

円管乱流の壁縦渦の時空間構造に関する研究

徳山高専 正 ○佐賀孝徳
 広島大学 山本真由美
 徳山高専 正 渡辺勝利

1. はじめに

これまで円管乱流の横断面、縦断面可視化より、円管内に形成される壁縦渦の存在とその特性、PTVを横断面、縦断面に適用し瞬時の流速特性、さらに縦断面にDPTVを適用して、壁縦渦構造、瞬時流速ベクトル、速度せん断のそれぞれの特徴とその相互関係について考察を行ってきた¹⁾⁴⁾。本研究では、円管乱流の横断面可視化より明らかにされる壁縦渦とその付根である低速縞（LSS）の時空間構造の特徴について報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ9850mm、内径76mmの亚克力製円管水路が用いられた。上流端には、静水槽、入り口には、ベルマウス（絞り比2.3、長さ110mm）が設置され、上流端より約8.5m下流にて、横断面可視化が行われた。図-1に、横断面可視化法の概略を示す。水路の側方向より、スリット光を挿入し、円管の下流端より、デジタルビデオカメラにより撮影を行った。スリット幅は5mm、トレーサには、ウラン水溶液を用いた。実験条件は、 $Re=5000$ である。

3. 実験結果

図-2は、横断面可視化より観察されたLSSの時系列分布図である。縦軸は、円周方向の距離を、縦軸は、時間軸（25秒間）を流下方向距離に変換し、内層パラメータで無次元化したものである。これよりLSSは様々な流れ方向スケールと、円周方向の変動性を持つことが明らかである。①では、流れ方向においてLSSに連続性が見られず、流下方向スケールが短いのにに対し、②では、流れ方向に連なった構造が多く認められる。③では再び流れ方向のスケールが短くなる。また、時間の経過とともに、隣り合ったLSSが離れていく領域や接近していく領域があることも特徴としてあげられる。円周方向において、密な領域と疎な領域が確認され、密な領域においては、疎な領域に比べて、連続性がないLSSが多いことが認められる。これは、開水路乱流における結果と一致する⁵⁾。図-3には、LSSの平均間隔がヒストグラムで示されている。横軸は、円周方向の長さを無次元化して示したものである。読み取り個数は、円管の結果が886、開水路⁵⁾が872である。これまでに、開水路乱流では、粘性底層内に発生するLSSの横方向間隔の平均値および最頻値が $100\nu/U^*$ と $80\nu/U^*$ であることが知られている。本結果では、平均値は $88\nu/U^*$ で、開水路の値より小さいが、円管乱流と開水路乱流におけるLSSの円周方向間隔の頻度分布は、極めてよく似た分布形状を示す。

図-4は、円管に形成される壁縦渦の時空間構造図であり、縦渦の中心座標から、壁縦渦の高さを示したものである。この図は、黒から白に変わるほど渦の壁面からの距離が大きくなることを示している。縦軸、横軸は、図-2と同様に無次元化した値で示す。流れ方向は左から右である。この図から、壁縦渦には、斜めに連なる配置特性が存在する。図の左上の領域では、渦が右下に向かって連なり、それとは逆に、

