

II-251

不透過水制周辺の準三次元流計算

鳥取大学工学部 正 員 道上正規

鳥取大学工学部 正 員 檜谷 治

1. はじめに：不透過水制周辺の流況は、水制前面での下降流や、水制先端での上昇流といった鉛直流や、水制下流部で生じる剝離流など三次元的で非常に複雑であるが、水制先端部に生じる局所洗掘現象や水制域での堆積現象といった河床変動を検討するためには、この水制周辺の流況を三次元解析する必要がある。そこで、本研究は水制周辺の流れに関する準三次元計算を試み、実験で得られた実測値との比較検討から、本計算法の妥当性を検討しようとするものである。

2. 基礎方程式及び計算法：基礎式は、流れを非圧縮流体の非定常流と考え、鉛直方向の運動方程式に静水圧分布を仮定すると以下ようになる。

運動方程式：
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) - A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) - A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

連続式：
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

ここに、 u 、 v および w はそれぞれ、流速の x 方向、 y 方向及び z 方向成分、 ξ は水位変動量、 ρ は水の密度である。また、 A_v は鉛直渦動粘性係数、 A_h は水平渦動粘性係数であり、それぞれ次式で与えた。

$$A_v = \kappa \cdot u_* \cdot h \cdot z / h(1 - z/h) \quad (4), \quad A_h = \kappa \cdot u_* \cdot h / 6 \text{ (Run A)} \text{ or } A_h = 0 \text{ (Run B)} \quad (5)$$

ここで、 κ はカルマン定数、 h は水深、 u_* は摩擦速度である。

式(1)~式(3)に示した基礎方程式を以下のような境界条件で解く。

1)水面での境界条件：水面に作用するせん断応力がないと仮定し、次式で与える。

$$A_v \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=\xi} = 0, \quad A_v \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=\xi} = 0 \quad (6)$$

2)河底での境界条件：河底での境界条件はNon-slip条件とする。すなわち、

$$u = v = w = 0 \quad (7)$$

3)河岸での境界条件：河岸では、河岸に垂直方向の流速成分は0であるというSlip条件とする。

$$u_n = v_n = 0 \quad (8), \text{ここに、} n \text{は河岸に立てた法線である。}$$

4)下流端での境界条件：下流端では等流水深を与える。

5)上流端での境界条件：上流端では単位幅流量と上流端水深から平均流速を求め、断面一様の流速分布を与える。

6)初期条件：初期条件は水位変動量が0、流速0とし、計算は下流端の水位低下と上流端での流入により流速を発生させ、定常になるまで計算を行なうものである。

表-1 実験条件

流量	2.88 l / s
河床勾配	1 / 300
水路幅	30 cm
水制長	5 cm
水深	6 cm

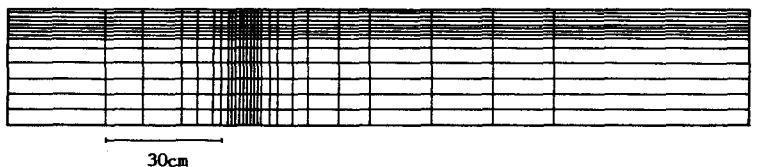


図-1 水制周辺での計算メッシュ

つぎに、本研究では、基礎方程式を時間的に解く方法として、Fractional Step Finite Difference Method を、水平方向および鉛直方向の離散化には差分法および有限要素法を用いたが、詳細については省略する¹⁾。なお、差分法に際して、移流項に対しては風上差分を、その他の項に対しては中央差分を用いた。

3. 実験結果および計算結果：実験は幅30cmの水路に長さ5cm、幅1cmの不透過水制を設置して行なった。実験条件は表-1に示す通りである。²⁾ 測定は流下方向と鉛直方向の2次元L.D.A.を用いて行なった。図-2は実験結果とそれに対する計算結果を示したもので、水制周辺での計算メッシュを図-1に示している。なお、計算は水平渦動粘性係数に関して(5)式に示すように一定値を与えるものと、0としたものの2種類行なっている。図(a)は流下方向の流速分布を示したものであるが、水制下流の剝離域についてみると実験値では約70cmの剝離域が見られる。計算値についてみると剝離域は再現できているが大きさはRun Aで約20cm、Run Bで約50cmとやや小さくなっている。逆流の大きさは実験値が約4.0cm/s、Run Aが2.0cm/s、Run Bが4.0cm/sで、全体的にRun Bの方が剝離域の流況についてはよく再現できているが、水平渦動粘性係数を0としているために側壁付近および図(b)に示す鉛直流の再現性がよくない。

