

II-187

不透水制近傍の流れに関する計算

北海道開発局開発土木研究所 正員 ○中津川 誠

北海道開発局開発土木研究所 正員 清水 康行

1. はじめに

水制は水流の挙動を積極的に制御し、流速の抑制や水はねなどを行う作工物であり、その水理的機能を評価する手法の開発が待たれている。水制や直角平板近傍での流れは、これまで実験的、解析的な方法により検討されてきているが、本報告では、平面2次元流の数値計算を行って実現象の再現を試みるものである。

2. 実験概要

水理実験は図-1に示すような sin-generated curve の固定床水路を用い、水位、流速（6割水深）の測定を行った。条件は水路勾配 1/300、水路幅 1 m、マンニングの粗度係数 0.013 の水路に流量 13 l/sec、水路下流端水深 3 cm で通水し、長さ 20 cm、高さ 5 cm の鋼製水制を水路法線に直角に設置した。水制は不透水非越流型になっている。

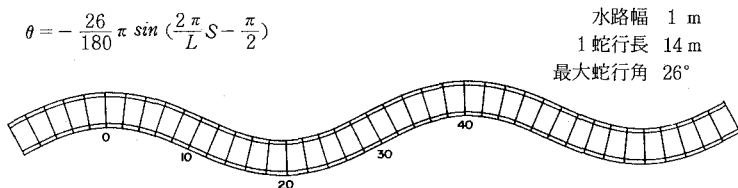


図-1 実験水路

3. 数値計算概要¹⁾

数値計算は、流れを2次元浅水流として扱い、図-2のように水路法線方向を s_0 軸、それに直交する方向に n 軸をとって運動方程式、連続式を立て、これを差分化して解いた。差分は流速と圧力の計算点を半格子ずらし、風上差分法によって行った。

$$\text{運動方程式} \quad u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + \frac{uv}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{\tau_s}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial s} \left(\epsilon \frac{\partial u}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial n} \left(\epsilon \frac{\partial u}{\partial n} \right) \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{u^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - \frac{\tau_n}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\epsilon \frac{\partial v}{\partial s} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial n} \left(\epsilon \frac{\partial v}{\partial n} \right) \quad (2)$$

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial(uh)}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_h)}{\partial n} = 0$$

ここで u, v は s_0, n 方向の流速、 h は水深、 p は圧力、 ρ は流体の密度、 r は曲率半径、 τ_s は s_0, n 方向の河床せん断力、 ϵ は渦動粘性係数を表わしている。本方法において ϵ は水深方向平均値である次式を用いた。

$$\epsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (4)$$

ここで κ はカルマン定数 (= 0.4)、 u_* は摩擦速度を表している。しかしながら、水制下流で流れの激変する個所では流れのせん断抵抗、即ち ϵ の影響が大きくなることが予想される。そこで、そのような個所では流れを2次元後流として扱い、Reichardt, Schlichting の実験から得られた次式²⁾を用いて ϵ を算出した。

$$\epsilon = 0.047 \times 2 \times b_{1/2} \times u_{1\max} \quad (5)$$

ここで $b_{1/2}$ は後流幅の半値、 $u_{1\max}$ は欠損流速の最大値を表わしており、図-3に示すように無水制時の流速に対し欠損を生じた部分についてこれらを求め、(1)式右辺第3項の ϵ として用いた。

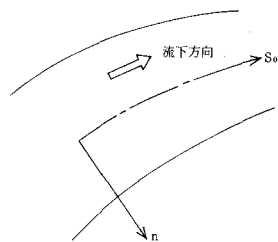


図-2 座標系の定義

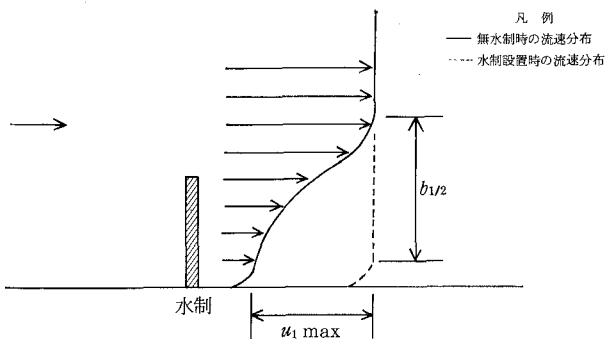


図-3 後流域の流速分布

2. 再現結果

図-4に流速ベクトル図、図-5に流速分布図を示す。これからわかるように、水制によって流速が減じられる一方、断面縮小のため流速が増大する領域があり、その境界では横断方向に大きな流速差が生じており、そこでのレイノルズ応力の見積りが重要であることが示唆される。今回は無水制時と比較して流速の欠損が生じた部分で後流の渦動粘性係数を用いたが、水深平均値の渦動粘性係数を用いた場合に比べオーダーにして3けた程度も大きくなっており、流速差の生ずる部分でレイノルズ応力の項が大きく影響する状況がつくられている。ただし、

