

II-163

直交曲線座標を用いた河川流の二次元解析

中部大学 工学部 学生員 ○細沢敏史

中部大学 工学部 正員 松尾直規

1. はじめに

本研究は、直交曲線座標を用いた平面一層流モデルを用いて、実河川における流れを数値解析することにより、河川の幾何形状が流れに及ぼす影響を明らかにし、防災並びに環境機能向上に寄与する適切な河道設計のための、基礎的資料を得ようとするものである。

2. 直交曲線座標を用いた平面一層流モデル

表-1 数値解析モデル

【連続式】

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} |h_2 H u_1| \bar{x}|^{i+1} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} |h_1 H u_2| \bar{x}_2^{j+1} = 0$$

【運動方程式】

・X₁方向分値

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_1 H}{\partial t} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} |h_2 H u_1 u_1| \bar{x}|^{i+1} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} |h_1 H u_1 u_2| \bar{x}_2^{j+1} \\ &= -\frac{gH}{h_1 d x_1} |H_0| \bar{x}|^{i+1} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} \left| \frac{E_{x_1 x_1} H}{h_1} \left(h_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right| \bar{x}|^{i+1} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} \left| \frac{E_{x_1 x_2} H}{h_2} \left(-u_2 \frac{\partial h_2}{\partial x_1} + h_2 \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{u_1}{h_1} \right) \right) \right| \bar{x}_2^{j+1} - \frac{\tau_{bx1}}{\rho} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} \left[E_{x_1 x_2} \left(\frac{h_2}{h_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{u_2}{h_2} \right) + \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{u_1}{h_1} \right) \right) - u_1 u_2 \right] |h_1 H| \bar{x}_2^{j+1} \\ &- \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} \left[\frac{E_{x_2 x_2}}{h_2} \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{u_1}{h_1} \frac{\partial h_2}{\partial x_1} \right) - u_2 u_2 \right] |h_2 H| \bar{x}|^{i+1} \end{aligned}$$

・X₂方向分値

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u_2 H}{\partial t} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} |h_2 H u_1 u_2| \bar{x}|^{i+1} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} |h_1 H u_2 u_2| \bar{x}_2^{j+1} \\ &= -\frac{gH}{h_2 d x_2} |H_0| \bar{x}_2^{j+1} + \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} \left| \frac{E_{x_1 x_2} H}{h_1} \left(h_2 \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{u_2}{h_2} \right) - u_1 \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) \right| \bar{x}|^{i+1} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} \left| \frac{E_{x_1 x_2} H}{h_2} \left(h_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + u_1 \frac{\partial h_2}{\partial x_1} \right) \right| \bar{x}_2^{j+1} - \frac{\tau_{bx2}}{\rho} \\ &+ \frac{1}{h_1 h_2 d x_1} \left[E_{x_1 x_2} \left(\frac{h_2}{h_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{u_2}{h_2} \right) + \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{u_1}{h_1} \right) \right) - u_1 u_2 \right] |h_2 H| \bar{x}|^{i+1} \\ &- \frac{1}{h_1 h_2 d x_2} \left(\frac{E_{x_1 x_1}}{h_1} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{u_2}{h_2} \frac{\partial h_1}{\partial x_2} \right) - u_1 u_1 \right) |h_1 H| \bar{x}_2^{j+1} \end{aligned}$$

ここで、 x_1 : 流下方向距離、 x_2 : x_1 と直交する幅方向距離、 u_1, u_2 : x_1, x_2 方向の流速成分、 h_1, h_2 : x_1, x_2 方向の距離補正係数、 H : 水深、 g : 重力加速度、 τ_b : 底面での摩擦応力、 H_0 : 基準面からの水位、 $E_{x_1 x_1}, E_{x_1 x_2}, E_{x_2 x_2}$: 渦動粘性係数、 ρ : 密度、添字 $i, i+1; x_1, x_2$ 方向の位置を示す。

本研究では、河川形状に応じた流れの挙動をできるだけ忠実に取り扱うために、直交曲線座標系を用いて基礎数学モデルを展開した平面一層流モデルにより解析を進める。表-1に数値解析モデルを表示する。¹⁾

3. 計算対象と計算条件

計算対象としたのは図-1に示すように庄内川の河口より15km上流地点から22kmまでの区間及びその間に合流する矢田川の4kmまでの区間である。本解析は、幅方向には遊水池部分を除き合流後で20分割、合流前で各10分割とし、2.で記述した平面一層流モデルを適用する。

