

PIV 法を用いた水制周辺の流れ場の解析

名古屋工業大学 学生会員 藤田 享良

名古屋工業大学 学生会員 長坂 剛

名古屋工業大学 正 会 員 富永 晃宏

名古屋工業大学 学生会員 中野 義郎

1. はじめに

レーザーシート光と中立浮遊トレーサー粒子を用いた断面内可視化画像を用いて、断面内流速ベクトルを計測するPIV法^{1,2)}により、水制周辺の流れ構造を詳細に計測した。水制域内の土砂の輸送や水質交換機構を解明するためには、水制周辺の流れの詳細な3次元構造および瞬間的な渦構造を知ることが重要である。PIV計測は電磁流速計では計測困難な底面・側壁・水面・構造物近傍流速の計測が可能になるとともに、瞬間の水制域全体の流れ構造が得られる利点がある。

2. 実験条件

実験水路は水路幅 $B=0.3\text{m}$ 、長さ $L=8\text{m}$ の長方形勾配可変型水路を用い、路床勾配 $i=1/2000$ とした。水制設置場所は水路の中間部、上流端から $4.5\sim 4.8\text{m}$ の範囲を水制区間とし、左岸側壁に沿って図-1に示すような3個の連続水制群モデルを設置した。水制モデルの単体は、高さ h 、長さ l が共に 5.0cm 、幅 b が 2.0cm の真鍮製の角棒で、流れ方向には等間隔 $s=10\text{cm}$ に、側壁に対しては直角に配置した。なお、今後水制の各単体には上流側から順に番号(No.1, 2, 3)を付けることにする。流量 $Q=3.8\text{ L/s}$ の定常流量を通水し、計測区域内の水深 $H=7.5\text{cm}$ の越流型水制となるように、水路下流端で堰上げを行った。

流れの可視化には、比重 1.02 、粒径 $50\mu\text{m}$ のナイロン樹脂粒子を用い、厚さ 3mm のシート状にした 500mW アルゴンレーザー光(Ion Laser Technology)を開水路鉛直縦断面($x-z$ 平面)と水平断面($x-y$ 平面)に照射した。図-2に示すように、鉛直縦断面として7断面(水制側側壁から $10, 25, 40, 55, 70, 100, 150\text{mm}$)、水平断面として6断面(河床から $5, 15, 30, 45, 55, 70\text{mm}$)を設定した。なお、今後鉛直縦断面照射の計測断面を水制側側壁から順に番号($Y1, Y2, \dots, Y7$)、水平断面照射の計測断面を河床から順に番号($Z1, Z2, \dots, Z6$)と付けることにする。

この可視化画像を高速ビデオカメラ(フォトリソ:Rabbit)を用いて $Y1\sim Y7$ は 60F/s 、 $Z1\sim Z6$ は 120F/s で撮影した。画像は高速ビデオカメラのメモリーに録画された後、ハードディスクにTIFFファイルとして記録される。画像計測にはVISIFLOW(AEA Technology)PIVシステムを用い、相互相関法により画像解析した。画像解析結果の一例を図-3に示す。水制区間 25cm 程度の範囲を解析対象として計測した。相関法では検査エリアを 32×32 画素、オーバーラップは 50% とした。パソコンの画像メモリーボードに記録される画像は最大99枚であるため、連続画像が得られるように調整を行いながら記録し、計601枚の連続画像から得られる10秒および5秒(画像間のフレーム単位 $1/60, 1/120$ 秒)間の流速ベクトルを時間平均してデータとした。

