

開水路流れの底壁面付近に形成された縦渦構造と瞬時レイノルズ応力分布の相互関係

徳山高専 学生会員 ○山下裕介
 徳山高専 正会員 渡辺勝利
 徳山高専 正会員 佐賀孝徳

1. はじめに

開水路、管路、境界層などの壁を有する壁乱流には、様々な組織構造が形成されることが知られている。中でも縦渦構造は、乱流場に質量や運動量の輸送を担う重要な組織構造と捉えられている。縦渦構造とは、流れ方向に軸を持つ回転成分を有する渦構造であり、これまでもその諸特性に関する数多くの研究が行われてきた¹⁾。しかし、せん断応力の生成、乱れの発生との相互関係といった流体力学的な特性については数値形計算によって究明が進められているものの実験的には十分な解明に至っていないように思われる。

以上を踏まえて本研究では、流速計測、流れの可視化実験を用いて、開水路乱流の底壁面付近に形成される縦渦構造の時空間特性と瞬時レイノルズせん断応力との相互関係についても検討を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験には、幅 60cm、長さ 10m、高さ 15cm、水路勾配 1/1000 に設定した、透明アクリル樹脂板製の滑面開水路を用いた。実験では、PTV による流速計測、蛍光染料注入による縦渦構造の可視化、さらに縦渦構造と瞬時流情報との相互関係を検討するために PTV と蛍光染料注入法を併用した DPTV を行った。PTV においては、トレーサーとして微細粒子（平均粒径 150 μm 、比重 1.04）、照明としてスライドプロジェクター（1KW）のスリット光膜（厚さ 3mm）を用いた。図-1 に示すように、この微細粒子を混入した水溶液を上流端から流れに連続的に注入した後、流れの縦断面、水平断面におけるトレーサー粒子の流動状況をハイビジョンカメラ（SONY HDR-FX-1000）で撮影した。組織構造の可視化では、トレーサーに比重 1.005 の蛍光染料水溶液を、照明には前述のスリット光膜を用いた。トレーサーを流れに注入し、可視化された組織構造の水平、縦断、横断面を前述のデジタルビデオカメラで撮影した。DPTV では、微細粒子と蛍光染料水溶液を流れに同時に注入し、スリット光内に可視化された組織構造の断面形象と粒子流動を同ハイビジョンカメラで撮影した。実験条件の詳細は表-1 に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

図-2はレイノルズ応力分布である。水表面で0、底壁面付近

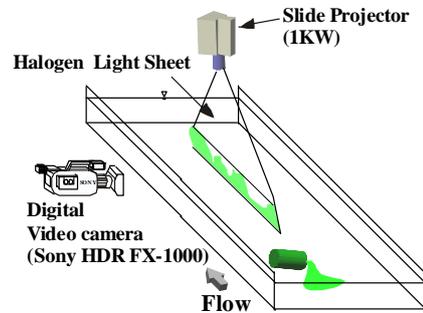


図-1 実験方法概略

表-1 実験条件

Case	H(cm)	U(cm/s)	U^* (cm/s)	Q(cm ³ /s)	Re(U^*/ν)	Fr($U/(gH)^{0.5}$)	ν (cm ² /s)
A	7.5	5.56	0.295	2523.5	3466	2.05	0.01203
B		5.81		2636.5	3671	2.14	0.01187

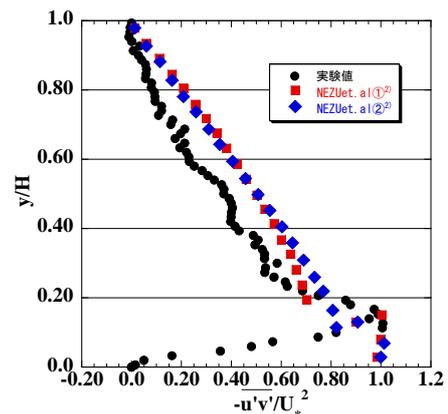


図-2 流速計測結果(CaseA)

で最大値を生ずる分布を呈しており、最大値は $y/H=0.14$ ($y=1.0\text{cm}$) で発生していることが明らかである。

瞬時レイノルズ応力と縦渦構造の相互関係を考察するために、レイノルズせん断応力が最大値を示す $y=1.0\text{cm}$ 付近に注目して、DPTV可視化ビデオの観察を行った。その結果、底壁面付近では、レイノルズせん断応力の生成過程として知られるSweep(高速流体が壁面に下降する現象)と、Ejection(壁面付近から低速流が上昇する現象)が頻繁に観察された。図-3には、観察されたSweep,Ejectionにおける縦渦構造の特徴との相互関係を示しているDPTV解析の一例を示す。本図には、縦渦構造の縦断面形象(上)、瞬時主流即分布(中)、瞬時レイノルズ応力- uv (下)がそれぞれ示されている。図-3(a)はSweep

