

PIV を用いた開水路流速分布の測定

法政大学	学生員	○干川	真
法政大学	正会員	西谷	隆亘
法政大学	正会員	牧野	立平
法政大学	学生員	鈴木	裕章

1. はじめに

従来から河川の流れにはある構造が存在すると考えられてきた．本実験においても，図 - 1 に示すような，流れの構造を示唆する渦の存在が確認された．木下は洪水流の観測の結果から並列らせん流の存在を予測し（図 - 2），今本・石垣は LDV を用いた速度ベクトル計測の結果から図 - 3 に示す流れのモデルを提案した．このように，流れの構造を示すモデルはいくつか提案されているが，未だに流れの構造の特定には至っていない．本研究は基本的な流れの構造を解明することを目的とし，PIV(Particle Image Velocimetry)を用いて固定床上の流速を測定した実験的研究である．

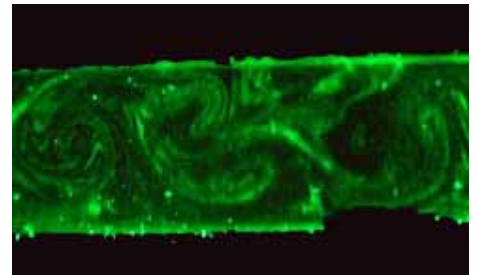


図 - 1 実験で確認された渦

2. 実験概要

実験は水路幅 40cm，全長 10m の可変勾配型の固定床直線水路において行われた．なお，水路中央付近には側面からの観測，レーザの照射が可能のようにガラス製の小窓が設置されている．撮影機器には 30fps の CCD カメラを用いた．また，光源にはレーザを使用し，水路側壁から河床と平行に照射した．流れの可視化には粒径 $4.1\mu\text{m}$ ，比重 1.02 のナイロン粒子をトレーサとして使用し，流れを乱さないように水路上流から投入した．

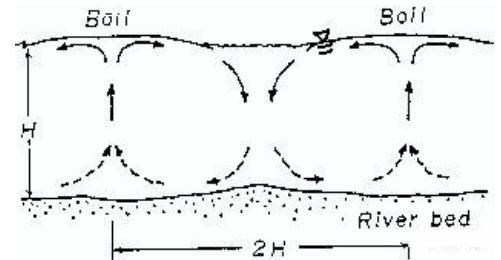


図 - 2 並列らせん流

はじめに，縦筋間隔の測定は水中の水路床近傍に形成されたトレーサの縦筋を CCD カメラで撮影し，画像解析ソフトを用いて画像上の距離から実際の距離を求めた．次に，二次元平面の流速分布の測定が行われた．測定断面の幅は側壁方向に約 15cm，流下方向に約 15cm の二次元平面である．計測箇所は左岸より約 10cm から 25cm の間の水路中央付近である．計測は水深の $0.1h$ （河床付近）， $0.5h$ （水深の中間付近）， $0.9h$ （水面付近）の 3 断面で行われた．

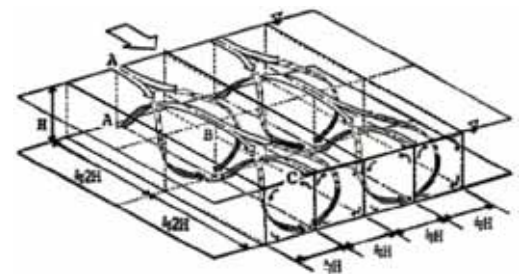


図 - 3 三次元的らせん構造

3. 実験結果と考察3.1 トレーサによって形成される縦筋と水深の関係

従来から流れの構造について指摘されてきた，「流れの構造は水深規模で発生する」という定説を裏付ける現象として，河床近傍に形成されたトレーサによる縦筋に着目した（図 - 5）．このトレーサによる縦筋の間隔を，水理条件を変えて測定を行い，縦筋形成間隔と水深の関係を示した．これが図 - 6 である．本研究では，河床付近に発生するトレーサの縦筋の間隔

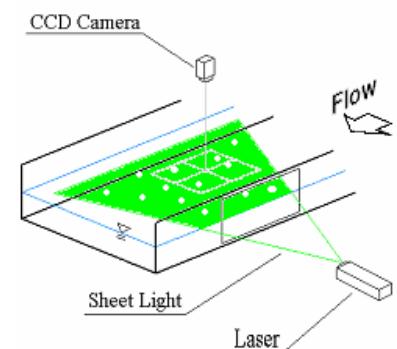


図 - 4 撮影方法

キーワード：流れの構造，PIV，流れの可視化，縦筋，流速分布

連絡先：〒184 - 8584 東京都小金井市梶野町 3 - 7 - 2 Tel.042-387-6294

と水深が等しいと仮定した上で、実験を行った。この仮定が正しければ、計測値は直線 $y = x$ 上に集まると予測される。しかし、計測値は直線 $y = x$ 付近に集まらなかった。また、水深が 6 cm における縦筋間隔を見ると約 2 ~ 6 cm と様々である。このことから、トレーサによって形成された河床近傍の縦筋は流れの構造により形作られると、はっきり断定することは出来なかった。

