

CS-57

一般曲線座標系による淀川大堰上流水域の3次元数値モデル

大阪工業大学大学院 学生員○柳生 光彦
建設省 正員 吉田 大
大阪工業大学工学部 正員 綾 史郎

1. はじめに 本研究は一般曲線座標系を用いた河川流の3次元数値解析モデルの開発と、淀川大堰上流水域を対象として行った数値解析結果について述べたものである。

本研究では、その従属変数も一般曲線座標系におけるものとした運動方程式¹⁾²⁾を用いることとし、計算時間の短縮を目的としてまず2次元平均流を求め、次に3次元流れとの偏差量を求め、最後に2次元平均流と偏差をたし合わせ、3次元流れを求める方法を行った。従って、2次元平均流の計算を行う必要があるが、トータルの時間の短縮となる。

2. 基礎方程式 水平面内には一般曲線座標 ξ_1, ξ_2 を、また鉛直方向には鉛直上向きのデカルト座標 z を用いて変換された基礎方程式を以下に示す。

・3次元流れの ξ_1 軸方向の運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^1}{\partial t} = & -gJ^2 \left(G_{22} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_2} \right) \\ & + J^2 \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^3 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^2 u^3 \right) \right] + J^2 \left[\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{11}}{J\rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{12}}{J\rho_0} \right) - \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{21}}{J\rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{22}}{J\rho_0} \right) \right] \\ & - J^2 \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^3 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^2 u^3 \right) \right] \\ & - \frac{\partial w u^1}{\partial z} \end{aligned} \quad (1)$$

$$G_{12} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right) \quad G_{22} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right)^2$$

ここに、 u^1, u^2 :それぞれ ξ_1 軸方向の計算面での3次元流速、 w : z 軸方向の3次元流速、 g :重力加速度、 J :Transformation Jacobian、 ζ :水位、 τ^{11}/ρ_0 : ξ_1 軸に垂直な面に作用する ξ_1 軸方向の渦動粘性応力、 A_v : z 軸方向の渦動粘性係数である。 ξ_2 軸方向の方程式と連続式は省略する。

・2次元平均流の ξ_1 軸方向の運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} = & -gJ^2 \left(G_{22} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_2} \right) \\ & + J \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} U U + \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} U V \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} U V + \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} V V \right) \right] + \frac{J^2}{h} \left[\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} h \frac{\tau^{11}}{J\rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} h \frac{\tau^{12}}{J\rho_0} \right) - \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} h \frac{\tau^{21}}{J\rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} h \frac{\tau^{22}}{J\rho_0} \right) \right] \\ & - J \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} U U + \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} U V \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} U V + \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} V V \right) \right] + \frac{1}{h} \frac{\tau^{11}}{\rho_0} \\ & + U \left(\frac{\partial U}{\partial \xi_1} + \frac{\partial V}{\partial \xi_2} \right) - \frac{1}{h} \frac{\tau^{1b}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 U, V :それぞれ ξ_1, ξ_2 軸方向の計算面での2次元流速、 h :水深、 τ^{11}/ρ_0 : ξ_1 軸方向に作用する風による表面せん断項、 τ^{1b}/ρ_0 : ξ_1 軸方向に作用する底面摩擦せん断項である。(1)式から(2)式を差し引けば、偏差量 $u'' = u - U$ の方程式が得られる。

3. 数値解析の結果と考察 計算条件は上層3.2(m)、中層と下層がそれぞれ2.5(m)の3層モデルとし中層の上面を0.P.±0.0(m)とし、また、簡単のため河床高は一様に0.P.-5.0(m)とした。流入端を東側上流境界におき3層

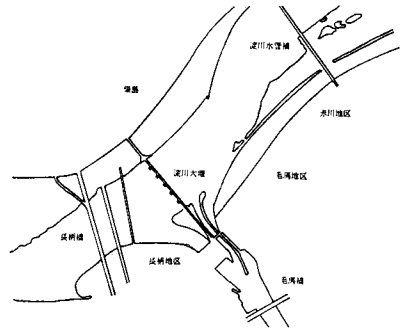


図-1 淀川下流域

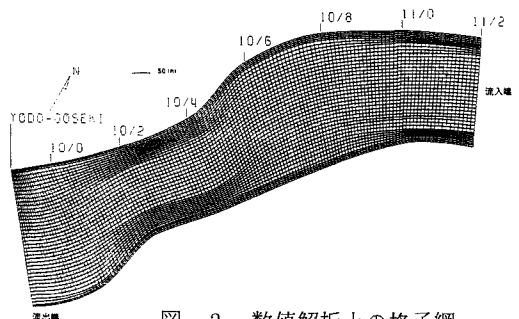


図-2 数値解析上の格子網

に一樣に、 x 軸方向の流速を与え、流出端を南西隅境界におき上層にのみ、 y 軸方向の流速を与え、流入流量＝流出流量＝ $150(\text{m}^3/\text{s})$ とした。この条件で流れ場の定常状態を求め、それに風による表面せん断を加えた。