初期条件は、不等流計算により得られる計算開始時点での水位、流速を与える。境界条件としては、上流端に

において流量を与え、下流端においては水位または水面勾配を与える。また、底面においては摩擦応力を

$$\tau_{bx1} = r \cdot u_1 (u_1^2 + u_2^2)^{1/2}$$

$$\tau_{by1} = r \cdot u_2 (u_1^2 + u_2^2)^{1/2}$$

で与える。ここに r ：抵抗係数であり、マンニングの粗度係数との関係は、

$$r = \rho g n^2 / H^{1/3}$$

である。なお、陸地境界及び導流堤部では、水位がその天端高を越えない限り、幅方向への流速は0とする。以上の条件の下でstaggered schemeと風上差分法を用いて前進型の数値計算を実施した。

4. 計算結果

まず、図-2(a)に示す流量50 m³/sの不等流を対象としたときの水位分布図では、湾曲部外側での水位上昇や、堰上げに伴う水位変化が表されている。図-2(b)は不等流計算で得られた流速分布図を示す。この図では合流部で図-2(a)に見られるように、庄内川の方が水位が高いために矢田川に流れ込むようにして左岸側に流れが寄る状況が表されている。また、湾曲部外側では流速が大きく内側では小さくなっているが、内側については一部で逆流が生じている。

図-3(a)、(b)、(c)は不定流計算で得られた流速分布図で、それぞれ水位・流量～時間曲線60分、120分、180分を示す。この図では流量の増減に伴う流れの変化が示されており、(a)と(c)とは流量が等しいにも関わらず、流量の上昇時と低減時での差が上流部に顕著に生じている。

【参考文献】1) 松尾，細瀬；直交曲線座標を用いた平面二次元流れの数値解析，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1994。

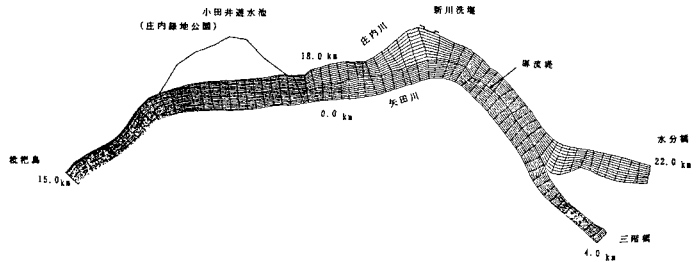


図-1 メッシュ分割図

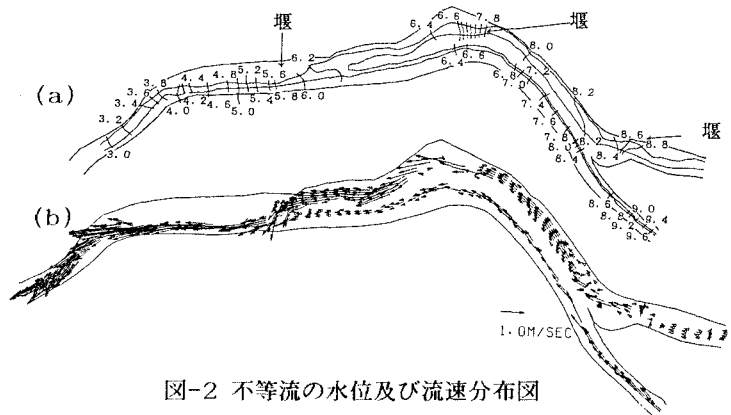


図-2 不等流の水位及び流速分布図

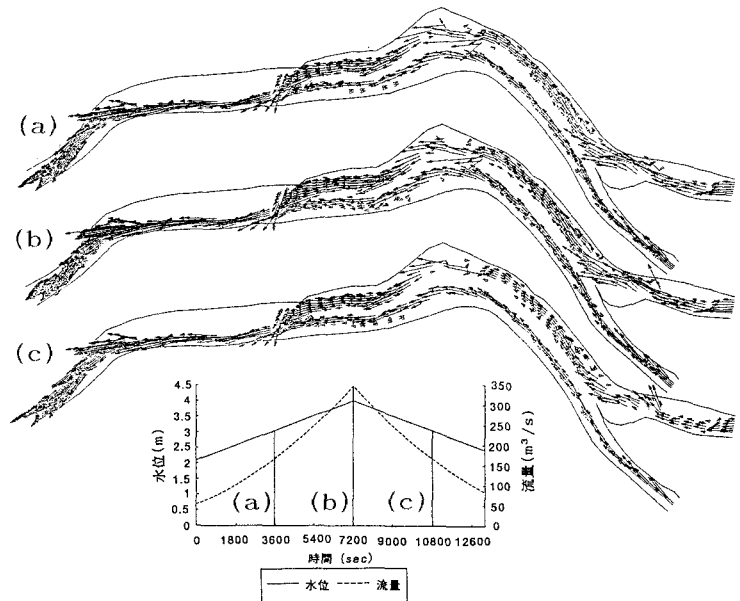


図-3 不定流の流速分布図