

## 高水時における複断面わんど周辺の3次元流れ構造

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○鄭 載勲  
 名古屋工業大学 正会員 富永晃宏

### 1. はじめに

一般にわんどは複断面河道の高水敷を掘り込むように設置されたものが多く、大規模出水時には低水路の流れと高水敷上の流れにより、わんど周辺には複雑な流れが形成される。また、高水時にはわんどの維持管理上の問題点となるわんど周辺の洗掘および土砂堆積は顕著であり、わんど周辺の流れ場における水理的特性を把握する必要がある。しかし、出水時にわんど周辺の現地観測データを得ることは困難であるため、実験や数値計算により流れの特性を把握する試みが行われている。特に、高水時における複断面わんど周辺には3次元性が強く、その流れ場の解析や諸現象を理解するためには流れの3次元数値解析が有用であると考えられる。そこで本研究では、PIV法を用いて複断面わんど周辺の流速を詳細に計測し、その3次元流れ構造について検討した。また、流れの3次元数値計算を行い、その流れ場における3次元流れ構造の再現を試みた。

### 2. 実験条件および実験方法

実験水路は、長さ8m、幅30cm、勾配1/1000の長方形勾配可変型水路を用いた。水路左岸に幅20cmの塩ビ板を設置し高さ4cmの高水敷を作り、水路の中間部、上流端から5.0mのところを高水敷を掘り込むようにわんど区間を設けた。わんどモデルは開口部長さ15cm、奥行き10cmの長方形わんどである。実験水路におけるわんどの配置は図-1に示す通りであり、実験条件を表-1に示す。わんど周辺の流れ場における流速の計測はPIV法を用いて、鉛直縦断面は全てのケースで29断面(左岸側側壁からy=10~290mmまでの10mm間隔)、水平断面の照射位置は低水路水深6.5cmの場合に12断面(河床からz=5~60mmまでの5mm間隔)を、低水路水深7.5cmの場合は14断面(河床からz=5~70mmまでの5mm)を、低水路水深8.5cmの場合は16断面(河床からz=5~80mmまでの5mm)を設定した。これは鉛直断面と水平断面を合成することによってその流れ場に置いて

の3次元流れ構造を捉えるためである。

### 3. 流れの数値計算

$k-\epsilon$ モデルの基礎式を次に示す。

$$[\text{連続式}] \quad \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -g \frac{\partial H}{\partial x_i} - F_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} \quad (2)$$

[ $k$ -方程式]

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k U_j}{\partial x_j} = -u_i u_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

[ $\epsilon$ -方程式]

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \epsilon U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (4)$$

ここに、 $x_i$ :空間座標、 $t$ :時間、 $U_i$ :流速、 $p$ :圧力、

表-1 実験条件

CASE	HW6	HW7	HW8
Q(cm <sup>3</sup> /s)	1685	2504	3711
H(cm)	6.5	7.5	8.5
h (cm)	2.5	3.5	4.5
U <sub>m</sub> (cm/s)	25.92	33.39	43.66
I	1/1000		
Re	18295	27188	40293

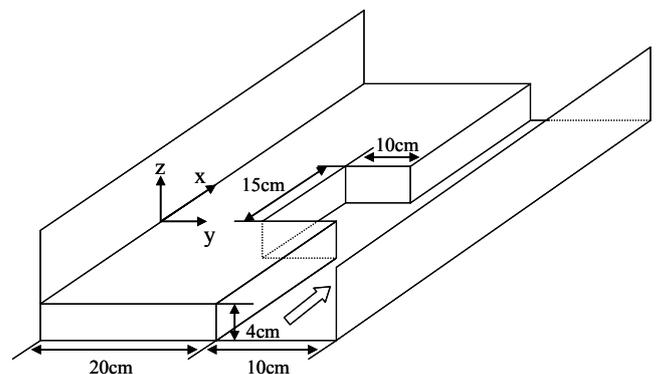


図-1 実験水路

$u_i$ : 乱れ強度,  $\nu_t$ : 渦動粘性係数,  $\rho$ : 流体の密度,  $k$ : 乱れエネルギー,  $\varepsilon$ : 乱れエネルギー逸散率, モデル定数は  $C_\mu$ : 0.09,  $\sigma_k$ : 1.0,  $\sigma_\varepsilon$ : 1.3,  $C_{\varepsilon 1}$ : 1.44,  $C_{\varepsilon 2}$ : 1.92 である.