・南南東の風 $0.5(\text{m/s})$ の場合 水位分布はほぼ川の中央部に初期水位の線が現れる。上層では風向きと同方向の流れが卓越し、 $10/8(\text{km})$ 付近に川の平面形状に沿って集まる流れがみられる。

・南南東の風 $2.0(\text{m/s})$ の場合 水位分布は風向きと垂直方向に等水位線が現れる。上層では風向きと同方向の流れが卓越してくる。南側壁面に沿った西向きの流れも強くなる。これは、水位の低下、中層、下層からの湧き上がり、そして流出端が南西端にあること等による相乗効果の現れであると考えられる。各断面での流速分布を見ると、上層は風下に下層は風上に流れる循環がみられるが、中層は上層の流速の大きい風下側で風下に流れ、下層の流速の大きい風上側で南向きに流れが生じており上下層の流れによる連行によるものであると考えられる。

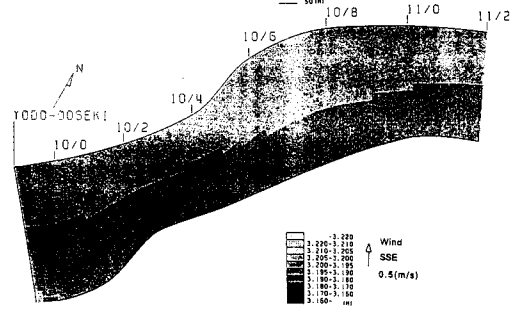


図-3 水位分布

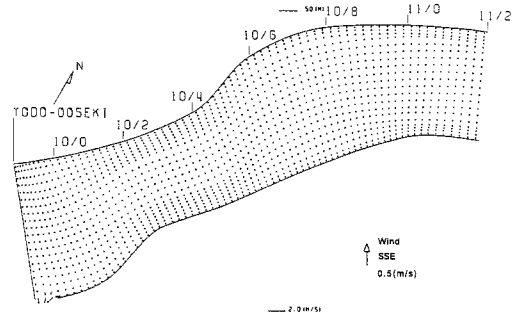


図-4 上流の3次元流れの流速分布

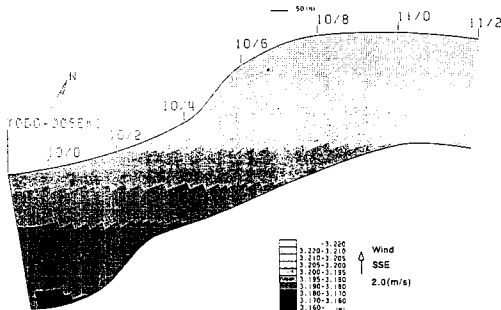


図-5 水位分布

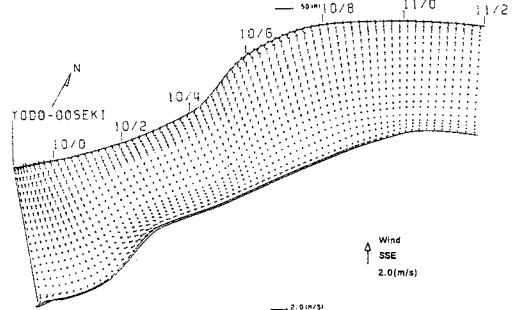


図-6 上流の3次元流れの流速分布

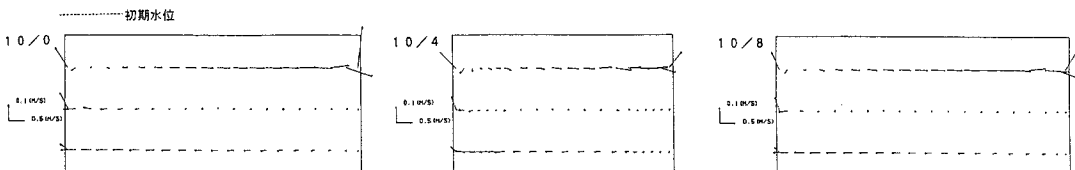


図-7 各断面での3次元流れの流速分布

4. おわりに 本研究の結果(1)短い計算時間で(2)精度の良い解を得る(3)3次元数値解析モデルを開発した。吹送流の特性として(4)風速、風向きの違いによる水位変化と(5)鉛直面内での循環流の形態の違い等を得た。また、今度の課題として(1)2次元、3次元の各式に独立して与えなければならない条件（風による表面せん断項、底面及び壁面摩擦項）に対する検討、(2)非一様な河床形状のモデルに対する解析がある。最後に、淀川大堰上流水域における測量データを提供していただいた建設省近畿地方建設局淀川工事事務所、またこれを整理していただいた大阪工大河川研究室卒業生諸氏に対し感謝いたします。

参考文献：1)松永・福岡・渡辺・川島：土木学会第48回年次学術講演会講演集，1993。

2)Johnson, B. H. et al; J. Hydraulic Eng., vol. 119, No. 1, 1993.