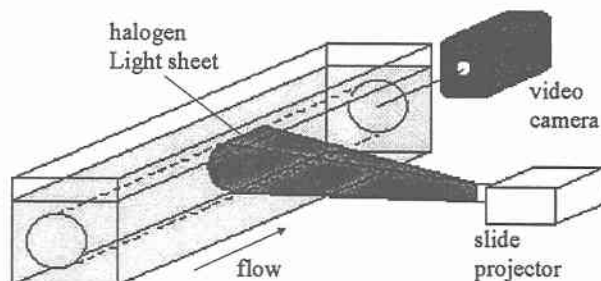


図-1 横断面可視化方法の概略

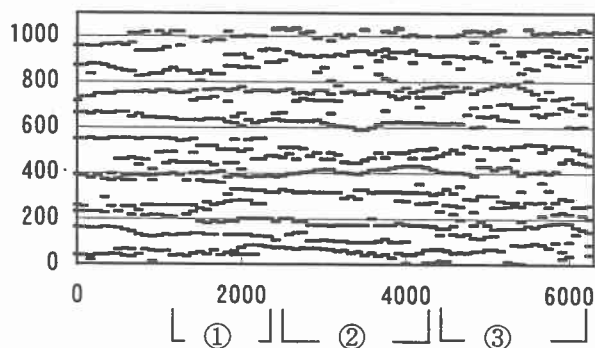


図-2 LSSの時系列分布図

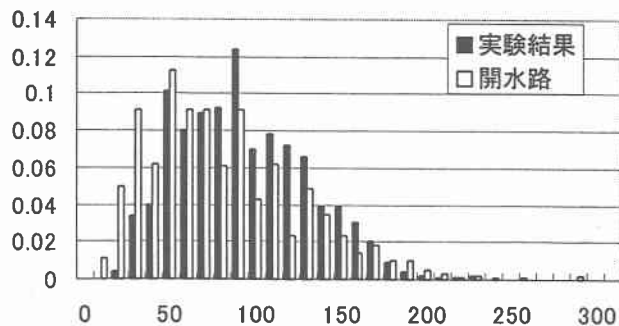


図-3 LSSの円周方向間隔のヒストグラム

左下の領域では、右上に向かって連なっている。その二つの構造は、流れ方向 $X^+=3500 \sim 4000$ の領域で交差する。

壁縦渦と LSS の位置関係を明らかにするため、LSS から壁縦渦の先端までの距離を図-5 に示す。円周方向の反時計回りに移動している渦を正、円周方向の時針回りに移動している渦を負とした。図では、色が濃くなるほど負になり、薄くなるほど正になることを示している。縦軸と横軸は図-4 と同様である。この図から、渦は正の領域と負の領域が交互に存在しながら発達していることが認められる。また、図-5 に示した渦の移動図にも、図-4 と同様な斜め構造が存在することは注目すべき点である。そこで、渦が移動しながら斜めの構造を形成している領域の横断面形象を、図-6 に示した。流れ方向は左から右で、1/3 秒($X^+=83$)ごとの可視化形象である。0 秒目から 3/3 秒目までは、①が負の移動を示している。4/3 秒目から 6/3 秒目までは、②が負の移動を示している。そして 8/3 秒目になると、③が負の移動を示している。このことから、壁縦渦は円周方向の揺動が連鎖的に発生することにより、斜めの構造を形成することが認められた。このような現象は、開水路流れにも存在し、注目すべき点である。

図-7 は、壁縦渦の高さ方向の存在頻度分布図である。読み取り個数は、円管が 2085、開水路が 600 である。円管の実験結果を見ると、その存在頻度は $y^+=20$ の付近で最大となる。これまでの開水路乱流のレイノルズ数ごとのデータにおいて、存在頻度は $y^+=10 \sim 30$ で最大になり、その実験結果と近い分布を示す。また、実験結果の分布形状が Klebanoff ら⁶⁾による乱れエネルギーの生成確率分布に類似していることから、乱れエネルギーの生成に壁縦渦が重要な役割を果たすことを示唆している。

参考文献 1)佐賀他、年次学術講演会、1994。 2)佐賀孝徳他、年次学術講演会、1995。 3)佐賀他、水工学論文集、1998。 4)佐賀孝徳他、中国支部学術講演会、1998。 5)大成他、土木学会論文集、1984。 6)klebanoff et al, NACA Tech. Note, 1954。