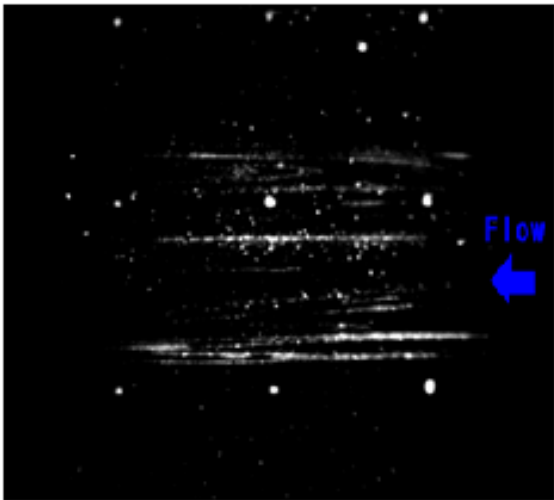


図 - 5 トレーサによって形成された縦筋

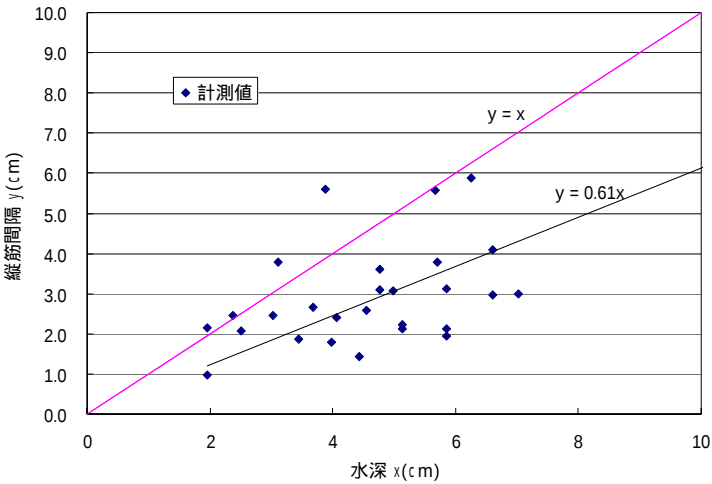


図 - 6 水深と縦筋間隔の関係

3.2 平面流速分布

流速分布は速度ベクトルが寒色系から暖色系に移るにつれて流速が大きくなる。流速ベクトルは流下向成分と横断方向成分の流速の合成速度で、単位は cm/s である。平面流速分布の測定は前述の通り、水路の水平方向に三断面で行われた。

実験条件を表 - 1 に示す。図 - 8 の縦軸は図 - 7 に対応している。図 - 10,12 も同様である。水路の左岸からおよそ 9 cm から水路中央付近 25cm の間の流速が示されている。

1) 0.9 h (水面付近)

図 - 7, 8 は水面付近の流速分布を示した図である。図 - 7 より左岸から 10cm 付近と 17cm 付近に、比較的大きい流速成分が流下方向に帯状に連なっているのが確認出来る。この帯の間隔は約 7 cm 程である。図 - 8 からは計測断面の流速と流下方向に平均化された流速分布とともに大きな流速の変動は見られない。

2) 0.5 h (水深中間付近)

図 - 9, 10 は水深中間付近の流速分布を示した図である。図 - 10 より左岸から 10,17,22cm 付近に比較的大きい流速成分が流下方向に帯状に連なっているのが確認出来る。この流速の大きい帯の間隔はおよそ 7 cm と 5 cm である。主流速の変動幅は水面付近に比べて大きいと言える。

3) 0.1 h (河床付近)

図 - 11, 12 は水路床付近の流速分布を示した図である。図 - 12 より左岸から 10, 15, 20cm 付近に比較的大きい流速成分が、流下方向に帯状に連なることが確認出来る。この流速の大きい帯の間隔は左岸側から約 6cm, 5cm の間隔で横断方向に平行して並んでいる。

以上の三断面の流速分布の測定結果より言えるのは、主流速の大きい成分が集まる帯が左岸から 10cm 付近と 17cm 付近に重なっている。この時の流速の大きい帯の間隔と水深の関係について見ると、流速の大きい帯

表—1 実験条件

流量:(l / s)	0.650
平均水深:H(cm)	3.74
河床勾配:l	1/500
平均流速(cm/s)	4.34
Re 数	569
Fr 数	0.717

