

II-279 円管乱流に形成される縦渦構造に関する研究

徳山高専 正員 ○佐賀孝徳
 徳山高専 正員 渡辺勝利
 山口大学 正員 斎藤隆
 中電技術研究所 正員 前田邦男

1. まえがき

これまであまり明らかにされていない円管乱流の組織構造について、前報¹⁾に引き続き検討を行い、新たに縦渦構造が可視化され、その縦渦構造の形成領域、渦径の頻度分布、壁縦渦の付根である低速縞の平均間隔について考察が行われた。

2. 実験方法および実験条件

実験には、図-1に示す長さ923mm、内径76mm(外径86mm)の総アクリル製円管が新たに用いられ、上流端にはアクリル製の静水槽(1200x1000x800mm)、下流端には可視化撮影ボックスが設置された。静水槽内には、円管導入部にアクリル製ベルマウスが設置され、入口の擾乱を可能な限り低減する工夫がなされた。

図-2には、横断面可視化法の概略が示されている。前報とは異なり流れ方向に対して90°の角度でスリット光を挿入し下流端の可視化撮影ボックスより8mmビデオカメラおよび35mmカメラによってそのスリット面(下流端より3m上流部)を通過する蛍光染料水溶液の横断面形象の撮影が行われた。蛍光染料のトレーサは、ウラン水溶液を用いており撮影断面より約2m上流の壁面から注入された。実験条件は、表-1に示すとおりである。

3. 実験結果

図-3は、横断面可視化法で撮影された円管滑面乱流に形成された組織構造の横断面形象の一例である。これより、円管乱流内には、開水路乱流に形成されるマッシュルーム型の壁縦渦の横断面形象が認められる。ビデオ画像より、その壁縦渦の揺動特性、発達過程、相互作用においても、開水路乱流に形成されるそれと定性的にはまったく同じ特徴を持ち、円管乱流内の縦渦構造がこれまで明確に示されていないことから、興味深い結果である。

これらの横断面形象の可視化データをもとに、円管乱流に形成される縦渦構造の定量的評価を行う。まず、それぞれのRe数において、100枚の横断面画像より壁縦渦の付根の発生位置を記録し、それをもとにして低速縞(LSS)の横方向平均間隔 λ^+ を算出した。その結果が図-4に示されている。横軸には運動量厚さ θ を持ちいたRe数が用いられている。また、従来計測されたデータも併記されている。これらの結果より、 λ^+ はほぼ100近傍の結果が得られ、種田²⁾の行った円管の横断面可視化より求めた $\lambda^+=64$ という結果と異なるが、従来の乱流境界層、開水路乱流さらにはDNSのそれと同じであり注目すべき点である。

次に、壁縦渦の渦径と形成領域について考察を行う。各Re数において、壁縦渦の発生高さと渦径(D_y, D_z)が300個計測され、それよりその形成領域における渦径の分布を示したのが図-5である。この図には、乱流境界層についてDNS³⁾により解析された結果も示されている。これより、円管乱流内の縦渦の渦径、形成高さにおいては、内層内ではほぼ一致した分布が得られている。これをさらに明らかにするために、壁縦渦の形成領域の頻度分布が図-6に示されている。開水路乱流の結果(Re=5000)と乱流境界層におけるDNS³⁾の結果が併記されている。この図より壁縦渦の最頻値は、どれもほぼ $Y^+=20\sim30$ であり、円管乱流、開水路乱流、乱流境界層ともほぼ一致することを示している。ところが分布状況においては、低Re数(Re=3000, 4000)では、より最頻値近くに集中して形成されておりRe数の増加に伴ってそれが分散する傾向が認められる。また、その高Re数の場合においては、開水路乱流、乱流境界層とほぼ類似した分布となる。次に、図-7は、壁縦渦の渦径(D_z)の頻度分布が示されており、図-6と同様に開水路乱流、乱流境界層の結果が併記されている。これより渦径の最頻値は $D_z^+=20\sim25$ であり、分布形状も含めてよく一致しており、たいへん注目すべき結果である。これらのことから、円管乱流に形成される壁縦渦構造は、開水路乱流、乱流境界層に形成されるそれと、その発生する横方向間隔、壁縦渦の形成領域、渦径の頻度分布において一致しており、壁乱流に形成される縦渦構造が普遍的な特徴であることを示している。