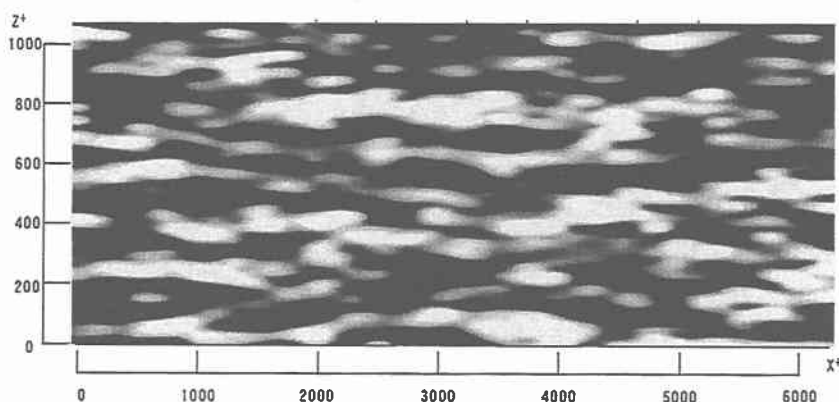


図-4 壁縦渦の時空間分布図

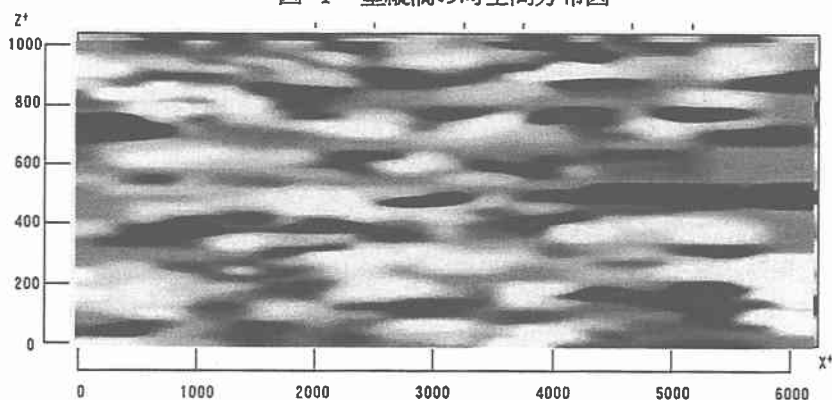


図-5 壁縦渦の移動方向分布

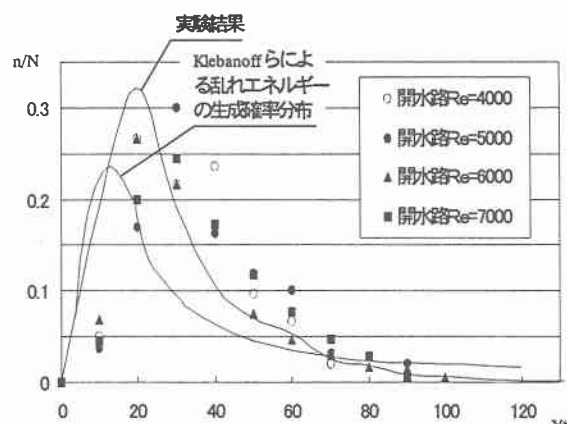


図-7 壁縦渦の発生頻度分布

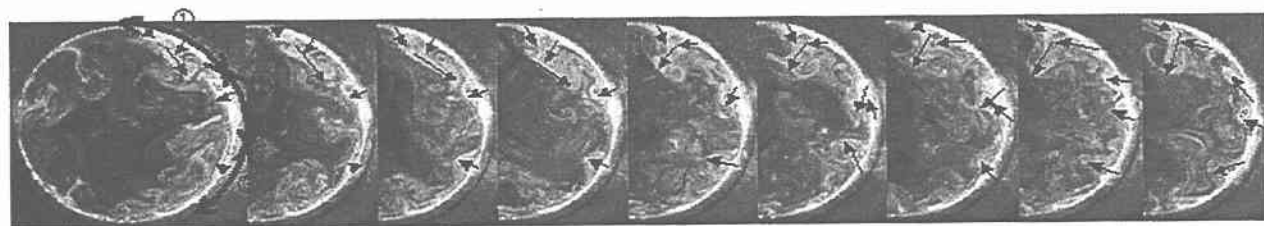


図-6 壁縦渦の連続的揺動現象の横断面形象