_{i+1/2}} \frac{1}{\Delta x} B_{i+1/2} P_{i+1/2}^{n+1} [B_{i+1/2} - B_{i-1/2}] - \frac{1}{B_{i-1/2}} \frac{1}{\Delta x} B_{i-1/2} P_{i-1/2}^{n+1} [B_{i-1/2} - B_{i-3/2}] + \frac{1}{\Delta z} \{ \tau_{i+1/2}^{n+1} - \tau_{i-1/2}^{n+1} \} = 0 \quad (1)$$

$z$  方向: 
$$P_{i+1/2}^{n+1} = \rho \left\{ \sum_{k=1}^{K+1} \Delta z P_{i+1/2, k}^{n+1} - \frac{1}{2} \Delta z P_{i+1/2, S}^{n+1} \right\} + 2 P_{i+1/2, S}^{n+1} \quad (2)$$

連続式 
$$\frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} [U_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2}] + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} - W_{i-1/2}^{n+1} \} = 0 \quad (3)$$

拡散方程式 
$$\frac{C_{i+1/2}^{n+1} - C_{i-1/2}^{n+1}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} [U_{i+1/2}^{n+1} C_{i+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i-1/2}^{n+1} C_{i-1/2}^{n+1} B_{i-1/2}] + \frac{1}{\Delta z} \{ W_{i+1/2}^{n+1} C_{i+1/2}^{n+1} - W_{i-1/2}^{n+1} C_{i-1/2}^{n+1} \} - \frac{1}{\Delta x} B_{i+1/2} D_x \left[ B_{i+1/2} \frac{C_{i+1/2}^{n+1} - C_{i-1/2}^{n+1}}{\Delta x} - B_{i-1/2} \frac{C_{i-1/2}^{n+1} - C_{i-3/2}^{n+1}}{\Delta x} \right] - \frac{1}{\Delta z} D_z \{ C_{i+1/2}^{n+1} - 2C_{i+1/2, S}^{n+1} + C_{i+1/2, S}^{n+1} \} = 0 \quad (4)$$

ここに、移流項の  $U$  や  $C$  に現れかている  $a, b, c, d$  は Control Volume の接合面の流速の正負により 0 または 1 の値をとる。  $B_{i+1/2}$  はそれぞれ運動方程式、連続式を適用する Control Volume の平均幅であり、  $B_i$  は運動量が実際に運ばれる際の  $(i)$  断面における有効幅を表わし、  $B_{i-1/2}$  と  $B_{i+1/2}$  の小さい値を用いている。

3. 分合流部の取り扱い; 合流部は図-2 のようにモデル化する。したがって、連続式、拡散方程式については分合流部以外の式に支川からの流出入を考慮するだけでよい。運動方程式については、  $(g+1/2)$  断面の流速を以下のように定義する。

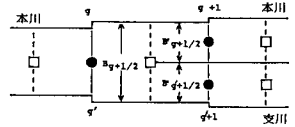


図-2 合流部の計算モデル

① 本川から合流部への流出入  $U_{g+1/2, R}^{n+1} = \frac{1}{2} (U_{g+1/2}^{n+1} + U_{g+1/2}^{n+1})$

② 支川から合流部への流出入  $U_{g+1/2, L}^{n+1} = \frac{1}{2} (U_{g+1/2}^{n+1} + U_{g+1/2}^{n+1})$  ただし、  $U_{g+1/2, R}^{n+1} = U_{g+1/2}^{n+1}$

この流速の正負により、本川と支川で別々の運動量の流出入を考へる。なお、分合流部についても同様の取り扱いを行う。

4. 状態方程式; 海水密度  $\rho$  は水温が  $19^\circ\text{C}$  で一定としたときの Eckart の式を適用すると、塩分濃度  $S$  ‰ により次のように表わされる。

$$\rho = (6476.625 + 3.0S) / \{ (1966.35555 - 3.99S) + 0.6980(6476.625 + 3.0S) \}$$

5. せん断応力および拡散係数の評価; 自由表面のせん断応力は風の影響がないものとし、零とする。河床のせん断応力は、  $\tau_b = \rho g^2 U^2$   $\rho$ : 抵抗係数 (= 0.0026) で表わし<sup>2)</sup>、河床にも自由表面にも接していない部分のせん断応力は、  $\tau_b = A_z \frac{\rho g H}{\Delta z}$  で表わす。ここで、渦動粘性係数  $A_z$ 、渦動拡散係数  $D_z$  は Richardson 数の関数とし、それぞれ  $A_z = A_{z0} e^{-1.5Ri}$  および  $D_z = D_{z0} e^{-2.0Ri}$  で与える<sup>3)</sup>。 Richardson 数については局所 Richardson 数を用い、  $A_{z0}$ 、  $D_{z0}$  はともに  $80 \text{ cm}^2/\text{s}$  とする。