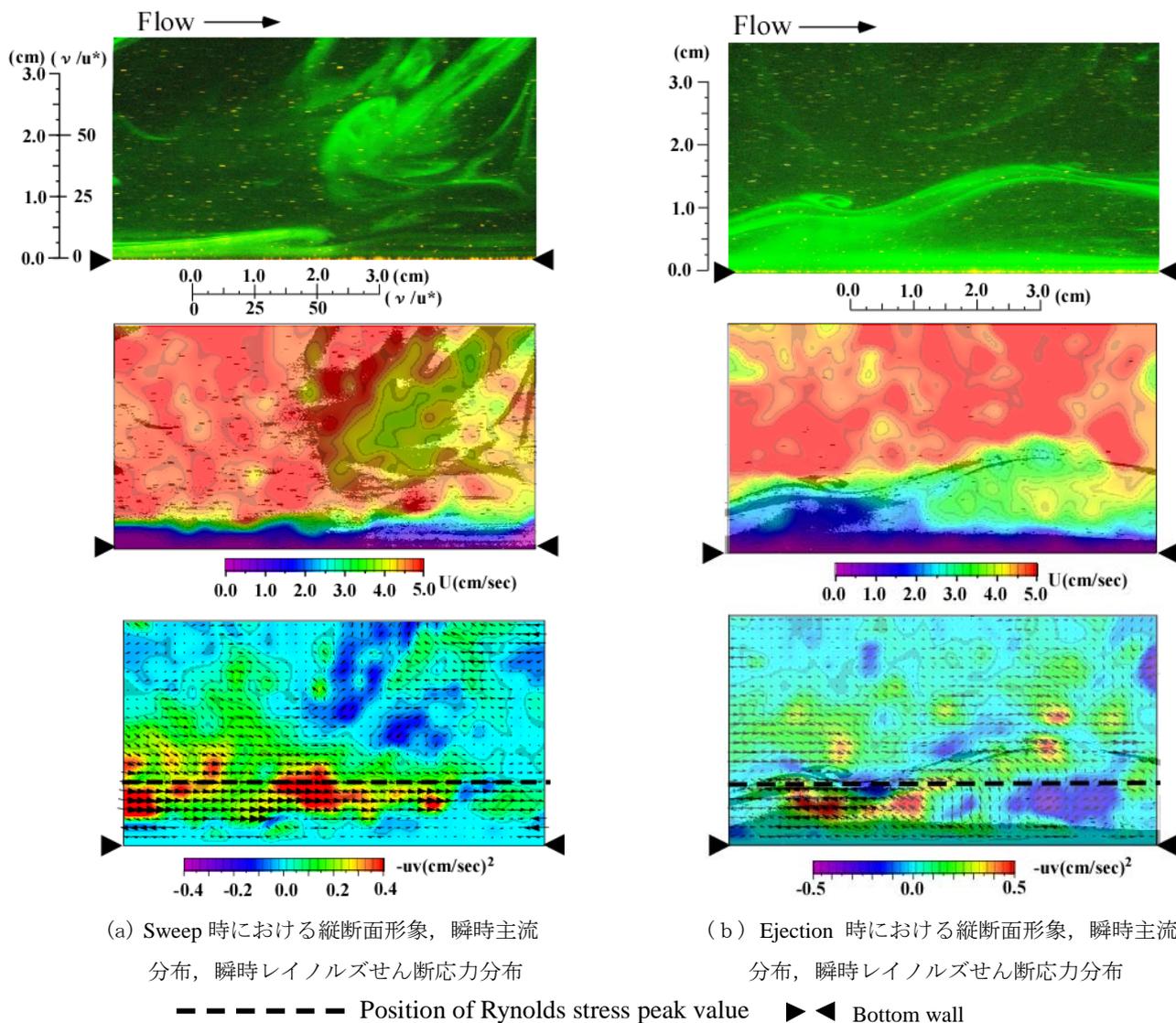


図-3 縦断面 DPTV 解析結果

の流況に相当する。ここに可視化された縦渦構造は可視化断面を横切っており，上流部はその形象は薄くなっている。可視化断面からはずれた領域は高速であり，断面形象が見られる領域では低速であることが明らかである。この図中の破線は図-2(a)に示したレイノルズせん断応力の最大値発生位置を示している。図-3(b)は，Ejectionに相当する。ここで可視化された縦渦構造の縦断面形象は流下に伴って，水表面方向へ上昇することが観察された。この上昇運動の発端となるのが，可視化断面の側方から侵入する流体であり，流側の streak の間に挟まれた蛍光染料の薄い領域に相当する。この領域は低速である縦渦構造の形成領域と異なり，比較的高速であることが明瞭である。この高速流の侵入によって，上流から移動してきた縦渦構造は急激に減速し，侵入した流体に乗り上げ，結果的に上昇することになると考えられる。この過程で 2 象限($u < 0, v > 0$)を示す変動ベクトルが生成され，大き

な瞬時レイノルズせん断応力が縦渦構造に沿って生成されていることが明らかである。

4. おわりに

底壁面付近の縦渦構造と瞬時レイノルズ応力の相互関係を流れの可視化法を用いて考察した。その結果，縦渦構造はレイノルズせん断応力を発生させる Sweep, Ejection と密接に関係しており，瞬時レイノルズせん断応力の生成に主要な役割を果たしていることが解明された。

参考文献

- 1) Robinson, S.K.: Coherent motion in the turbulent boundary layer, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 23, pp. 602-639, 1991.
- 2) Nezu, I.: Numerical Calculation of Turbulent Open-Channel Flows in Consideration of Free-Surface Effect, *Mem. Fac. Eng., Kyoto Univ.* Vol. 49, No. 2.