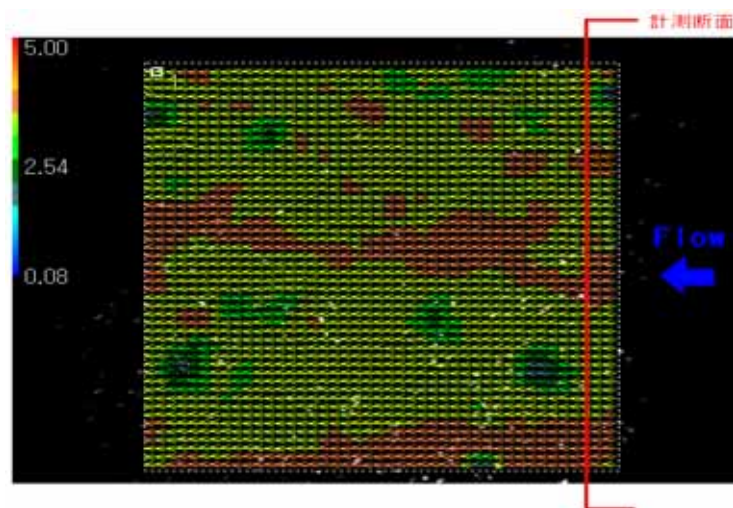


図 - 7 水面付近 (0.9h) の流速分布

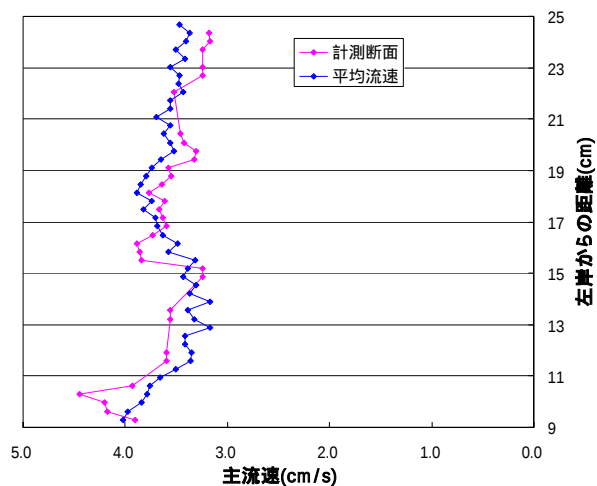


図 - 8 流下方向に平均化された流速分布 (0.9h)

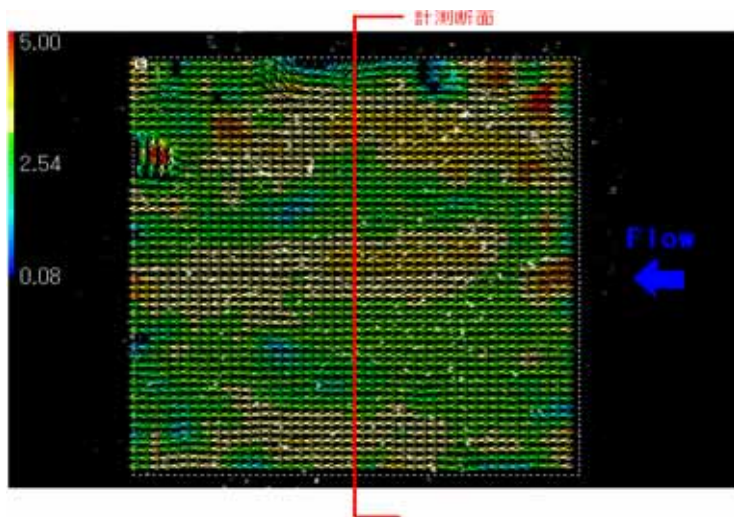


図 - 9 水深中間付近 (0.5h) の流速分布

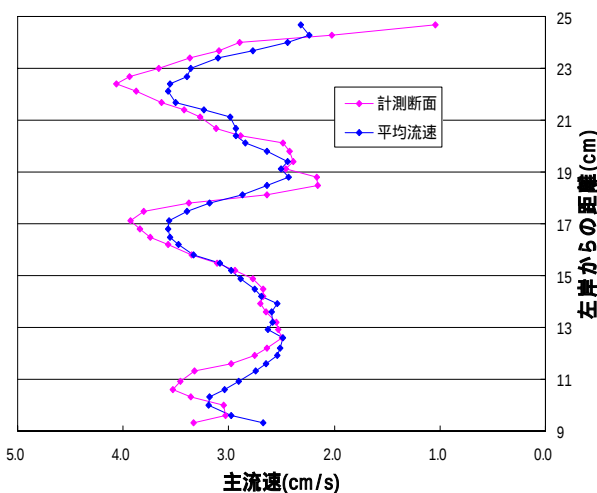


図 - 10 流下方向に平均化された流速分布 (0.5h)