6. モデルの旧淀川への適用；数値解析モデルを大阪市内の旧淀川に適用する。対象領域は下流端の安治川大橋から上流端の毛馬水門まで約10kmの区間をとり、分合流する河川には堂島川と土佐堀川のみを考える。湯水時であった昭和59年10月16日から11月10日までの26日間を対象期間とし、下流端水位、毛馬水門放流量の実測値を境界条件として与える。

図-3、図-4はそれぞれ10月19日、11月9～10日における観測結果と計算結果より描いた等濃度線図である。計算では鉛直方向に混合がやや進んでいるが、塩水の遡上距離はほぼ等しい。また、潮位と放流量の時間的変化により、塩水の遡上が変化する様子がよく表わされている。図-5は桜宮橋地点での鉛直方向の流速および濃度分布を観測日ごとに示したものである。計算値の方が濃度分布が比較的緩やかに変化し、流速の鉛直方向の変化も滑らかであるが、おおむね観測値の傾向を表わしているといえる。今後は、より現実に近いように寝屋川などの支流川の分合流を取り入れるとともに、渦動拡散係数に関する考慮をさらに加えていく必要があるだろう。

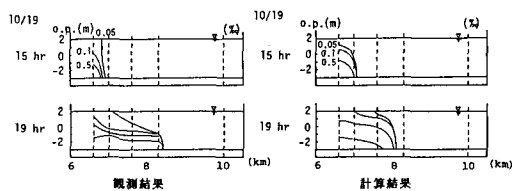


図-3 濃度分布図（10月19日）

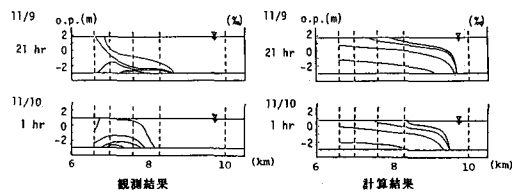


図-4 濃度分布図（11月9～10日）

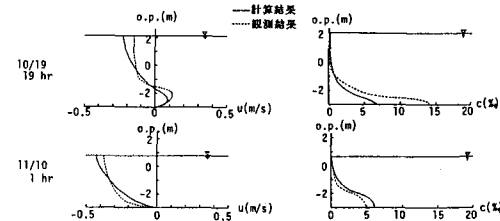


図-5 桜宮橋における流速分布と濃度分布

7. 放流操作に関する数値シミュレーション；流量が低下したとき、旧淀川では塩水の遡上を抑制するために毛馬水門において、下げ潮時以外は一定流量を放流し、下げ潮時に多量の水を放流するフラッシュ操作が行われる。ここではこの下げ潮時放流の他に、上げ潮時に多量の放流を行う上げ潮時放流および潮位変動に無関係に一定流量を常に流す一定放流という3つの放流法を考え、それぞれの塩水遡上の特徴を比較検討する。図-6は0.1% (100 ppm) の等濃度線の最上流端を塩水の先端位置と定め、各ケースにおいてその時間的変化を表わした図であり、日平均放流量が62.5%および34.6%、河口の潮汐は小潮および大潮の4通りの場合について行った。上げ潮時放流では遡上距離の変動幅が他の2つに比べて小さく、塩水くさびの先端はほぼ一定の位置にとどまっている。下げ潮時放流では放流量を増したときの塩水の後退は大きい。上げ潮時には逆に塩水の遡上が進み、先端の変動幅は最も大きい。そして、一定放流は両者の中間の傾向を示している。下げ潮時放流を行う場合、実際の取水にあたっては、塩水くさびの遡上距離の時間的変動幅が大きいことを考慮し、塩水が後退したときに取水を行い、放流量が減少して塩水が上流まで遡上したときには一時取水を停止するような方法が有効と考えられる。また、小潮時と大潮時とを比較すると、小潮時の方が塩水は侵入しやすく、大潮時は小潮時より小さい流量でも塩水の遡上を抑制することが可能のように見受けられる。

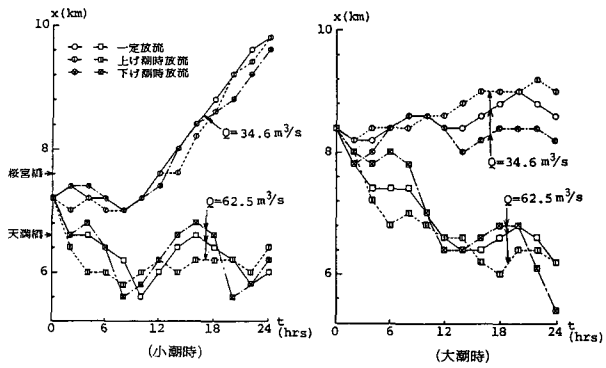


図-6 塩水の先端位置の時間的変化

<参考文献> 1)青木岩佐・井上：土木学会第37回年講，II-198，1982. 2)堀江毅：『沿岸海域の水の流しと物質拡散に関する水理学的研究』京都大学博士論文，1981. 3) Momentum and Mass transfer in Stratified Flow, Delft Hydraulics Lab., Report R 880, Dec., 1979.