

河川における横分散特性の数値実験

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
鹿 島 建 設 正員 馬場 寿人 大 林 組 正員○鎌田 知仁

1. はじめに

本研究は複雑な地形形状を有する河川の流れと水質混合特性を一般曲線座標系を用いた平面二次元解析モデルにより明らかにするものである。本報では、濃度の横分散に影響を与えられとされる要因のうち流況および河床形状の違いによる水質混合機構の変化について、淀川中流部とモデル河道との比較により考察する。

2. 基礎方程式系とその離散化

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、乱流拡散方程式を水深積分し、平面二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ものに改めた、以下の式を用いる。

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

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_j 軸に垂直な面に働く x_i 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、

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

である。なお、式(2)の第1, 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式は乱流拡散方程式である。基礎方程式の詳細、および離散化、数値計算法については既報の文献¹⁾²⁾を参照されたい。

3. 数値解析結果とその考察

(1)実験方法と計算条件:本研究で対象とする領域は、淀川32.0kmを下流端とし、上流境界を桂川36.2km、宇治川36.2km、木津川0.4kmとする三川合流部を含む淀川中流部であり、河床形状の影響を見るために、実河道と長方形断面のモデル河道との2つに対して、数値実験を行った。2種の河道の河床高をFig. 1(a)(b)に示す。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。また、設定された流況は、Regime 185, 275, 355で表されていて、各々流況年表より求めた平水流量、低水流量、渇水流量に相当している。濃度の境界条件としては桂川上流端に基準濃度100を与え、宇治川、木津川についてはゼロとしている。時間離散化間隔 $\Delta t=0.1$ sec、空間差分間隔は物理面上で、約50m(流下方向)×約10m(横断方向)の非長方形格子である。

(2)流れ場と濃度場の計算結果:得られた計算結果のうち、Regime 185とRegime 275についての運動量束図を実河道についてはFig. 2(a)(b)、モデル河道についてはFig. 3(a)(b)に示す。また33.6km地点での横断方向濃度分布をFig. 4(淀川中流部)、Fig. 5(モデル河道)に示す。まず、実河道では、全体流量が小さくなるに従って水深が低下し、河床形状の影響を強く受ける傾向がみられ、滞筋にそった流れが発達して流れの非一様化が進む。その結果、濃度の横分散が促進されるという結果が得られた。一方モデル河道では、全体流量の減少に伴い運動量束ベクトルの絶対値は小さくなるが、横断方向の運動量束分布はどちらもほ

Yoshiaki IWASA, Shirou AYA, Hisato BABA, Tomohito KAMATA

ば一様となっている。濃度の横分散は実河道における結果に比べて抑制されていて、また流量変化に伴う横分散の変化はほとんどみられない。

4. 結論

数値実験により、淀川中流部の水質混合に河床形状が強い影響を与えていることがわかった。すなわち、河床形状が非一様であることより、小流量時には滞筋に沿った流れが発達し、水質の横分散を加速する。流量が増加するに従い、流れは一様化し、分散は抑制される。長方形断面河道では、水質の横分散は、極めて小さくなり、また流況の違いによる横分散の変化もあまりみられない。