4. おわりに：本研究は、鉛直方向に静水圧分布を仮定した準三次元計算法で水制周辺の流況をシミュレートしようとしたものである。全体的によくシミュレートできていると思われるが、水平渦動粘性係数の分布を考慮する必要があり、今後検討して行きたいと考えている。

参考文献

- 1)道上、鈴木、檜谷：Numerical simulation on three dimensional current in lake, Proc.5th APD-IAHR, Vol III, 1986.
- 2)道上、檜谷、川端：LADによる水制周辺の流速測定、第41回中四、平成元年。

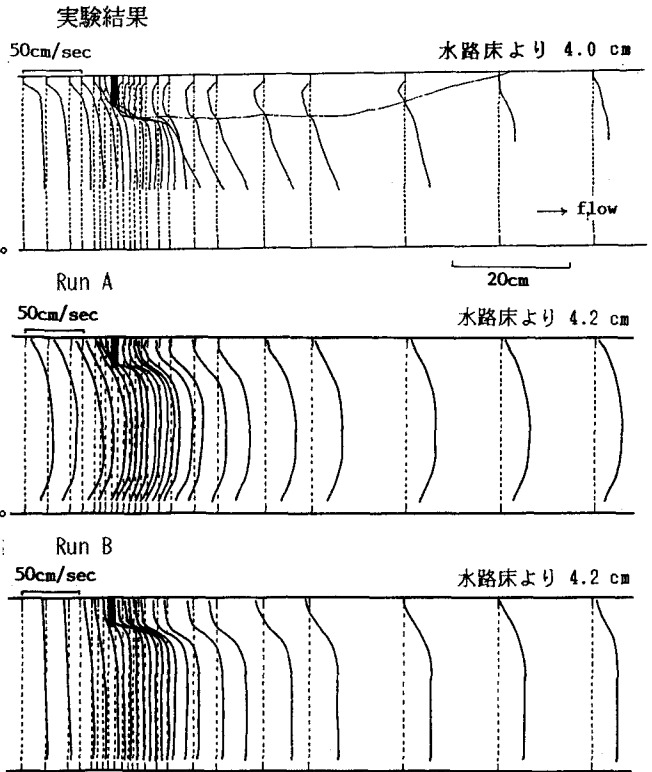


図-2(a) 流下方向の流速分布

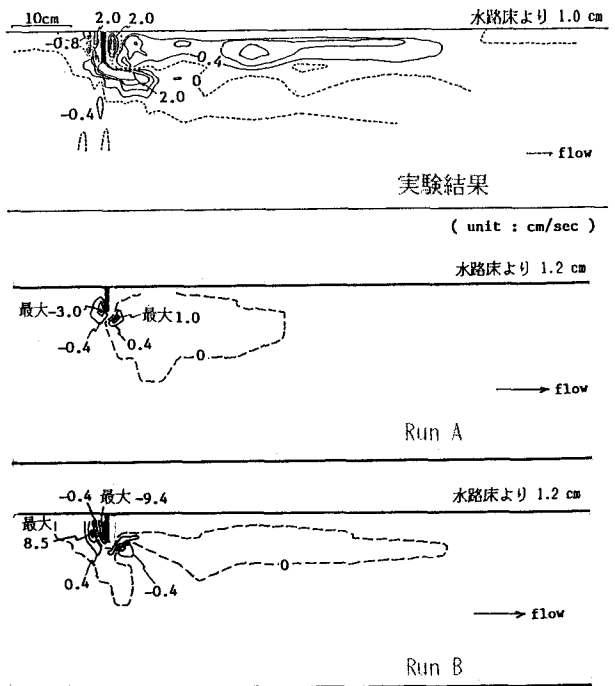


図-2(b) 鉛直流の流速分布(上向き正)