

河川における横拡散の平面2次元解析

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗 京都大学工学部 正 員 綾 史郎
建 設 省 正 員 井上 智夫 京都大学大学院 学生員○尾植 正順

1. はじめに; 本研究は、複雑な河道形状を有する河川の流れと水質混合特性を、数値モデルにより解析するものである。数値モデルとしては、平面2次元解析モデルを用いている。本報では、平面2次元流れの連続式、運動方程式および移流分散方程式を、一般曲線座標系において記述し、新しい計算スキームを用いた離散化について述べた。次に、これを用いて、淀川の流れといくつかの拡散物質について横拡散現象の解析を行った。

2. 基礎方程式系およびその離散化;

(1) 基礎方程式系; 本研究で対象とする流れは、水深方向に対して水路幅方向および流下方向に広い領域を有しており、 x_3 軸(鉛直)方向に水理量変化の小さい、一様な密度の流れである。デカルト座標系における連続式、 x_1, x_2 軸方向の運動方程式、移流分散方程式を水深積分し、平面2次元流れの基礎方程式系を得た後、これを座標変換

$$\xi_i = \xi_i(x_1, x_2) \quad i=1, 2 \quad (1)$$

によって、一般曲線座標系上のそれに改めると、以下の式を得る¹⁾。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ h \\ N \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} U^i M_1 \\ U^i M_2 \\ U^i h \\ U^i N \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(\frac{1}{J} \right) \begin{pmatrix} h \tau^{1i} / \rho \\ h \tau^{2i} / \rho \\ 0 \\ h S^i \end{pmatrix} + \frac{1}{J} \begin{pmatrix} -gh \cdot \partial \xi_i / \partial x_1 \cdot \partial \zeta / \partial \xi_i \\ -gh \cdot \partial \xi_i / \partial x_2 \cdot \partial \zeta / \partial \xi_i \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{J} \begin{pmatrix} -\tau_{1b} / \rho \\ -\tau_{2b} / \rho \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここに、 M_i : x_i 軸方向の流束、 h : 水深、 N : 濃度の水深積分、 ζ : 水位、 z_b : 河床高さ、 U_i : x_i 軸方向の水深平均流速、 τ_{ij} : x_i 軸に垂直な面に働く x_j 軸方向の応力、 S^i : x_i 軸方向の勾配輸送型フラックス、 τ_{ib} : x_i 軸方向の底面せん断応力、 J : 座標変換に関する Transformation Jacobian である。また、 U^i, S^i は各々水深平均流速ベクトル、分散フラックスベクトルの反変ベクトル成分であって、また、 τ_{ij} と τ^{ij} との関係は、

$$U^i = \partial \xi_i / \partial x_j \cdot U_j \quad (3) \quad S^i = \partial \xi_i / \partial x_j \cdot S_j \quad (4) \quad \tau^{ij} = \partial \xi_j / \partial x_k \cdot \tau_{ik} \quad (5)$$

である。なお、式(2)の第1, 第2式は、各々 x_1, x_2 軸方向の流束 M_1, M_2 に関する運動方程式であり、第3式は、連続式、第4式は、移流分散方程式である。

(2) 離散化の誘導; 基礎方程式系(2)の離散式を ξ_1 - ξ_2 座標系における積分により求める。局所的時間変化項については、時間2次精度を有する Adams-Bashforth 法により離散式を得る。移流項については、2次精度風上差分法(Donor-Cell法)あるいは、武本²⁾らによる3次精度風上差分法(QUICK法)を用いる。粘性項、拡散(分散)項については、面積積分をした後、中央差分により求める。圧力項については、Staggered Schemeにより離散化する。また、底面せん断応力の評価は、Manning型の抵抗則を適用する。

3. 数値解析結果とその考察;

(1) 流れ場の数値解析; 本研究で対象とする水域は、淀川河道の低水路部分とし、上流端に34.2km地点、下流端に32.0km地点をとり、Fig. 1に示すような非正方形の格子網を生成し、流れ場を求めた。粗度係数 $n=0.02$ とし、初期条件は静水状態で、上流端で流量-時間曲線、下流端で水位-時間曲線を与え、側岸部でノンスリップ条件を適用した。水理量については、大阪府水道部淀川水系水質報告書(S62年3月)のデータ(S61年10月28日観測)と比較できるよう考慮し、定常流量($90\text{m}^3/\text{s}$)、定水位(6.0m)に滑らかに接続させ、時間発展を行い定常解を求めた。時間差分間隔は、 $\Delta t = 0.25\text{sec}$ とし、空間差分間隔は物理面上で、約50m