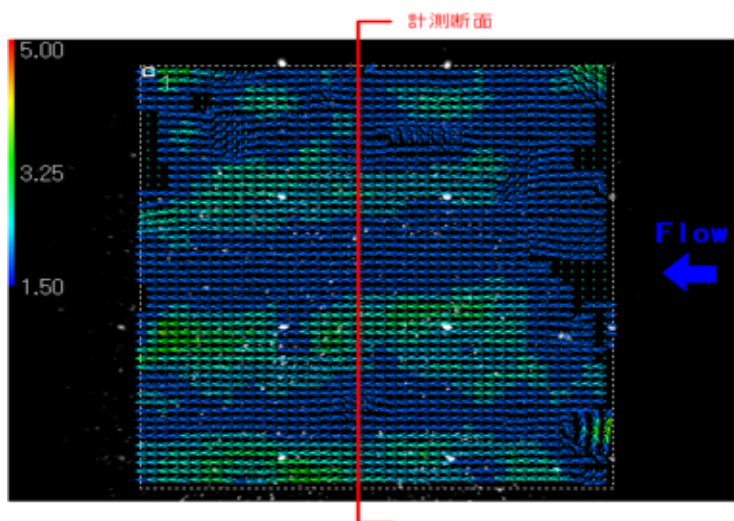


図 - 11 水深中間付近 (0.1h) の流速分布

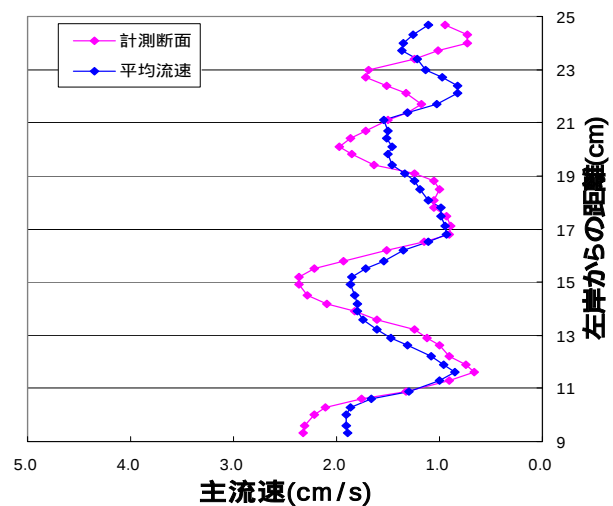


図 - 12 流下方向に平均化された流速分布 (0.1h)

の間隔は5～6cmである。実験時の水深が3.74cmであり、木下の並列らせん流が実験水路に存在するとすれば、速流の大きい帯の間隔は水深の二倍のおよそ7.5cmとなる。本実験の結果は水深の二倍よりも流速の大きい帯の間隔は短く、水路の横断面に発生した渦は真円ではなく、水深方向に長軸を持つ楕円に近い形であると推測される。

4. おわりに

今回の実験では、従来から言われてきた「流れの構造は水深規模で発生する」という定説を確認するまでには至らなかった。しかし、水平断面の流速分布から主流速の大きい成分と小さい成分が横断方向に交互に並ぶことを示すことが出来た。この結果は従来からの定説と一致する。また、トレーサによって河床付近に形成された縦筋は流れの構造を示す一つの要素であると思われる。今後はトレーサによって形成された縦筋上の縦断面の流速分布を測定する実験が必要であると考えられる。実験を通して流れの構造は常に同じ形でなく、ある周期を持ち、それが繰り返し発生しているのではないかと感じられた。

今回の実験では定常流として流れを扱った。そのため、流速分布を測定した三断面の各流れは同じ流れであるとは言えない。そのため、今後は瞬間的に複数断面の測定を行う工夫が必要である。

【参考文献】

- 1) 木下良作：河道形状と洪水流に関する検討業務報告書「並列らせん流に関する実験的研究」，昭和51年度北海道開発局石狩川開発建設部委託調査，1977。
- 2) 今本博健，石垣泰輔：LDVによる開水路流れの速度ベクトル計測について(1)，京都大学防災研究所年報，第28号B-2，pp.471-486，1985。
- 3) 西谷隆亘，牧野立平：縦すじの形成過程について，土木学会年次学術講演概要集第2部，39巻，pp.459-460，1984。
- 4) 西谷隆亘，牧野立平，小野正文：PIVによる開水路流れの流速分布に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部，60巻，pp.529-530，2005。
- 5) 今井将洋，井幡英紀，西谷隆亘，牧野立平：縦筋を伴う流れの流速の測定，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部，55巻，pp.452-453，2000。