11 蛇行流における秩序構造の二断面同時可視化

徳山高専 渡辺勝利
 " 大成博文
 " 佐賀孝徳
 山口大学 斎藤 隆

Flow visualization of three dimensional coherent
 motions in turbulent meandering flow

Katsutoshi Watanabe^{*}, Hirofumi Ohnari^{*}, Takanori Saga^{*}, Takashi Saitou^{**}

The coherent structure of turbulent meandering flow is investigated using the technique which visualize both streamwise and side views simultaneously by fluorescent dye injection method.

The lifting "wall streamwise vortices" on "dye transport pattern", which is a large scale coherent structure of turbulent meandering flow, are observed by streamwise and side views. It seems that these vortices are caused by the interaction between high speed fluid and large scale vortices near side wall.

1. はじめに

蛇行流路の乱流構造の特徴は、流れの三方向において不均一な二次流れが形成されることにあり、それは流路の横断面のアスペクト比が小さい時にますます顕著となる。

著者らは、このような特徴を有する流れ場において、そこに形成された秩序構造の解明を系統的に試みてきた^{1), 2)}。その結果、蛇行流の底壁面近くには、「染料の輸送経路」と呼ばれる低速領域が存在し、さらに、凸岸からは大規模な渦領域（「大規模集中渦」と呼称）が形成されることなど、蛇行流固有の秩序構造の特徴が明らかにされた。

本研究では、これらの秩序構造の三次元的特徴をより明らかにするために、縦・横断面の二断面同時可視化が行われ、それらの結果と平均流速特性の相互関係が考察された。

2. 流れの可視化法

実験は前報¹⁾と同一の水路で行われ、水路幅は $B=25\text{cm}$ 、水路勾配は $1/1000$ とされた。また、流れ場は水深 $H=6.8\text{cm}$ 、レイノルズ数 $Re (=U_m \cdot H/\nu)$ （ここに、 U_m : 断面平均流速、 ν : 動粘性係数）は 2700 に設定された。

二断面同時可視化の照明には、ハロゲンスリットランプが用いられ、水路上部から丁字形のスリットが照射された (Fig.1)。縦・横断面視のそれぞれの可視化断面は、Fig.2 に示されるように蛇行流路内の5つの特徴的な地点において、二台のテレビカメラによって同時撮影された。

* Tokuyama College of Technology: 3538, Takajyo, Kume, Tokuyama, Yamaguchi, 745, Japan

** Faculty of Engineering: Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755, Japan

3. 縦・横断面同時可視化の結果

縦・横断面同時可視化の地点は, Fig.2に示されるように, 底壁近くの染料の輸送経路および凸岸頂部から形成される大規模集中渦の両者を考慮して決められた。

Fig.3には, 各地点におけるその一例が示されている。左側には縦断面視, 右側には横断面視の結果がそれぞれ示され, この左右の写真が同時可視化写真として対応する。また各写真には, 縦および横断面スリットの位置が, ◆および◇印で, 水表面および壁面の位置が△および▲印で示されている。流れ方向は, 縦断面視において左から右, 横断面視において手前から奥である。

さて, 同図の(a), (b)には 25断面における縦・横断面視の結果が示されている。左の縦断面形象において特徴的なのは, 約半水深位置で常に高速域が存在することである。この領域は, 染料が比較的少ない領域(あるいは無い領域)として観察されるが, これは横断面視における大規模集中渦(A)による時計回りの運動によって, より側壁から離れたところの染料のない流体塊が側壁方向へ運ばれるために形成されると考えられる。また, この高速流体の侵入によって, 底壁付近に形成された壁縦渦は間欠的に巻き上げられ, 壁から離れることが促進されるようであるが, その時の壁縦渦の縦断面形象が左の写真下部に写し出されている。これは, 横断面視上での染料の輸送形路(Fig.2参照)に位置している。ところが, 同じ25断面でも水路中央付近では事情が一変する。すなわち, この領域では主流が通過し, 底面付近に注入された染料はすぐに流出される(Fig.3(c), (d))。また, この時, 底壁付近では, 壁縦渦が左岸に移動させられる挙動も観察された。