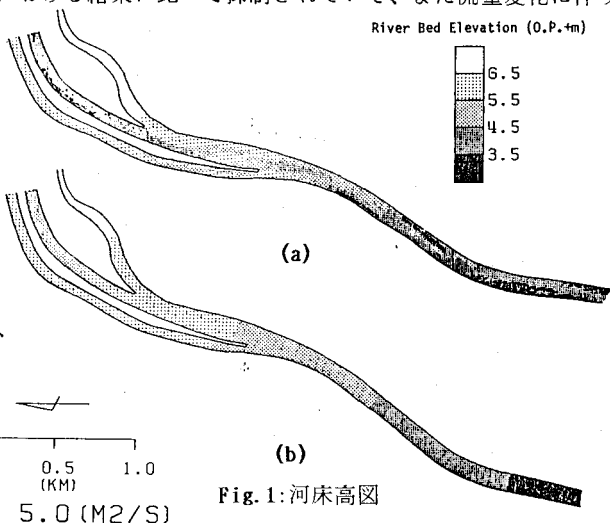


Fig. 1: 河床高図

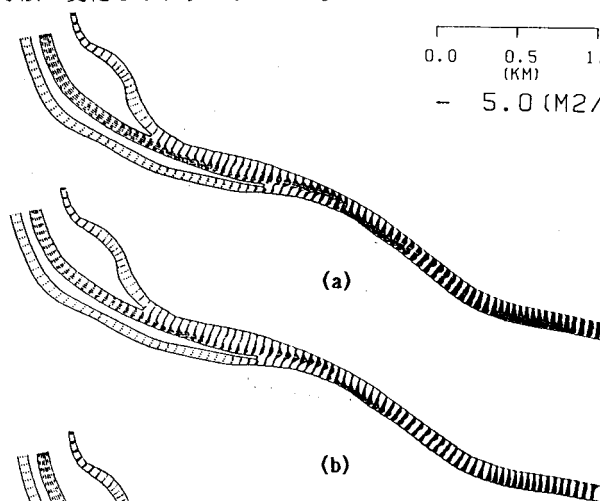


Fig. 2: 運動量束ベクトル図 (実河道)

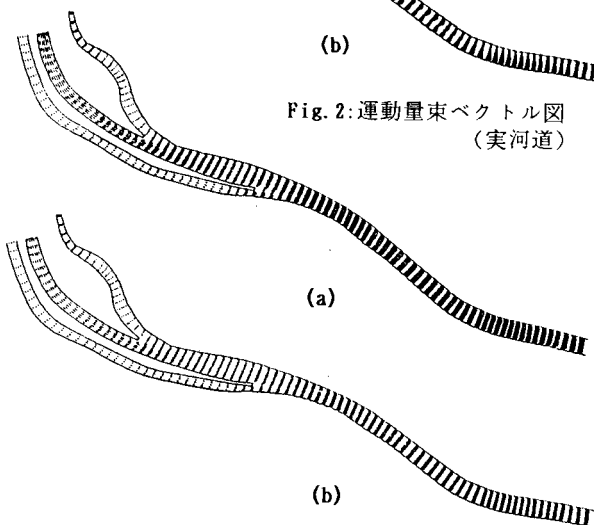


Fig. 3: 運動量束ベクトル図 (モデル河道)

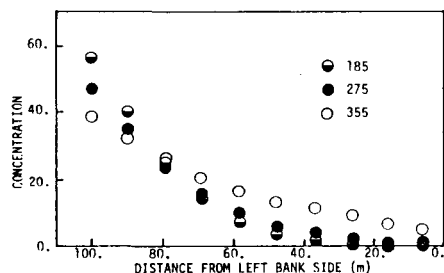


Fig. 4: 横断方向濃度分布図 (実河道)

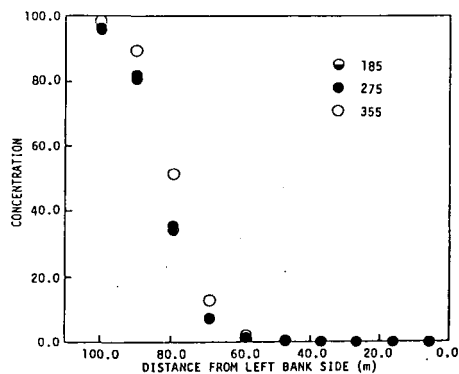


Fig. 5: 横断方向濃度分布図 (モデル河道)

- 参考文献 1) 岩佐・綾・井上: 京大防災研年報 No. 32, B-2, pp. 670-677, 1989,
2) 岩佐・綾・馬場: 水工学論文集 Vol. 34, pp. 541-546, 1990,