

## 越流型水制工周辺の流れの抵抗特性に関する研究

愛媛大学大学院理工学研究科 正会員 ○門田章宏

愛媛大学理工学研究科 学生会員 安東 良 愛媛大学工学部技術部 正会員 重松和恵

## 1. 目的

水制設置による周辺の流れや河床変動について様々な研究が行われてきたが、河川管理において上流部の水位の堰上げが問題視されているにもかかわらず、上流部への水位の堰上げ現象に着目した研究は僅かにしか行われていない。そこで、本研究では、大洲市を流れる肱川にある水制(ナゲ)を対象とし、流れの可視化実験より水制周辺の流況を明らかにした。本研究では、水制構造物を抵抗として考え、平面二次元流解析を行うことで流況の再現性を検討し、水位と抗力係数の関係を明らかにすることを目的とした。

## 2. 流れの可視化実験

循環式広幅開水路(長さ 8m, 幅 1m, 高さ 40cm)の上流端から 3.5m 地点に図-1 に示す 1/100 スケールの水制模型(下端幅 20cm, 底幅 30cm, 天端幅 5.6cm, 水制長 30cm, 高さ 5cm)を設置し、表-1 に示す条件下で越流状態の水深の異なる 4 ケースの実験を行った。上流から供給されるトレーサ粒子を高速 CCD カメラ(DITECT HAS-220)で撮影し、得られた粒子画像を粒子追跡流速測定法(PTV)により解析することで水制周辺の流れを明らかにした。さらに水制構造物上とその上下流部の水深もポイントゲージを用いて測定を行った。

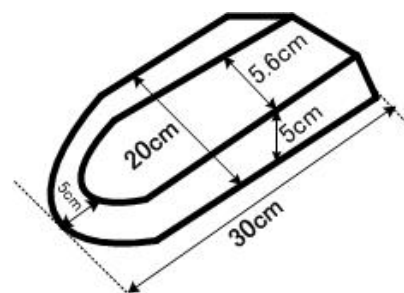


図-1 肱川水制模型

表-1 実験条件

| case | 水深 h(m) | 流量 Q(liters/s) |
|------|---------|----------------|
| 1    | 0.06    | 7.50           |
| 2    | 0.07    | 8.75           |
| 3    | 0.08    | 10.00          |
| 4    | 0.10    | 15.00          |

## 3. 水制構造物の抵抗係数と粗度係数の評価

従来、堰や水制等の河川構造物を流れの中にある物体として抗力係数  $C_d$  を様々な流れ計測の結果に基づいた実験式が提案されている。特に欧州における研究者を中心にこれらの実験式を導出する試みがなされており、特に Yossef(2005), Van(2005)や Azinfar(2010)によってなされている。

本研究で対象とした水制に対して、単独水制して適用できる Van の導出式から抗力係数  $C_d$  を求め、マンニングの粗度係数  $n$  を以下の手順に従って求め、平面二次元流れに適用し、流れの可視化実験結果との比較を行う。まず、抗力  $D$  を円柱周辺の流れで適用されている以下の式(1)から求める。

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A_d V_d^2 \quad (1)$$

ここで、 $\rho$ =密度、 $A_d$ =水制構造物に直接流体力が作用する面積、 $V_d=A_d$ 面に作用する平均流速であり、これらの諸量は流れの可視化実験の結果を適用する。摩擦速度  $u_*$ 、河床に及ぼすせん断応力  $\tau_b$  を、抗力  $D$  と摩擦速度の以下の関係(2)および摩擦速度  $u_*$  とせん断応力  $\tau_b$  の関係(3)から求め、式(4)の摩擦損失係数  $f$  とせん断応力  $\tau_b$  の関係およびせん断応力  $\tau_b$  とエネルギー勾配  $I_e$  の関係(5)を用いる。また、マンニングの式は式(6)で表される。

$$u_* = \sqrt{\frac{D}{\rho A_d}} \quad (2) \rightarrow \tau_b = \rho u_*^2 \quad (3) \rightarrow \frac{\tau_b}{\rho} \equiv \frac{f}{8} V_d^2 \quad (4) \rightarrow \tau_b = \rho g d I_e \quad (5), \quad V_d = \frac{1}{n} d^{2/3} I_e^{1/2} \quad (6)$$

ここで、 $d$  は水制頭部上の越流水深であり、式(4),(5)および(6)を用いて粗度係数  $n$  と摩擦損失係数  $f$  の関係が以

$$\text{下の式(7), マンニングの粗度係数 } n \text{ は次式(8)表される。} \quad f = \frac{8gn^2}{d^{1/3}} \quad (7) \rightarrow n = \sqrt{\frac{f}{8g}} d^{1/6} \quad (8)$$

これらの手順により、平均流速越流  $V_d$ 、水深  $d$  と水制高  $h_g$  により求めた抗力係数  $C_d$  からマンニングの粗度係数  $n$  が導出でき、以下に述べる平面二次元流れの水制の条件に適用できることとなる。

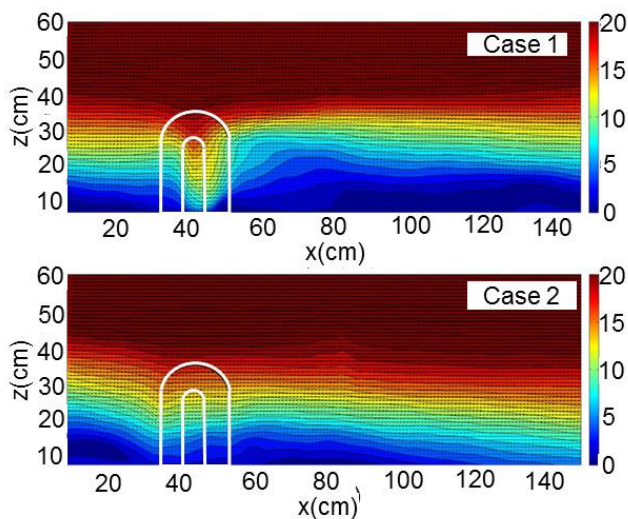


図-2 水制周辺の流速値 V(cm/s)