Fig.4には, 27断面における縦・横断面視による連続写真が示されている。各写真の配置や示された記号はすべてFig.3と同じである。さて, 本断面の染料の輸送経路上では, 25断面の同経路上に比して, 水深方向の相互作用がより活発になることが観察された。それに伴い, 底壁付近の壁縦渦が高速流体の進入(縦断面視において半時計回り回転を伴う)によって, その先端部を上昇させる(流れ方向傾斜角を急にする)挙動がより顕著となることが認められた。同図には, 1秒ごとの各連続写真が示されているが, 壁縦渦の先端に横渦が存在し, それが流れ方向に傾斜して流下する様子が明らかである。

さらに下流の30断面における染料の輸送経路上では, Fig.3(e), (f)に示されるように流れ場における渦領域の占める割合が拡大する。次に染料の輸送経路が対岸に到達する32断面においては, 底壁近くの壁縦渦が25断面とは逆に右岸方向に移動させられるが, この場

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Flow visualization position. Broken line indicates edge of dye transport pattern

Fig.3 Halogen light sheet streamwise and side views

Fig.4 Time series of streamwise and side views at section 27

Fig. 5 (a) Mean velocity profiles near bottom wall ($y=2\text{mm}$)

Fig. 5 (b) Profiles of viscous sublayer thickness

Fig. 5 (c) Profiles of boundary shear stress

合より上流からの高速流体の進入はあまり認められない (Fig. 3 (g), (h)).

4. 平均流速分布特性

Fig. 5 (a), (b), (c)には、底壁近く ($y=2\text{mm}$)の流れ方向流速分布、粘性底層厚さ、底壁面せん断応力分布のそれぞれが示されている。これらの計測には、水素気泡によるタイムライン法が用いられた (実験方法の詳細は文献3)にあり、ここでは省略する)。これらの図中の点線に囲まれた部分が、染料の輸送経路に相当する。

(a)では、凸岸頂部から形成される輸送経路上で流速が遅く、その経路の流下に伴って水路中心線を横切る際には、横断方向で最大流速を示すに至っていることが明らかである。また(b)では、粘性底層厚さが横方向のその最大値から減少する地点に、染料の輸送経路が

Fig. 6 Mean velocity profiles at section 30

位置していることが明らかである。また、この経路が存在しない高速領域では粘性底層厚さがより小さいことも明らかである。(c)の壁面せん断応力は壁近くの直線的な流速分布の勾配より求められたが、これよりやはり染料の輸送経路上で壁面せん断応力が小さいことが示されている。とくに、この経路が水路中心線を横切る際には、水路中央付近で壁面せん断応力と比較するとその値は倍以上も相違し、複雑な二次流れの構造がこのせん断応力分布にも反映されていることが明らかである。

Fig.6には、30断面における水深方向の平均流速分布が示されている。図中の実線は、断面平均流速を横方向に平均した分布曲線を示す。これより、各地点における断面流速分布は、壁近くで高速となり、水表面付近で遅い形状を示している。また、右岸の高速域では、計測点が実線に比較的一致し、水路中央に向うにしたがって、水表面付近が高速化されている。そして、中心線を過ぎると壁近くが高速化し、さらに左岸に近づくとも分布全体が低速化している。これらの分布形状の特徴は、先述の二断面同時可視化の結果とも対応し、染料の輸送経路上において、壁近くで速く、水表面で遅い分布形状を示している。同様の傾向は、レイノルズ数5000の流れ場においても確認されている。

4. まとめ

二断面同時可視化によって、蛇行流に形成された大規模な秩序構造の三次元的特徴が考察された。また、これらから秩序構造が横方向および水深方向の流速分布特性と重要な関係を有することが明らかにされた。今後、レイノルズ数と水路幅水深比を系統的に変化させ、考察を重ねていくつもりである。

参考文献

- 1) 渡辺勝利, 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 蛇行流路における秩序構造の可視化, 第16回流れの可視化シンポジウム, Vol.8, 1988.
- 2) 渡辺勝利, 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 蛇行流の秩序構造に関する研究, 第20回乱流シンポジウム講演論文集, Vol.7, 1988.
- 3) 渡辺勝利, 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 蛇行流の大規模組織構造と平均流特性, 第44回土木学会年講概要集, 1989.