

II - 262

 σ -座標系を用いた淀川下流域における流れの3次元数値解析

建設技術研究所 正員 丸山哲也
 大阪工業大学大学院 学生員 恩賀俊樹
 大阪工業大学工学部 正員 綾 史郎

1. はじめに

河川湛水域では、通常の河川と異なって水深が大きくなり流速は極めて小さくなるため、流れは日射や風向などの影響を多大に受け、3次的に複雑な運動となる。したがって、このような水域では3次元解析が必要となる。本研究は、水平方向の一般曲線座標系に加え、鉛直方向にも曲線座標である σ -座標系を導入した運動方程式を開発し、同水域に適用することによりモデルの妥当性について検討したものである。

2. 基礎方程式 デカルト座標系 (x_1, x_2, x_3) における流れの基礎方程式は、連続式と静水圧近似と Boussinesq 近似を仮定した運動方程式で、以下のよう表される。 $(i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2)$

$$\cdot \text{連続式} \quad \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1) \quad \cdot \text{運動方程式} \quad \frac{\partial u_j}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_i} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\tau_{ji}}{\rho_0} \right) \quad (2)$$

ここに、 u_i : x_i 軸方向の(時間)平均流速ベクトル、 g : 重力加速度、 ζ : 水位、 h : 水深、 τ_{ji}/ρ_0 : x_i 軸に垂直な面に作用する x_j 軸方向の Reynolds 応力である。本研究では、水平方向に一般曲線座標系、鉛直方向に σ -座標系を導入する。ここで σ -座標系とは、鉛直方向の層分割を水深に拘わらず同数で分割すると共に、長さスケールで水深を除き一定値に基準化するものであり、次式で表される。

$$\sigma = -\frac{\zeta - x_3}{h} \quad (3)$$

微分係数の座標変換は連鎖定理を用いて以下のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x_1} = \frac{\partial \xi_1}{\partial x_1} \frac{\partial}{\partial \xi_1} + \frac{\partial \xi_2}{\partial x_1} \frac{\partial}{\partial \xi_2} + \frac{\partial \sigma}{\partial x_1} \frac{\partial}{\partial \sigma} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_2} = \frac{\partial \xi_1}{\partial x_2} \frac{\partial}{\partial \xi_1} + \frac{\partial \xi_2}{\partial x_2} \frac{\partial}{\partial \xi_2} + \frac{\partial \sigma}{\partial x_2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_3} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial \sigma} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} - \frac{1}{h} (1 + \sigma) \frac{\partial \zeta}{\partial t} \frac{\partial}{\partial \sigma} \quad (7)$$

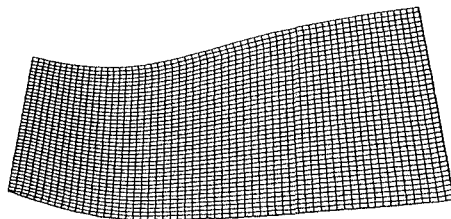


図-1 数値格子網

基礎方程式(1),(2)は、以上の数学的関係を用いて曲線座標系 (ξ_1, ξ_2, σ) における基礎方程式に変換される。

3. 数値実験の概要 数値実験は、淀川距離標12/8から13/4までの600mの水域を対象として行った。数値解析を行うにあたって、対象水域を流下方向(ξ_1 方向)に60分割、水路幅方向(ξ_2 方向)に40分割、鉛直方向(σ 方向)に10分割し、水平方向に10m×5mの大きさで5層から成る数値格子網を生成した(図-1)。境界条件は、東側上流境界において流量を、西側下流境界において水位を与えた。また、水平方向の渦動粘性係数 $A_h = 0.1\text{m}^2/\text{s}$ 、鉛直方向の渦動粘性係数 $A_v = 0.0001\text{m}^2/\text{s}$ とし、風による表面せん断応力は考慮していない。なお、差分については、従属変数を staggered に配置し、時間積分には Leap-Frog 法(計算時間間隔0.2秒)、空間差分には2次風上差分、中央差分を適用した。このような条件で、流れ場の定常状態(上流端流量 $150\text{m}^3/\text{s}$ 、下流端水位3.2m)を求め、開発した数値モデルの適用性について考察した。

キーワード 3次元解析、一般曲線座標系、 σ 座標系、河川流

〒535 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工大土木工学科 水圏環境研究室 電話・FAX 06-954-4184