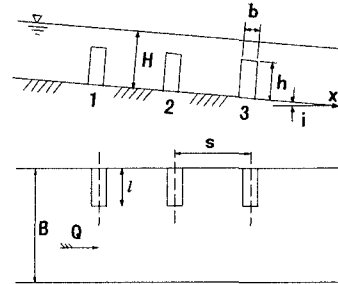


図-1 水制を設置した河道の模式図

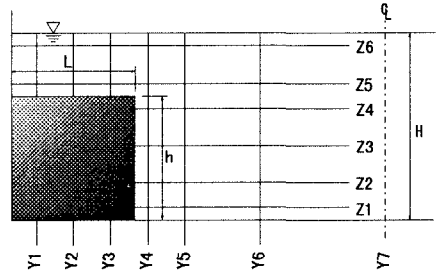


図-2 レーザーシート照射位置図

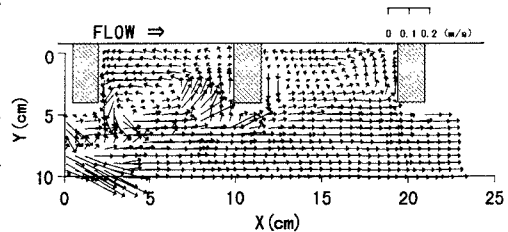


図-3 解析結果例

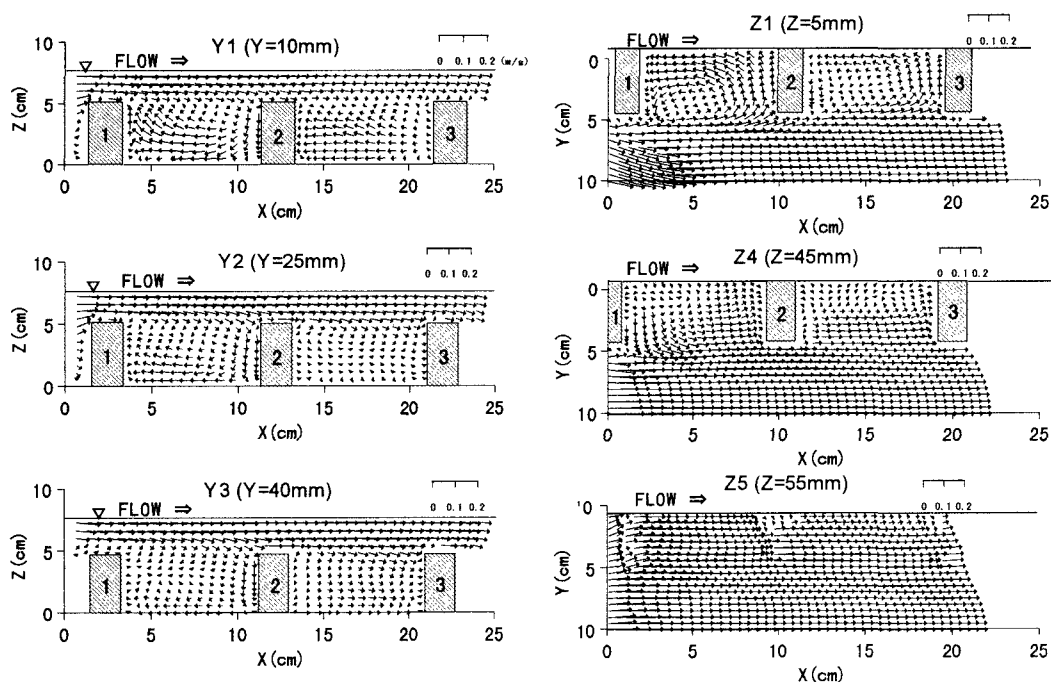


図-4 時間平均流速分布図

3. 解析結果ならび考察

各計測断面のうち、6断面の10秒(Y1, Y2, Y3), 5秒(Z1, Z4, Z5)の時間平均流速分布を図-4示す。

鉛直縦断面Y1, Y2, Y3の No.1-2 区間と No.2-3 区間の渦構造を比較してみると、No.1-2 区間には No.2の手前で潜り込む流れがあり、水制間全体にははっきりとした横渦が見られる。No.2-3 区間ではこのような横渦を見ることができず、水製の根元付近と先端付近でベクトル方向が逆転している。それを考慮しながら水平断面Z1と比較すると、No.2-3 区間では横渦より平面渦の方が強く支配し、水制長の 1/2 を中心とした 2 次元的な渦が形成されていることがわかる。No.1-2 区間にも No.1水制先端後方付近を中心とした片寄った平面渦が見られることから、No.1-2 区間は3次元的な渦構造であると考えられる。水制高より 5mm 下のZ4より、No.1-2 区間では横断流速が存在しているが、No.2-3 区間では横断流速が小さく越流に支配された流れになっており、側壁近傍は遅い流れになっている。水制高の 5mm 上のZ5より、No.1水制上流より水制区間が減速されているのがわかり、No.2-3 区間においては側壁付近が大きく減速されている。

以上のことから、No.1-2 区間では比較的強い3次元的な渦構造に対し、No.2-3 区間では 2 次元的な渦構造であることがわかった。

4. おわりに

画像の両端では、エラーベクトルが高い頻度で現われていた。これは、光源であるレーザーシートが照射位置の両端が中心に比べ、暗くかつシート厚が薄くなるのが原因と思われ、画像の明暗が均一でないためにエラーが発生しやすいものと考えられる。これによって、計測区間が25cm 程度に限定されてしまった。流れ場が、一様かつ平面的な構造ならば簡単に良い画像(解析しやすい画像)を得ることができるが、今回の実験のように、水制周辺の流れは非常に複雑で3次元的な流れ構造を示すため、これを平面(2次元)の画像として取得するには困難を伴った。今後は、瞬間の水制域内の流れの時系列変化について検証していきたい。

<参考文献>

- 1) 平田賢・岡本史紀:熱流体計測における先端技術, 日刊工業新聞社, pp105-108, 1996
- 2) 可視化情報学会編:PIVの要点, 可視化情報学会, pp1-25, 1998