

II-301 円管乱流の組織構造に関する研究

徳山	高専	正員	○佐賀	孝徳
徳山	高専	正員	大成	博文
徳山	高専	正員	渡辺	勝文
山口	大	正員	斎藤	隆

1. まえがき

これまでにあまり明らかにされていない円管乱流の組織構造が、2種類の断面視法、DPIV法を用いて考察され、円管乱流内に形成される固有の組織構造の特徴と流速変動特性について検討がなされた。

2. 実験方法および実験条件

実験には、図-1に示す長さ1000mm、内径42mm(外径50mm)の総アクリル製円管が用いられ、上流端にはアクリル製の静水槽(1000x1000x990mm)、下流端には流量調節用バルブ、上流端から5000~6000mmの位置に可視化用撮影ボックス(130x80x150mm)が設置された。可視化法には、主として2種類の断層撮影法が用いられた。図-2(a)(b)には、それぞれDPIV法を含む縦断面可視化、流れ方向に対して60°の角度の横断面可視化の概要が示されている。スリットは、1kwのハロゲンランプ内蔵のスライドプロジェクターにより作られた。DPIV法については、文献1)を参照して頂き、ここでは省略する。実験条件は、表-1に示すとおりである。

3. 円管乱流の組織構造

(1) 縦断面形象

図-3は、円管流れの中央部分を縦断面可視化した写真の一例である。流れ方向は右から左である。この写真より、壁面より管路中央に発達する渦構造が明らかであり、下側の壁より連続的に、開水路流れで観察されている壁縦渦と同様の縦断面形象が形成され、下流側では渦が管路中央を越えて時間平均上逆せん断層が形成されている領域にまで進入していることが認められる。一方、上側の壁では、比較的穏やかな流れが形成されており、壁近くにstreak構造が認められる。このことは、非対称な流れが形成されていることを示している。また管路中央部では、スリット面に対して直角方向から、進入してきたトレーサーが可視化されている。図-4は、管路中央部から1.5cm側壁側の断面にて撮影された縦断面視の一例である。これより顕著な特徴は、中央部に斜めに伸びたstreak構造が認められ、上下の壁面に漸近すると、かなり壁近傍の構造が現れ、開水路乱流の平坦な水路床近傍で観察される揺動したstreak形象と同様であることは注目すべき点である。また、上下両方の壁から発達したstreakが発達し、両者が相互作用を引き起こしていることがビデオ観察され、円管の壁より発達した隣合う壁縦渦が、曲面という境界条件から、発達に伴い相互作用を及ぼしていることを示している。これらのことから、開水路流れの壁近くにおいて重要な役割を行う壁縦渦構造が円管においても存在することを示し、壁面より発達する壁縦渦が円管の幾何条件よりお互いに複雑に相互作用を及ぼしていることを示唆している。特に、Antonia²⁾の指摘したgeometry effectが流れ場に作用し、瞬間的な流れ場において流れに非対称性が生じていることも示唆している。

次に、この壁縦渦の傾斜角度が、管路中央部で撮影された縦断面視の写真より計算され、図-5に示されている。これより、粘性底層外端ではほぼ10度であり、壁より離れるに従って、角度が上昇し、 $y^+=50$ では、ほぼ50度の値となっている。このことは、併記してある開水路流れ($Re=4280$)の壁縦渦構造の傾斜角度が20度程度であるのに対して明確な相違を示している。円管の流速変動の空間相関から最大の相関値を計算し求めたChevrin³⁾($Re=8923$)の結果では、 $y^+=20$ において60度近い値を示している。このことは、値は異なるものの、円管内の渦構造の傾斜角度が平板境界層に比べて増加する傾向を示し、壁縦渦の傾斜角度と同様の傾向を示すものである。

(2) 横断面形象

図-6は、横断面可視化で得られた円管内乱流の横断面構造である。トレーサーの注入方法の制約から、管全体にトレーサーを充填できなかったが、壁面より発達する壁縦渦の横断面形象が認められ、これまで、核磁気NMR映像法により可視化された縦渦形象⁴⁾よりもさらに明確な形象が明らかにされた。特に、渦構造の反対壁面までの発達、隣どうしの壁縦渦の集中にともなう大規模な構造の形成、渦構造の寿命時間の短いことの特徴が明らかとなった。それらは、非対称な流れ構造の瞬間的な形成、曲面上固有の壁縦渦の相互作用、壁縦渦の傾斜角度が大きいことにそれぞれ対応すると思われる。

(3) 渦構造と流速変動特性

図-7(a)は、管路中央より1.5cm壁面よりの断面の同様の縦断面形象であり、上流側では下側壁面から渦構造が発達し、下流側では逆に上側壁面より渦構造が発達している。(b)は、粒子流跡より計算された半径方向の変動流速を示し、可視化の形象に対応して、上流側では上昇流、下流側では下降流が形成され、非対称な流れ場が渦構造により形成されていることを示している。

図-8は、流れ方向の平均流速分布を示している。CASE Aは一枚の写真により計算された流れ方向流速の平均流速分布を示している。CASE Bは、8枚の縦断面形象の写真を重ね合わせたデータによる流れ方向流速の平均流速分布を表している。これより、瞬間流速場では流れの非対称性が存在し、時間平均することにより軸対称な流速分布となることを示している。

