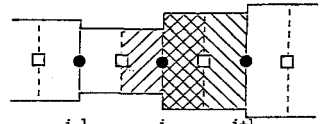


河口感潮域における塩分遡上の解析

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

1. まえがき；本報は、河口感潮域における塩分遡上現象の解析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考え、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分遡上について、観測値と比較したものである。

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になる。¹⁾



● u 計算位置
□ 濃度計算位置
運動方程式
連続式
拡散方程式

図-1 計算モデル

$$\text{運動方程式 } x \text{ 方向: } \frac{U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} - U_{i+1/2, k+1/2}^n}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \{ U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} U_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} - U_{i+1/2, k+1/2}^n U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ w_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} U_{i+1/2, k+1/2}^n - w_{i+1/2, k+1/2}^n U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} \} + \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ P_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - P_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} - \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ P_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - P_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} - \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ \tau_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} - \tau_{i+1/2, k+1/2}^n \} = 0 \quad (1)$$

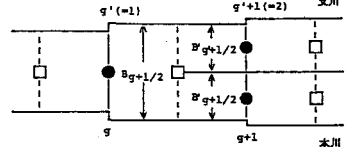
$$z \text{ 方向: } P_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} = g \left\{ \sum_{k=1}^K \Delta z P_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} - \frac{1}{2} \Delta z P_{i+1/2, k+1/2}^{n+2} \right\} + 2 P_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} \quad (2)$$

$$\text{連続式} \quad \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - U_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ w_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} - w_{i+1/2, k+1/2}^n \} = 0 \quad (3)$$

$$\text{拡散方程式} \quad \frac{C_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} - C_{i+1/2, k+1/2}^n}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \{ U_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} C_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} - U_{i+1/2, k+1/2}^n C_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} \} + \frac{1}{\Delta z} \{ w_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} C_{i+1/2, k+1/2}^n - w_{i+1/2, k+1/2}^n C_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} \} - \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ D_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - D_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} - \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ D_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - D_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} - \frac{1}{\Delta x} \frac{1}{B_{i+1/2}} \{ D_{i+1/2, k+1/2}^{n+1} B_{i+1/2} - D_{i+1/2, k+1/2}^n B_{i+1/2} \} = 0 \quad (4)$$

ここに、移流項の U や C に現れている 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。



● u 計算位置
□ 濃度計算位置

図-2 合流部の計算モデル

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

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

この流速の正負により、本川と支川で別々に運動量の流出入を考える。なお、分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 ρ は水温が 19°C で一定としたとき、塩分濃度 $S\%$ により次のように表される。

$$\rho = (6476.625 + 3.0S) / \{ (1966.35555 - 3.99S) + 0.6980(6476.625 + 3.0S) \} \quad (5)$$

5. せん断応力および拡散係数について；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、 $\tau_b = \rho_b^2 u^2$ ρ_b^2 :抵抗係数(=0.0026)で表し、²⁾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、 $\tau = A_z \frac{\partial u}{\partial z}$ で表す。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 $A_z = A_{z0} e^{-1.5R\lambda}$ および $D_z = D_{z0} e^{-3.0R\lambda}$ で与える。³⁾Richardson数については局所Richardson数を用い、 A_{z0} 、 D_{z0} はともに80cm²/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、分合流は堂島川と土佐堀川のみを考える。渇水時であり、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-5はそれぞれ10月19日、10月29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变化により、塩水の遡上が変化する様子がよく表されている。図-6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遷移し、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支流川に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たい。

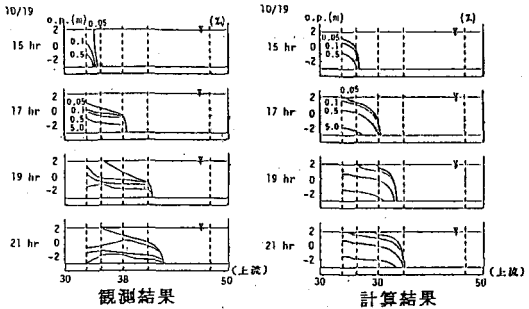


図-3 濃度分布図(10月19日)

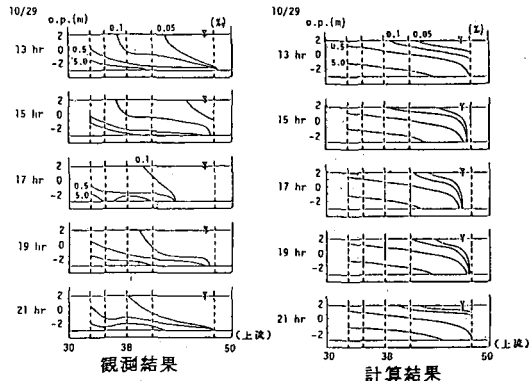


図-4 濃度分布図(10月29日)

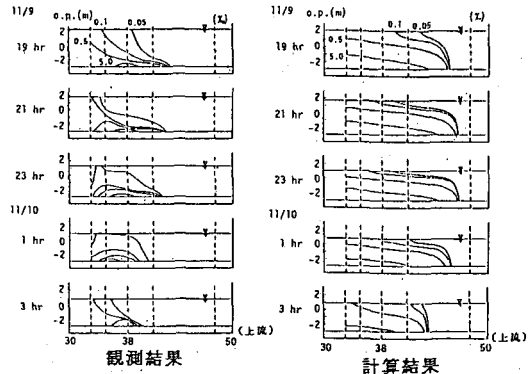


図-5 濃度分布図(11月9～10日)

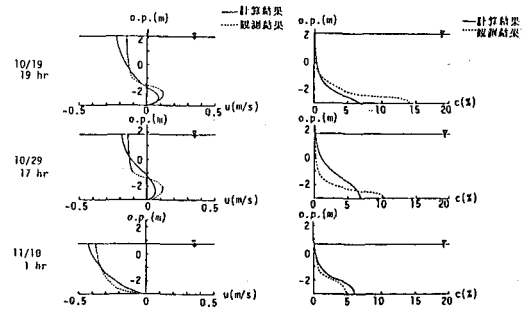


図-6 桜宮橋における流速分布と濃度分布

<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:「沿岸海域の水の流れ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 R880, Dec. 1974.