

水制群周辺の河川水理特性に関する研究

信州大学 大学院

長尾武全

信州大学 工学部

正会員 富所五郎

1. はじめに 本研究では河川の流れを水平2次元と仮定して、水制群周辺を、Galerkin有限要素法による数値解析を行う。本解析では、対象領域に長野県千曲川の松代町清野地区にある亀腹水制を取り上げ、水制の河川に対する影響を推察する。

2. 方程式 本解析では以下の方程式を用いる。1)

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = g I_x - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) - \tau_x$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = g I_y - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) - \tau_y$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} \cdot d) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v} \cdot d) = 0 \quad (d = h + \zeta)$$

$$\tau_x = g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \tau_y = g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}$$

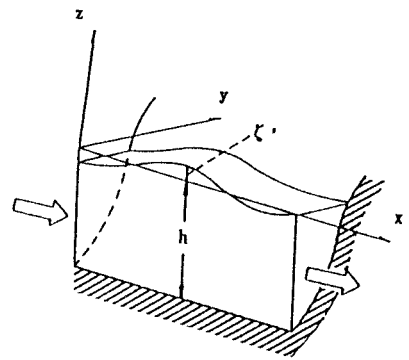


図-1 座標軸の定義

ここに、x軸はx方向の平均勾配 I_x に平行に、y軸はy方向の平均勾配 I_y に平行に水面付近に取る。(図-1) また、 u, v はそれぞれx, y方向の流速成分、 t は時間、 g は重力加速度、 A_h は水平渦動粘性係数であり、 h は水深、 ζ は水面上昇量
 τ_x, τ_y はx, y方向の底面せん断応力を ρd で割ったものである。

3. 方程式の離散化 上式の方程式に対して離散化を行うが、空間変数に対しては、重み付残差法的一种であるGalerkin法を用いて離散化を行い、時間変数に対しては、陽的差分法的一种であるtwo-step Rax-Wendroff法を用いて離散化する。

4. 解析モデルと解析条件 本研究で解析対象領域となっている千曲川亀腹水制付近を図-2に示す。境界条件は、

図-2 解析対象領域

下流端での水位は固定し、上流端での水位は①水面変動量 ζ を固定した場合②水面変動量 ζ の固定を解除した場合、の2通りの方法で拘束した。岸では流速をすべて0にして拘束した。また、水制部分は、流速をすべて0に拘束した。水平渦動粘性係数 A_h は、Elderによる定義 $A_h = k u_* d$ により評価し、ここに u_* は摩擦速度である。 $u_* = \sqrt{ghl}$ として、Manningの等流公式を用い、浅水域では径深が水深に等しいとすると、 $u_* = n \sqrt{g(u^2 + v^2)}$ と近似できる。これをElderの式に代入し以下の式を得る。

$$A_h = K n \sqrt{g(u^2 + v^2)} \cdot d^{5/6}$$

ここでのKの値を様々に変えることにより、実際に近い流れを再現することができる。本研究では $K=6.0$
 $K=12.0$ を用いて解析を行っている。さらに、x方向の水路勾配 $I_x=0.00020$ y方向の水路勾配 $I_y=0.0$ とし、

流量 $Q=38(m^3/s)$ 、重力加速度 $g=9.8(m/s^2)$ 、Manningの粗度係数 $n=0.015$ として解析を行っている。

5. 解析結果 解析に用いた要素メッシュ図を図-3に示す。さらに、 $K=6.0$ 、 $k=12.0$ として解析した流速ベクトル図をそれぞれ図-4、図-5に示す。まず $K=6.0$ の図-4のほうは、下流側の水面変動量 ζ を固定した場合のものであり、上流側、下流側それぞれの境界付近における渦に少し乱れが見える。つぎに $K=12.0$ の場合の図-5は、下流側の水面変動量 ζ の固定を解除した場合で、 $K=6.0$ の時に見られた流速ベクトルの乱れが解消され、かなり実際の流れに近いものを再現することができた。

近年水制は経済的に安価という理由だけでなく、現存する自然をそのまま残すという『多自然型工法』の1つとして見直されつつあるが、その理由の1つが河川における新しい水辺環境の形成であります。図-3、図-4にみられるように、水制後背部には大きな渦ができ、魚類などが集まるには格好の場所になっている。しかしその反面、渦により水制後背部の水は止水域となり、長時間そこに留まることにより水質の悪化を引き起こす原因となっている。さらに悪いことには、この水制後背部において、生活雑排水が流れ込んでくる排水溝が存在する。このことにより水制後背部の水は、本流の水に比べて、極度に水質が悪化している。その問題点を解消するため、水制自体を、透過水制にするかあるいは水制の根本付近に穴をあけ、常に水が流れるようにして、水制後背部の堆積物をフラッシュするなどの対策が必要であることが推測される。

6. まとめ 本研究では、水制付近の河川水理特性をGalerkin有限要素法を、解析対象領域を水平2次元としたものに対して適用し、簡単な境界条件の下に解析を行ったものである。適切な渦動粘性係数の定数 K の値を用いることにより、実際の流れに近い状態を再現することができた。それにより、水制後背部における水質悪化に対する具体的対策を立てることができた。今後の課題としては、メッシュをこれ以上細かくしても実際の流れに近づくかどうかは疑問の残るところである。それよりは解析対象領域を大きくとり、様々な解析条件の下に解析し、水理模型実験や実測データをもとに比較検討を加えていく必要があるように思われる。

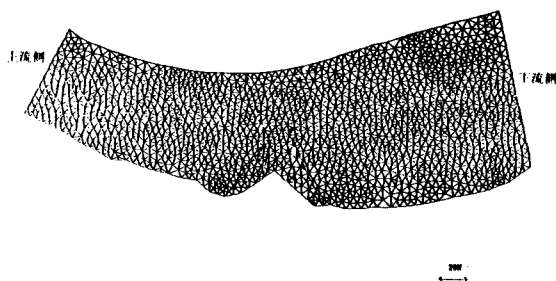


図-3 要素メッシュ図

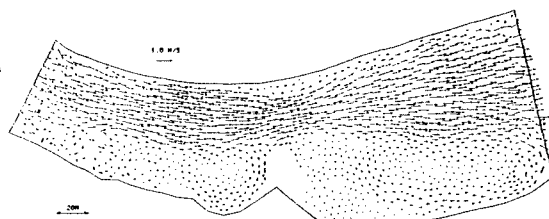


図-4 $K=6.0$ 流速ベクトル図

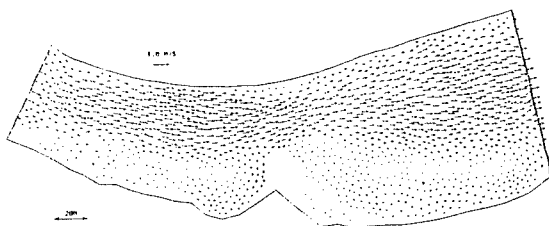


図-5 $K=12.0$ 流速ベクトル図

【参考文献】

- 1) 富所 五郎：有限要素法による水理解析，1991年度（第27回）水工学に関する夏期研修会講演集，ppA-1-1，A-1-17，1991
- 2) 椿 東一郎：水理学Ⅱ，森北出版，pp188，1979
- 3) 桜井 善雄，富所 五郎：水制工のもつ河川水理及び生物環境の創出効果に関する研究，pp. 10～17，1994.