Yoshiaki Iwasa, Shirou Aya, Tomoo Inoue, Masanao Oue

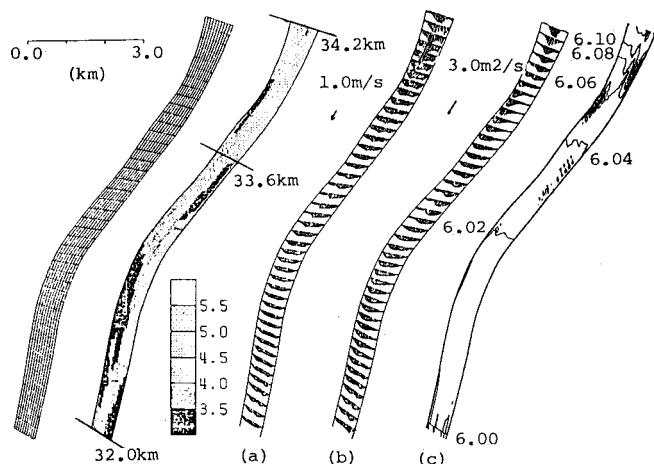


Fig. 1 Fig. 2

Fig. 3

Fig. 1 非正方形格子網

Fig. 2 河床高図

Fig. 3 流れ場の計算結果

(a) 流速ベクトル図 (b) 運動量束ベクトル図 (c) 等水位線図

(流下方向) * 約10m (横断方向) の長方形格子に相当する。河床高は、Fig. 2で示されるものを用いた。得られた流速ベクトル図、運動量束ベクトル図、等水位線図を示したのがFig. 3である。全体を通して、運動量束ベクトルの向きは河道形状に沿って滑らかに変化し、流速は側岸付近で小さくなっている。運動量束ベクトル図より、流れは河床高の比較的低い部分を通っていることがわかる。

(2) 濃度場の数値解析: 濃度場の計算は、(1)で示した流れ場が、ほぼ定常になったと考えられる時刻から流れ場の計算と同時にを行い、時間発展を行った。上流端境界条件としては、S61年10月28日に調査された観測値による拡散量の濃度分布を与えた。下流端境界条件としては、濃度勾配を一定とし、側岸部では、濃度勾配 $\partial C / \partial y = 0$ とした。三川合流後の34.2km地点(検査面1)における観測値を上流端境界条件として与え、33.6km地点(検査面2)における観測値と、横分散係数 $\alpha_T = 0.20$ と $\alpha_T = 2.00$ とした場合の計算値を、濃度横断分布図で示したものがFig. 4である。観測流量は、二断面で保存されておらず、そのため物質も保存されていないので、同図中では定常な流れ場の計算結果をもとにして、検査面1を通過する物質と検査面2を通過する物質量が等しくなるように、検査面2の観測値を修正している。横分散係数の影響をみると、 $\alpha_T = 2.00$ としたほうが、横断方向の濃度勾配が緩やかになり、拡散物質が横にひろがり、観測値に近い結果が得られるが、計算値と観測値とは、拡散物質により必ずしも一致しているとは言えない。 $\alpha_T = 2.00$ は、従来報告されている値から考えると大きめの値であるが、観測濃度分布からは、より大きな α_T の可能性も予想され、対象水域が三川合流の直後であり、混合が盛んなことも考慮されねばならないであろう。また、計算に用いた河床地形と観測日におけるそれが必ずしも同一でないこと、検査面2の上流左岸より小支川(放生川)の流入があることなど、数値モデルと実物との相違も考慮する必要がある。

4. おわりに; 一般曲線座標系による平面2次元モデルを用いて、複雑な河道形状を有する実河川における横分散現象の数値解析を行い、観測値と比較した。離散化手法の検討とあわせて、生成された格子網の影響、境界条件の設定法、分散係数値の検討を行い、より精度の高いモデル構成を図る必要がある。

《参考文献》(1)岩佐、綾、土屋、井上: 関西支部年次学術講演会, 1987. (2)Takemoto et al: Trans. JSID E, No. 121, 1987.

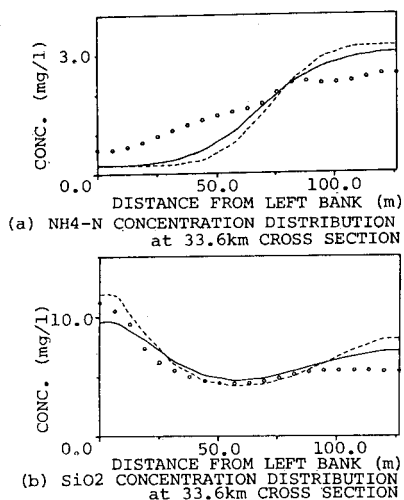


Fig. 4 濃度横断分布図

Observed
Simulated $\alpha_T = 0.20$ ---
 $\alpha_T = 2.00$ —