4. 結果と考察

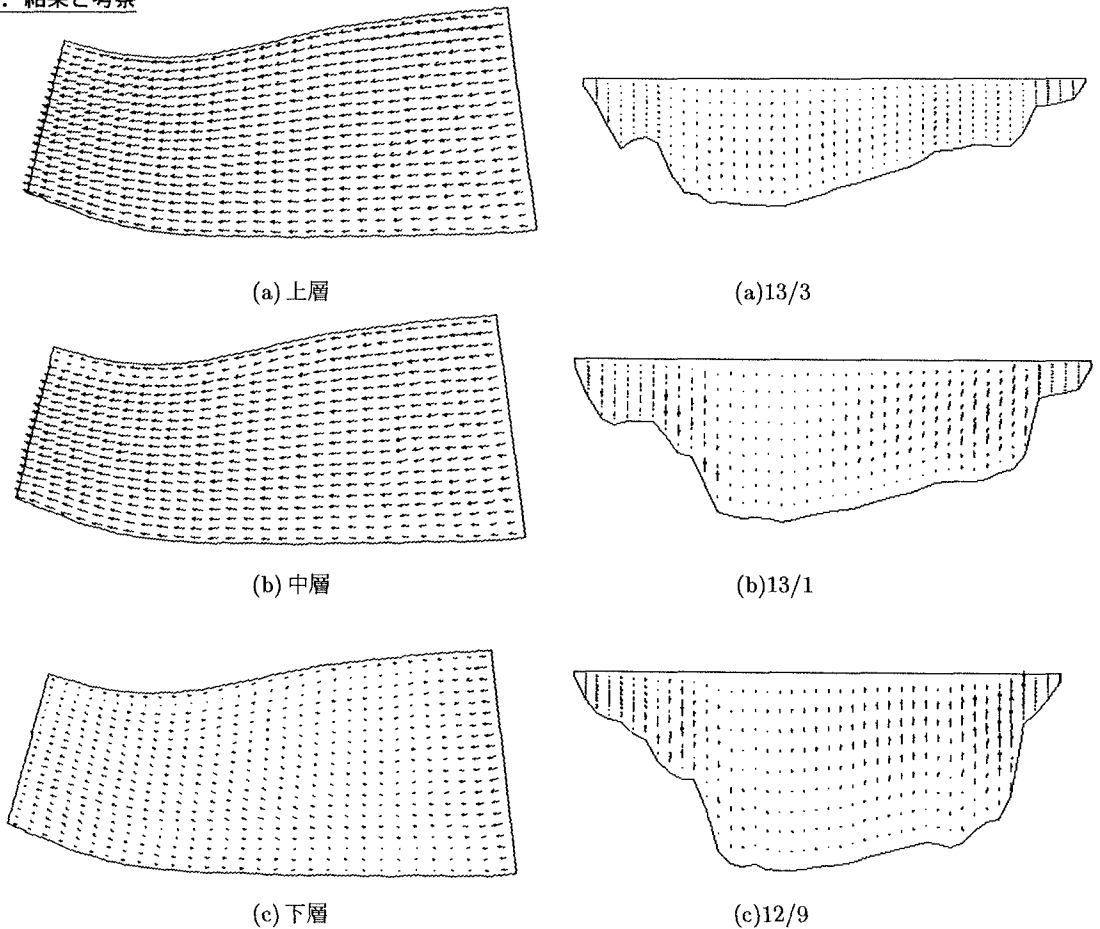


図-2 各層の流速ベクトル分布(平面図)

図-3 各断面の流速ベクトル分布(横断面図)

図-2は平面図で、それぞれ上層、中層、下層の流速ベクトル図である。河道形状に沿った流速分布が得られており、実際の流れが概ね再現できているものと思われる。また、中層から下層にかけて底面摩擦の影響により、流速が小さくなっていることがわかる。

図-3は横断面図で、それぞれ12/9、13/1、13/3地点での流速ベクトル図であり、向かって左が左岸、右が右岸である。河道の湾曲による水路幅方向の水位差によって、鉛直循環流が形成されている。

5. おわりに

本研究では、曲線座標系を用いて淀川下流域を対象とした流れ場の数値計算を行い、ある程度の解を得ることができたが、数値解析法および数値計算結果はまだ十分なものであるとは言い難い。今後はさらなる数値解析モデルの精度向上と共に、物質混合現象の解析も可能となるモデルの開発を考えている。

参考文献

- 1) 白井・中辻：東京湾における3次元数値モデルへの σ 座標系の導入，土木学会第51回年次学術講演会概要集，第2部門，pp.342-343，1996.
- 2) 柳生・吉田・綾：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，土木学会第49回年次学術講演会概要集，共通セッション，pp.116-117，1994.