水制の後方では流れが剥離し、渦が発生したりするような非定常的な現象も存在し、そのような場合には実測にしても再現にしても難しい問題がある

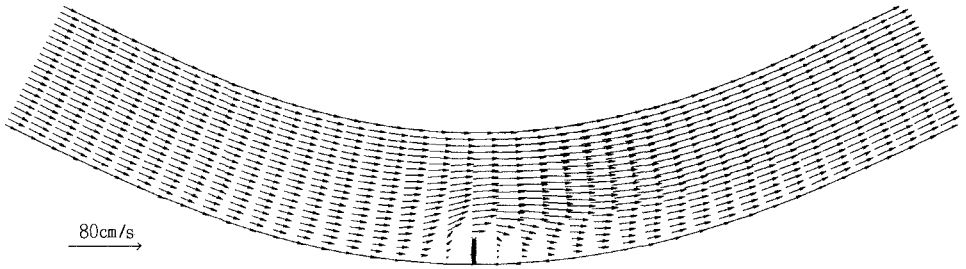


図-4 流速ベクトル図

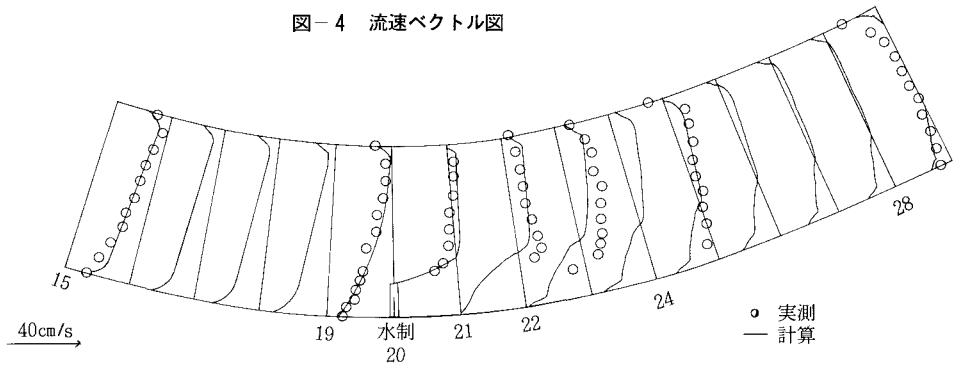


図-5 流速分布

図-6に水制近傍の測線での水深縦断面図、図-7に水制直下流断面での水深横断面図を示す。水深は水制上流でせき上がり、後方で下がった後再び等流水深に漸近しているが、その傾向が再現されている。尚、点線は ϵ に水深方向平均値(4式)を用いた結果であるが、実測値より多少高めの傾向を示している。そこで後流の ϵ を用いることによって実線で表わすように改善がみられている。

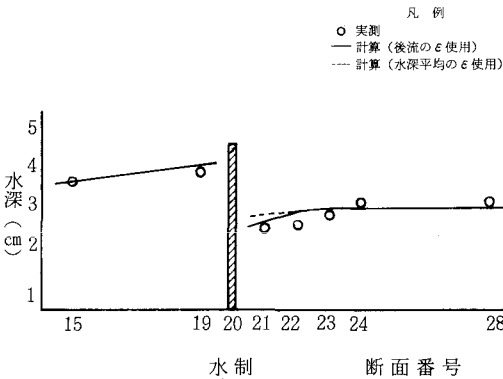


図-6 水深縦断面図

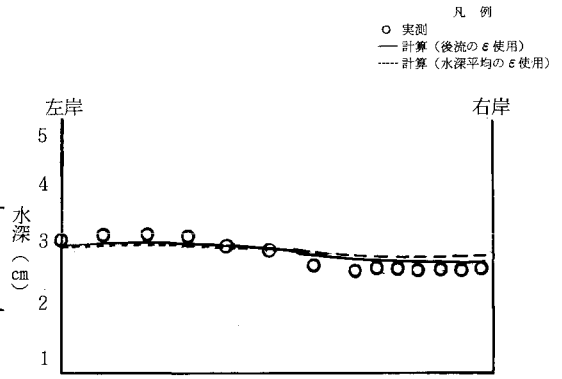


図-7 水深横断面図（水制直下流、断面21）

3. おわりに

今回の計算は、最も単純な形の不透過非越流の平板水制について考えたが、これについては本モデルにより再現の可能性を見出すことができた。さらに再現精度の向上を目指すためには ϵ の評価や非定常的な現象も考慮して計算することも必要となろう。この検討に際しては、北大工学部土木工学科防災工学研究室の長谷川助手に御助言を頂いた。

参考文献

- 1) 清水康行、板倉忠興：河川における2次元流れと河床変動の計算、北海道開発局土木試験所報告、昭61年10月
- 2) 日野幹雄：流体力学、朝倉、pp. 181-193