#### 4. 水制の抵抗評価の解析

本研究では、肱川に多く存在する単独水制として、肱川橋付近にある渡し場のナゲを対象にしたため、

単独水制に最も適用できる以下の Van の式(9)を用いて抗力係数  $C_d$  を求め、先述した手順に従ってマンシングの粗度係数  $n$  を評価し、平面二次元流れの解析に適用した。

$$C_d = 1.79 \left( \frac{h_g}{d} \right)^2 - 0.08 \left( \frac{h_g}{d} \right) + 0.07 \quad (9)$$

#### 5. 流れの可視化結果、粗度係数の評価と横断面内流速分布

図-2 に越流水深の浅い場合、深い場合の二つのケース (case1,2) の流れの可視化実験結果(平均流速ベクトルの値)を示している。水制越流部から下流に向けての淀みの領域

が、水深が低いほど淀みの領域が大きくなり、水制構造物の抵抗の影響をより多く受けていることが推察される。そこで、可視化実験中に計測した水位計測データ  $d$  と水制高さ  $h_g$  を式(9)に代入し抗力係数  $C_d$  を求め、式(1)から式(8)の手順に従って水制工表面のマンシングの粗度係数  $n$  を求め、平面二次元流解析に適用し、横断面の流速分布を比較した。その結果の一例として表-2 に case1 の水制の頭部(Surface)と斜面部(Slope)に分けた粗度係数の計算結果を、図-3 に平面内の流速分布を示している。図-4 には可視化実験と数値解析を比較するための横断面の位置(A,B,C)を示しており、その各断面における流速分布の比較を図-5 に示している。なお、流れの可視化実験の流速分布は水表面の流速値であり、これを鉛直断面平均流速に補正するために対数則を用いた。上流流側断面(A,B)では良好な再現性を示しているが、下流断面(C)では、水制先端部では水制背後の鉛直流による三次元流れの影響を考慮することが必要とされる。

表-2 粗度係数  $n$  の計算結果

| Case 1 |              |                |
|--------|--------------|----------------|
|        | Surface area | Slope area     |
| d      | 0.01         | 0.0267~0.600   |
| $C_d$  | 1.246        |                |
| D      | 0.0218       |                |
| f      | 1.264        |                |
| n      | 0.0589       | 0.00694~0.1166 |

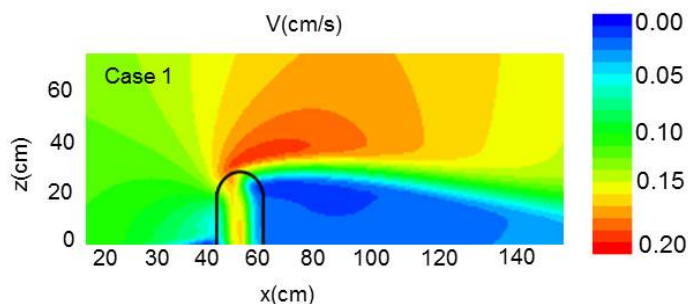


図-3 平面二次元流解析による水制周辺の流速値 V(cm/s)

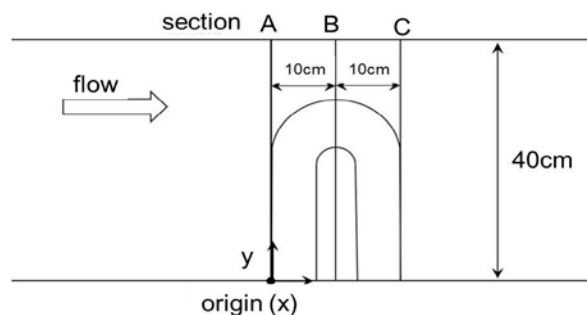


図-4 横断面位置

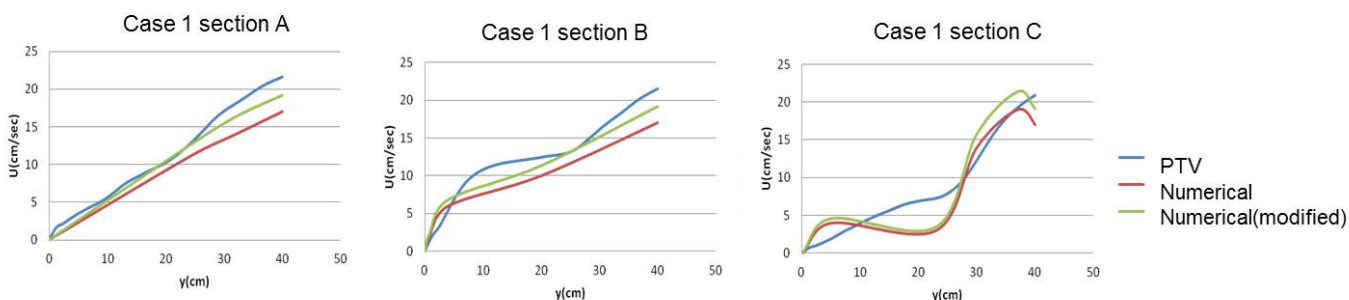


図-5 流れの可視化実験と水制の粗度係数を考慮した横断面内流速分布の比較