4. 実験結果および数値計算結果

高水時に複断面わんどの周辺に生じる流れの特徴は、わんどの上下流部にそれぞれ高水敷の段落ち、段上がりによる特有な循環渦が形成される。また、低水路からわんど内部へ入り込む流れにより、わんど域内では大きな渦が形成される。図-3にケース6のわんど域内での2次流ベクトルの実験結果と数値計算結果を示す。ここに示す流下方向座標  $x=1.5\text{cm}$ ,  $x=7.5\text{cm}$ ,  $x=13.5\text{cm}$  はそれぞれわんど上流側の段落ち部、わんど中間部、わんど下流側の段上がり部の位置であり、わんど域は  $y=10\text{cm}\sim y=20\text{cm}$  の範囲である。段落ち部である  $x=1.5\text{cm}$  の断面ではわんど域に低水路へ向かう流れが存在しているが、高水敷わんどと低水路の境界部である  $y=20\text{cm}$  の位置で低水路の流れの影響でベクトルの向きと大きさが変化していることがわかる。また、斜め上向きの低水路への流れが、高水敷高さ付近で集中している。これはわんど上流側壁面に沿った形で上昇した流れが低水路流れや高水敷上の流れに合流したものであると考えられる。わんど中間部の  $x=7.5\text{cm}$  の断面では流下方向の軸をもつ時計回りの渦が形成されており、数値計算の結果からもその傾向が確認できる。これは、高水時に高水敷を乗り越える流れが存在する場合、わんど域内では3次元性が強い流れが生じることを示しており、わんど域内での土砂輸送や堆積機構の解明にも重要な現象である。わんど下流端の段上がり部である  $x=13.5\text{cm}$  ではわんど下流側の壁の影響により、低水路側への流れとわんど側への流れが分かれて形成され、わんど奥部では洗掘発生の要因と考えられる底面向きの流れとわんど側壁に沿う上昇流が見られる。いずれの断面でもわんど域の上層部で低水路へ向かう流れが存在しており、複断面開水路流れに見られる特徴と類似している<sup>1)</sup>。

5. おわりに

以上より、PIV 実験および3次元数値計算を行い、高水時の複断面わんど周辺の流れ構造を検討した。高水時に生じるわんど周辺の流れ構造は高水敷上の流れと低水路流れによって複雑な3次元流れを形成

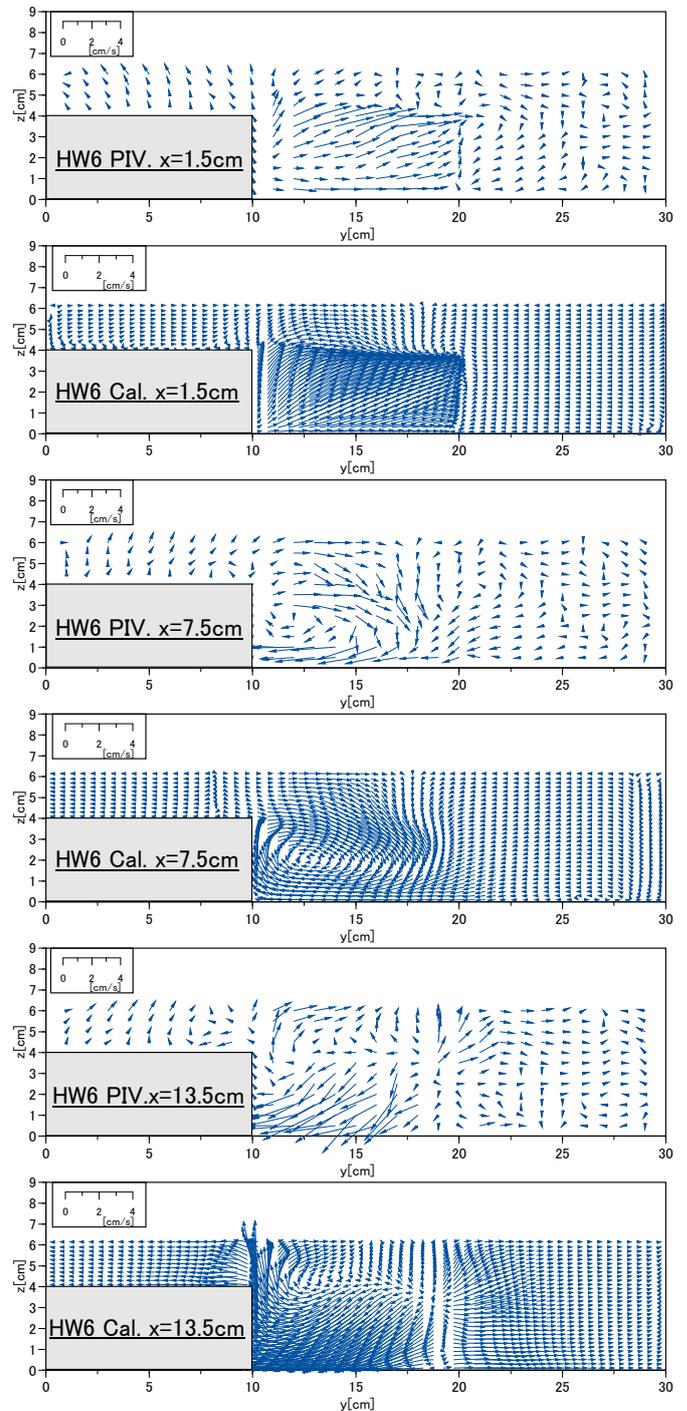


図-3 2次流ベクトル

することがわかった。また、 $k-\varepsilon$ モデルを用いた数値計算の結果と PIV 実験結果との比較では非常に高い再現性が見られた。今後はより精度の高い PIV 実験と3次元数値計算を行い、また、多くの条件について検討していきたい。

参考文献

1) 複断面水路の洪水流特性: 富永 晃宏, 瀬津 家久, 長尾 正志, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, 1993