

円柱伴流内の渦列の構造

奥出宗重* 和田邦久* 松井辰彌**

1. 実験の目的

平板境界層，物体の伴流などのような剪断流れの層流から乱流への遷移過程および十分発達した乱流の流れを可視化すると，大小の渦を伴う流れ模様が観察される。これらの流れ模様を説明するとき，渦の存在は説明されているが，ほとんどの場合，現象の説明，いかえると，定性的な説明のみされていて，渦のその流れにはたす役割について，ほとんど述べられていないように思う。この理由の一つとして，流れの中の渦の構造が十分分かっていないことと多くの場合渦流れが複雑であるためと思う。しかし，流れの遷移過程で渦構造を伴わない流れはないと思われるので，渦構造を詳細に調査しておく必要がある。

本研究では，最も典型的な渦流れを示す $Re < 160$ の範囲内の $Re = 140$ の場合の円柱の伴流の渦

列内の渦について調べられた。すなわち，渦列内の渦と熱線から得られる伴流断面の速度分布，速度変動（乱れ強さ）および渦度分布との関係について調べられた。

2. 伴流断面内の速度分布

図1は，可視化された流れ模様に見られた規則的な渦列内の流れ方向の各断面における速度変動を含む速度分布を示す。

図から分かるように，渦列による速度変動が平均速度分布に重なって現れていて，そこが下流に行くに従い小さくなっている。振幅の減少は渦列内の渦の衰退を示す¹⁾。振幅の最大値の横方向 (y) の位置は，下流に行くに従い伴流中心から遠くなる。これは渦中心が伴流中心から遠ざかることと，渦の渦核が下流に行くに従い大きくなるためではないかと思われる。

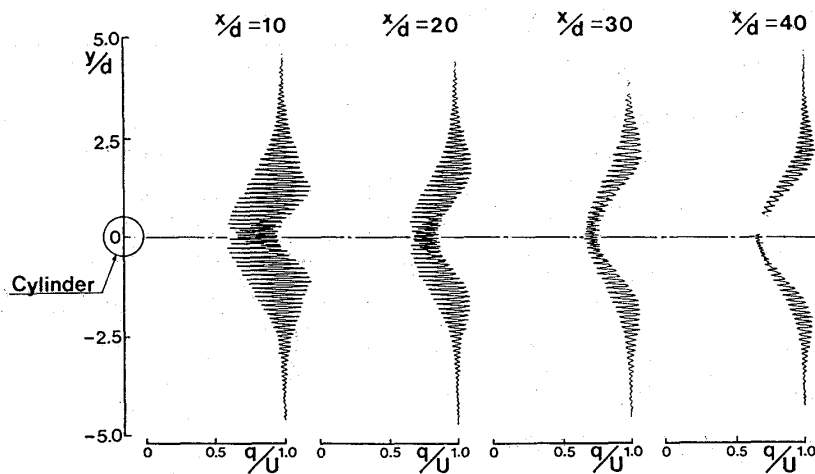


図1 伴流断面内の速度分布, $Re = 140$.

*名城大学理工学部

**岐阜大学名誉教授

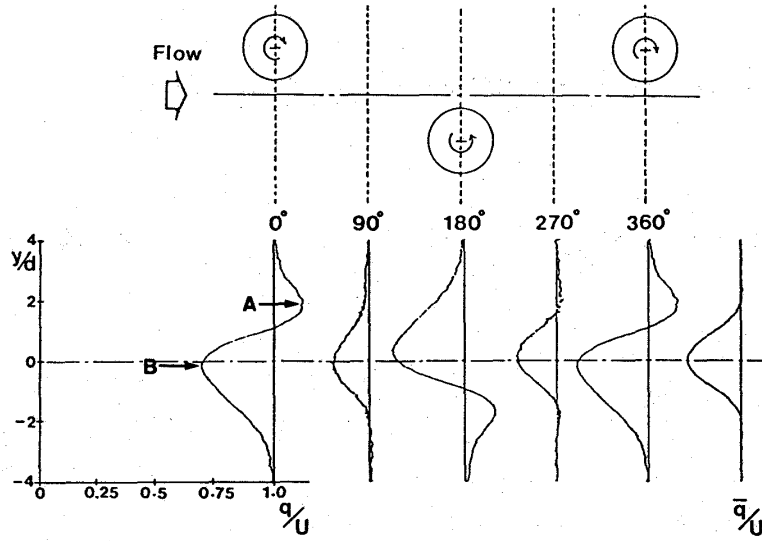


図2 瞬間の速度分布, $Re=140, x/d=20$.

