

魚道内の開水路流れの3次元数値解析の基礎的研究

法政大学工学部 正会員 西谷 隆亘

法政大学工学部 酢屋 陽子

1. はじめに 河川横断構造物に阻害される魚類の移動を解決するため設置する魚道の設計において、魚類が実際に通過し易いかどうか、魚道内流れの局所的な渦や循環流の発生状況を知る事は非常に重要である。しかし、実際の魚道の設計段階では、これが不十分であり、今までの流量や流速の計算に加え、魚道内の流線を辿ることが今後の課題とされている。本研究では、Navier-Stokes 方程式と連続の式を用いて立体的な流れを表すよう三次元の数値シミュレーションにより魚道の基礎となる開水路の渦や循環流の様子を表現する。

2. 基礎方程式 基礎となる三次元定常の運動方程式(N-S方程式)と連続の式を次に示す。

● Navier-Stokes 方程式

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} - \frac{\partial p}{\partial x} - \rho X \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} - \frac{\partial p}{\partial y} - \rho Y \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - \frac{\partial p}{\partial z} - \rho Z \quad (3)$$

● 連続の式

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (4)$$

u, v, w : 各々 x, y, z 方向の速度, p : 圧力, ρ : 密度, μ : 粘性係数, X, Y, Z : 各々 x, y, z 方向の質量力

3. 計算方法 基礎方程式を運動量や質量の保存則を満たす差分法であるコントロール・ボリューム法により離散化した後、SIMPLE 解法を用いて運動方程式と、これらと連続式により算出した圧力補正式を連立させ3重対角行列解法と緩和法の組み合わせにより計算し、計算の繰り返し回数が600回の時の解を求めた。コントロール・ボリュームは、速度と圧力を同一の格子点上で扱い、振動解対策として圧力項については境界面上で離散化し直した。

4. 境界条件 計算には、図-1の様なヴァーチカルスロットを持つ水路を考え、 $22 \times 22 \times 22$ のメッシュをほどこした。初期条件としてX方向のみに5 cm/sの速度を与え、水面は圧力は0とし動かないものとする。境界条件は壁面せん断力の寄与を差分化の後、生成項として、基礎方程式のコントロール・ボリュームの積分に加えることによって表現した。

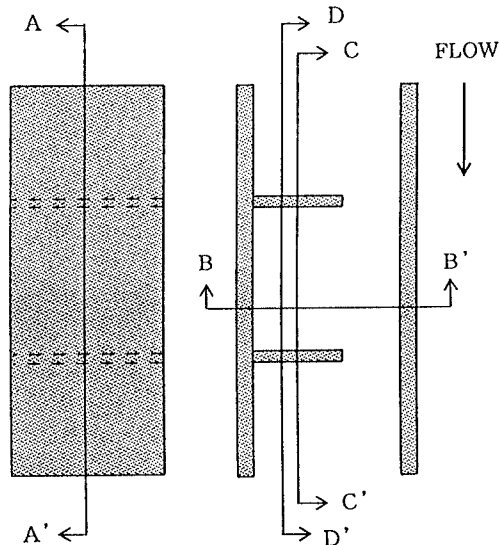


図-1 計算用水路

キーワード: 魚道内の3次元流れ, 数値解析, コントロール・ボリューム法, SIMPLE 法
(連絡先) 〒184 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部土木工学科

TEL 0423-87-6114 FAX 0423-87-6124

5. 計算結果 水平断面の速度ベクトル図(図-2)を見る限り、水路のプール内に水平方向の大きな渦が一つ発生しているのだと思われるが、横断面(図-3)、鉛直断面(図-4)の速度ベクトル図から、流れがプールに入る側では上下に立体的な渦が発生するのがわかる。

6. おわりに 水面を固定した簡単な計算による開水路流れの三次元流向の計算結果をベクトル図として示した。鉛直方向の流速は水面が固定しているため正確とは云えないが、大体の傾向を示していると考えられる。この程度の計算でも実用に供し得ると思えるが、今後は水面の変動を考慮した計算プログラムの開発を行う必要がある。その上、数値解析を種々の計算条件(水理量)で行い、同じ水理条件の水理実験と連携しながら魚道的设计に活かされることが望まれる。

【参考文献】 荒川 忠一：数値流体力学，東京大学出版会，1994

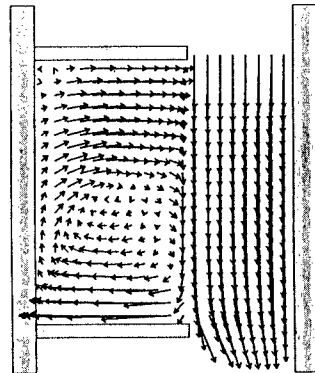


図-2 水平断面の速度ベクトル図(A-A')

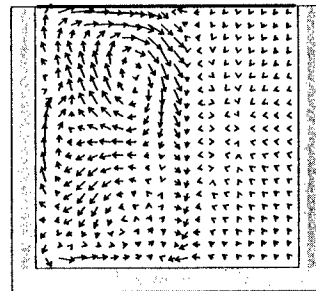


図-3 横断面の速度ベクトル図(B-B')

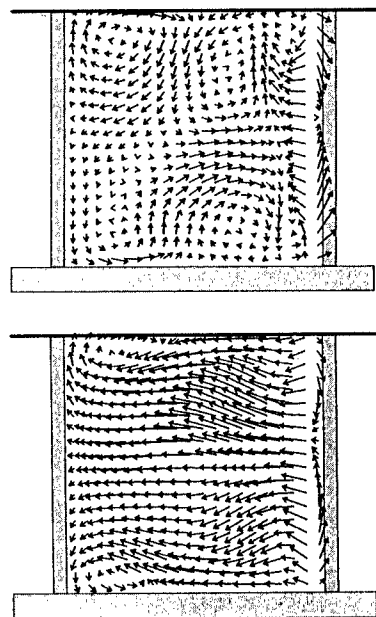


図-4 鉛直断面の速度ベクトル図
(C-C' 上, D-D' 下)