4. おわりに

円管乱流には、壁面より円管固有の壁縦渦構造が形成され、開水路に比較して急な傾斜角度を持つ構造であり、さらに周囲および反対側から発達する壁縦渦構造と複雑な相互作用を行う。壁縦渦構造は、反対壁面近くまで大規模に発達し、非対称な流速変動場を形成する。

本研究は、(財)中国電力技術研究財団より平成4年度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) 渡邊, 大成, 斎藤: 水工学論文集, 第37巻, pp. 829-832, 1993.
- 2) Antonia, R. et al: J. Fluid Mech., vol. 236, pp. 579-605, 1992.
- 3) Chevrin, P. A. et al: Experiments in Fluids, 13, pp. 405-413, 1992.
- 4) 巨瀬勝美: 日本物理学会誌, vol. 46, No. 1, pp. 29-36, 1991.

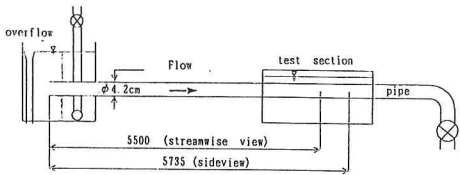


図-1 実験装置概略図

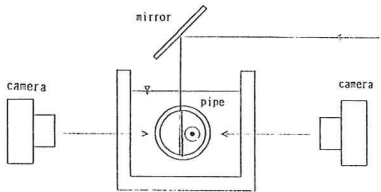


図-2(a) 縦断面可視化法

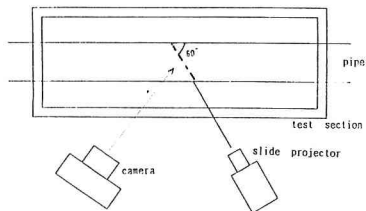


図-2(b) 横断面可視化法

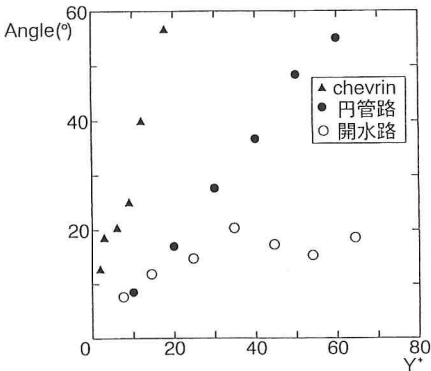


図-5 壁縦渦傾斜角度

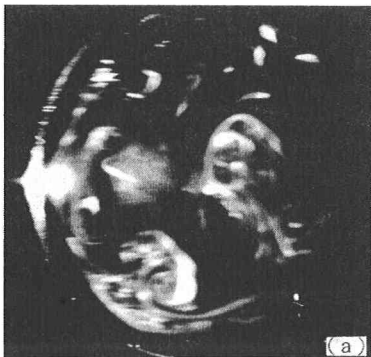


図-6 横断面可視化

表-1 実験条件

case	Re	U_m (cm/s)	U_τ (cm/s)
A	2542	9.09	0.57
B	2766	8.22	0.503

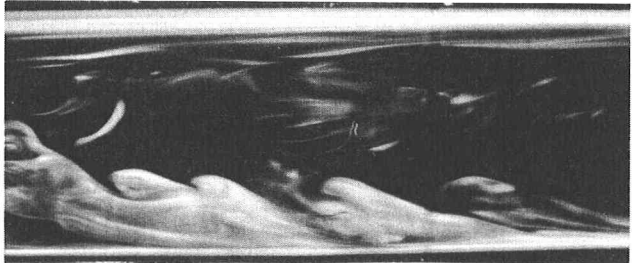


図-3 縦断面可視化（円管中央部） ← FLOW

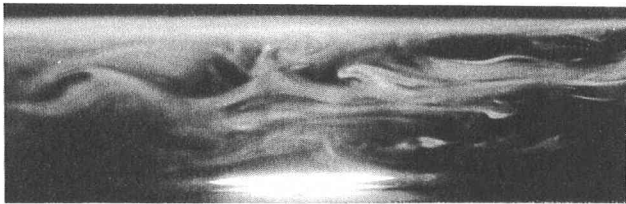


図-4 縦断面可視化（中央より1.5cm側壁側） ← FLOW

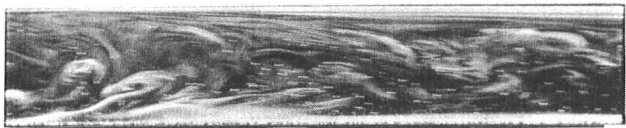


図-7(a) 縦断面形象 → FLOW



図-7(b) 半径方向流速分布

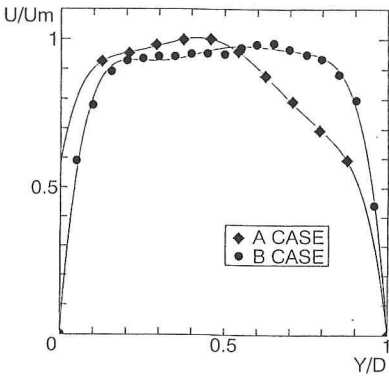


図-8 平均流速分布