4. おわりに

横断面可視化より円管滑面乱流の壁面より発達する縦壁渦構造の定量的な特徴について考察が行われた。以下にその主要な結論を示す。

(1) 円管乱流内に形成される低速縞は、 $\lambda^+=100$ であり、開水路乱流、乱流境界層のそれと一致した。

(2) 円管乱流内の壁縦渦の形成領域および渦径の頻度分布が求められ、その最頻値、分布形状においても、開水路乱流、乱流境界層のそれと一致し、壁縦渦の普遍的な特徴が明らかにされた。

本研究は、(財)中国電力技術研究財団より試験研究助成の補助を受けた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐賀, 大成, 渡辺, 斎藤: 土木学会第49回年次学術講演会, 1994.
- 2) S, Taneda: J. Phys. Soc. Jpn., 1989.
- 3) S, K. Robinson: IUTAM symposium, 1989.

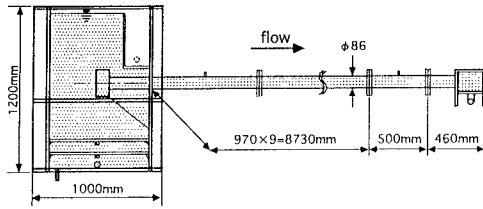


図-1 実験装置概略図

表-1 実験条件

CASE	Re	u_w	u_r
A	3009	4.33	0.299
B	4031	5.75	0.378
C	4956	7.25	0.458
D	7619	10.64	0.674

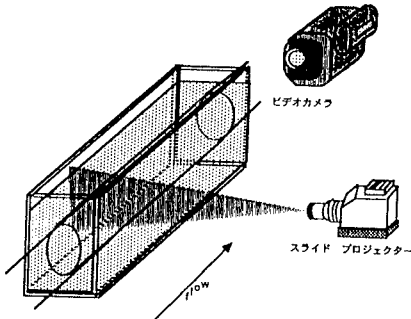


図-2 横断面可視化法



図-3 横断面可視化

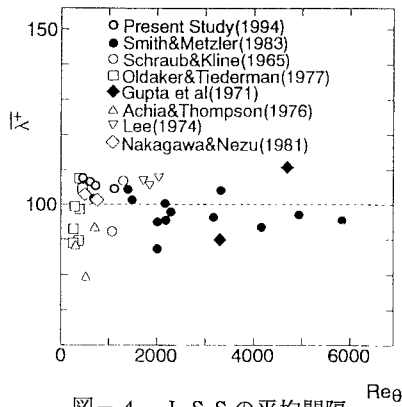


図-4 LSSの平均間隔

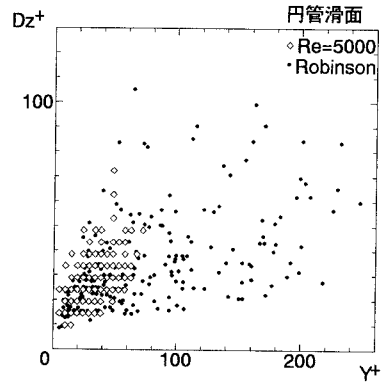


図-5 各高さにおける縦渦の渦径分布

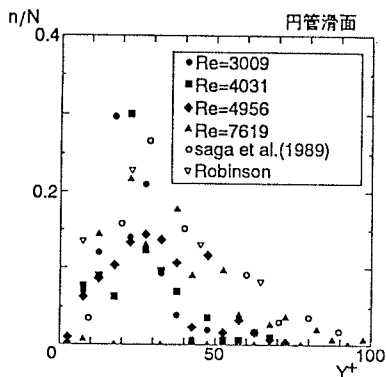


図-6 縦渦の形成領域の分布

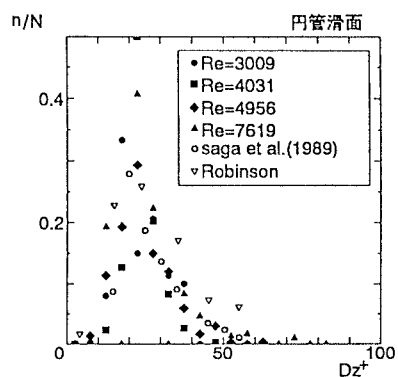


図-7 縦渦の渦径の頻度分布