3. 渦列内の瞬間の速度分布

図2は、 $Re=140$ の場合の $x/d=20$ での渦列の一方の列の1波長の間各瞬間における速度分布を示す。渦列外に熱線が置かれている場合、その速度変動波形の山は、伴流内の渦中心の通過を示すことが分かっている²⁾。断面内の瞬間速度分布は、渦列外に置かれた熱線の信号を参照し、伴流内を移動するもう一本の熱線からの速度を条件抽出して測定された²⁾。速度分布の上に示す数値は、参照波形の山を 0° とした1周期内の角度を示す。参考に、各位相角における渦の配置を図の上に、平均速度分布を図の右端に示しておいた。

位相角 $0^\circ, 180^\circ$ および 360° の速度分布は、近似的にランキン渦モデルに見られる速度分布を示している。この速度分布の最大値と最小値の y 値の差は近似的に渦核の大きさを与える。渦核の端を図中にAおよびBで示しておいた。一方、位相角 90° と 270° の速度分布は、平均速度分布に似ている。

上述の図1の速度分布から求められる、速度変動の最大値、いかえると、乱れ強さの最大値を与える y 位置、平均速度分布の変曲点を与える y 位置および図2の瞬間の速度分布から求められる渦核の端の y 位置と伴流内の渦との位置関係を調べる。

4. 渦度分布

図3は、 $x/d=20$ の断面で測定した u, v から求めた等渦度線を示す。渦度は、伴流内を移動する x プローブからの速度 u 及び v を渦列外の熱線の信号(参照波形)で条件抽出し、テーラ仮設を利用して求められた³⁾。破線と実線はそれぞれ渦度値の正と負を示し、その分布の最大値の5%の間隔で等渦度線が画かれている。参考に、参照波形の位相角、円柱からの距離を図の下に示しておいた。

等渦度線は全て閉じていて、ほぼ同心円を画い

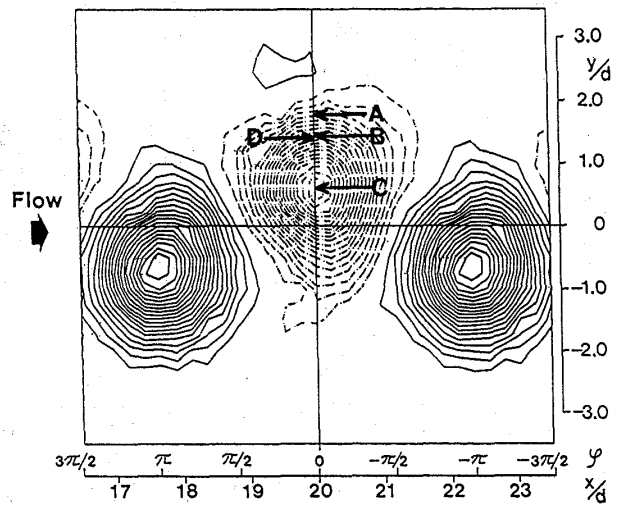


図3 渦度分布と渦核の端、乱れ強さの最大値、平均速度分布の変曲点および渦度の最大値の半値等の y 位置との関係。

ている。その中心が渦の中心に相当する。この渦中心のy位置は、流れ模様に見れる渦中心のy位置に一致する。前述の渦列内の瞬間の速度分布から求めた渦核の端、すなわち、図2のAのy位置、図1の速度変動による乱れ強さの最大値のy位置および平均速度分布の変曲点のy位置をそれぞれ図3の中にA、BおよびCの矢印で示す。平均速度の変曲点Cは渦中心と一致する。渦核の外周で渦の周速度が最も大きくなるので、乱れ強さの最大値のy位置Bが渦核の端Aと一致すると思われるが実際にはかなり離れている。

位相角 0° のy軸上の渦度分布はガウス分布をしている³⁾。その分布の最大値の半値のy位置を図中に矢印Dで示す。その位置は乱れ強さの最大値のy位置Bとほぼ一致する。実在流体中の渦の大きさを示す量として、渦核の大きさが適当であると思われる。しかし、渦核の端を決定するのはかなり困難である。上述の渦列内の速度変動の最大値のy位置Bが渦度分布の半値のy位置に一致するので、測定の簡単な乱れ強さの最大値を与えるy位置Bと渦中心Cとの距離BCで渦核の大

きさを示すのが便利であると思われる。

5. まとめ

1. 平均速度分布の変曲点が渦中心に一致する。
2. 乱れ強さの最大値のy位置は、その周速度が最大である渦核の端と一致せず、渦度の最大値の半値のy位置と一致する。

参 考 文 献

- 1) 奥出宗重, 松井辰彌: 伴流内の渦度拡散と渦度集中, 流れの可視化, Vol. 8 Suppl. (1988/11), pp. 161-164.
- 2) M. Okude and T. Matsui: Correspondence of Velocity Fluctuations to Flow Patterns in a Karman Vortex Street at Low Reynolds Numbers, Trans. Jpn. Soc. Aero. Space Sci., Vol. 30 (1987/8), pp. 88-90.
- 3) 奥出宗重, 松井辰彌: 円柱伴流内の渦列の渦度分布, 日本航空宇宙学会誌, Vol. 37 (1989/12), pp. 582-590.

