

建設省 正員○吉田 大

大阪工業大学 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次元数値解析のモデルの開発と、淀川大堰上流水域を対象として行った数値解析の結果について述べたものである。

従来より我々が用いてきた一般曲線座標系上の基礎方程式系は運動方程式における従属変数がデカルト座標系のものであり、簡単ではあったが水面勾配が微小な場合、適切な精度で解が得られない場合があった。本研究では、その従属変数が一般曲線座標系におけるものとした運動方程式を用いた¹⁾。また、一般に3次元計算では膨大な計算時間が必要となるが、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次元平均流と偏差量をたし合わせ3次元流れを求めた。これは、最大時間間隔 Δt を規定するC.F.L.条件が2次元平均流の場合 $\Delta t = \Delta x_i / (u_i + gh)$ となるのに対し、偏差量の式では後述の(1)、(2)式より静水圧項が打ち消し合うため、 $\Delta t_2 = \Delta x_i / u_i$ と変形されるからである。従って、2次元平均流の計算を行う必要があるが、トータルの計算時間の短縮となる。

2. 基礎方程式 本研究で用いた基礎式を以下に示す。なお、水平面内には一般曲線座標を、また鉛直方向には鉛直上向きのデカルト座標を用いた。

・3次元流れの ξ_1 軸方向の運動方程式

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

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

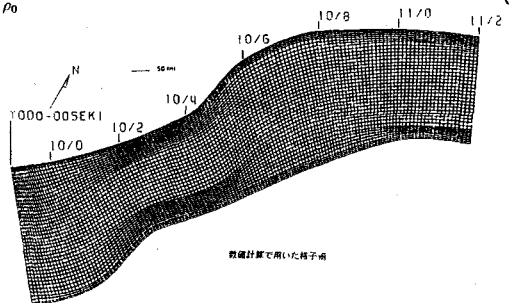
ここに、 u^1, u^2 :それぞれ ξ_1, ξ_2 軸方向の計算面での3次元流速、 w : z 軸方向の3次元流速、 g :動加速度、 J :Transformation Jacobian、 ζ :水位、 τ^{ij}/ρ_0 : ξ_i 軸に垂直な面に作用する ξ_j 軸方向の渦動粘性応力、 A_v : z 軸方向の渦動粘性係数である。 ξ_2 軸方向の方程式と連続式は省略する。

・2次元平均流の ξ_1 軸方向の運動方程式

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

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^{1a}/ρ_0 : ξ_i 軸方向に作用する風による表面せん断項、 τ^{1b}/ρ_0 : ξ_i 軸方向に作用する底面摩擦せん断項である。(1)式から(2)式を差し引くことにより、偏差量 $u''=u-U$ の方程式が得られる。

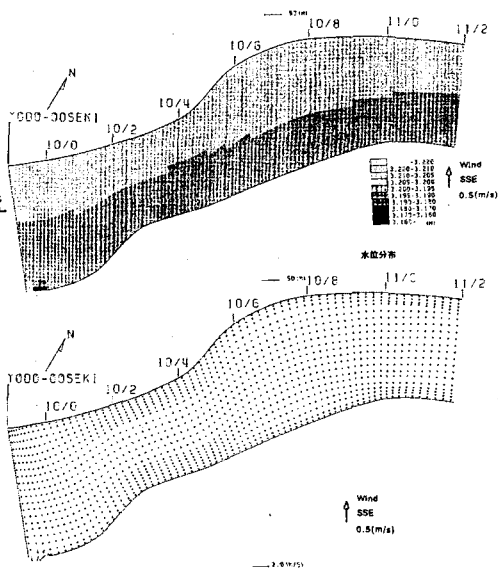
3. 数値解析の結果と考察 計算条件は上層3.2(m)、中層と下層がそれぞれ2.5(m)の3層モデルとし中層の



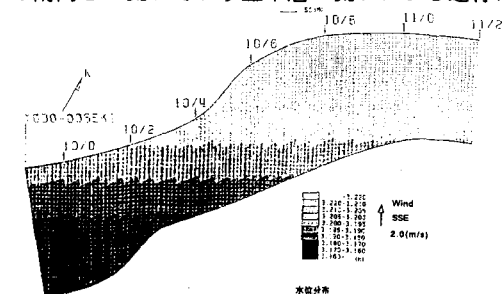
上面を0.P.±0.0(m)とし、また、簡単のため河床高は一樣に0.P.-5.0(m)とした。流入端を東側上流境界におき3層に一樣に u_1 軸方向の流速を与え、流出端を南西隅境界におき上層にのみ u_2 軸方向の流速を与え、流入流量=流出流量=150(m³/s)とした。この条件で流れ場の定常状態を求め、それに風による表面せん断力を加えた。

・南南東の風0.5(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(km)付近に川の平面形状に沿って集まる流れがみられる。

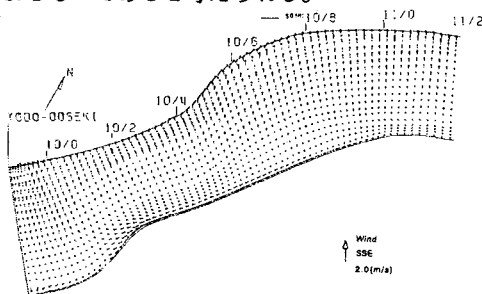
・南南東の風2.0(m/s)の場合 水位分布は風向きと垂直方向に等水位線が現れる。上層では風向きと同方向の流れが卓越してくる。南側壁面に沿った西向きの流れも強くなる。これは、水位の低下、中層、下層からの湧き上がり、そして流出端が南西隅にあること等による相乗効果の現れであると考えられる。各鉛直断面での流速分布をみると、上層は風下に下層は風上に流れる循環がみられるが、中層は上層の流速の大きい風下側で風下に流れ、下層の流速の大きい風上側では南向きに流れており上下層の流れによる連行によるものであると考えられる。



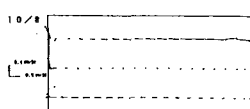
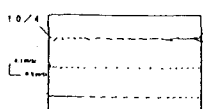
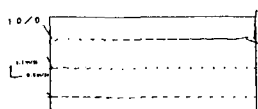
上層の3次元流れの流速分布



水位分布



上層の3次元流れの流速分布



各断面での3次元流れの流速分布 Wind SSE 2.0(m/s)

5. 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、今後の課題として(1) 2次元、3次元の各式に独立して与えねばならない条件(風による表面せん断項、底面および壁面摩擦項)に対する検討、(2) 非一樣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業大学土木工学科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)松永宣夫・福岡捷二・渡辺明英・川島幹雄：一般座標系を用いた密集市街地氾濫流の数値シミュレーション，土木学会第48回年次学術講演会講演集，1993。