C206 円柱と平面壁との接合部流れに及ぼす境界層の影響

山田英巳(大分大学)、佐藤晃郎[○](大分大学大学院)、玉木徳明(大分大学大学院)

Effects of Boundary Layer on a Long Circular Cylinder Junction Flow

Hidemi YAMADA, Akio SATOH, Tokumei TAMAKI

ABSTRACT

This paper describes the effects of laminar boundary layer on a long circular cylinder junction flow. The influence on the velocity distribution of wake was studied by the visualization methods, PIV analysis and the hot-wire measurements. It was found that the bleed flow was produced in the vicinity of the wall surface behind the cylinder. As the result, the secondary flow along the cylinder rear made stronger and the streamwise velocity component nearby the wall increased downstream of the bleed region as the relative boundary layer thickness δ/d increases.

Keywords: Visualization, Junction Flow, Circular Cylinder, Laminar Boundary Layer

1. 緒言

二次元円柱まわりの流れはアスペクト比により影響されていることはよく知られている⁽¹⁾。一方、著者らは既報にて円柱の空力特性が、アスペクト比よりむしろ円柱端部壁面上の層流境界層厚さにより大きく異なることを指摘した⁽²⁾。さらに、層流境界層を伴う平面壁と十分に長い円柱とが接合する流れ場に対しては、層流境界層厚さが厚い場合の円柱固定端前方において首飾り渦とは逆回転のコーナー渦が形成され、固定端近傍背後においては三次元的循環流が形成されることを報告した⁽³⁾。しかしながら、これらのコーナー渦の挙動および三次元的循環流の構造の詳細については、未だ明らかにされていない点が多い。

したがって本研究では、円柱固定端部の壁面上の層流境界層厚さを種々に変化した場合について、円柱背後の詳細な可視化実験、PIV画像解析ならびに熱線流速計を用いた速度分布の測定を行うことにより、円柱固定端における三次元的循環流とその周囲の流れ場の構造を明らかにすることを目的としている。

2. 実験装置および方法

流れの可視化実験には、Fig.1に示すような断面300×300mm(水深250mm)の回流式開水路水槽を使用した。この場合の供試円柱は、直径 $d=16$ または 32 mmで、前縁が長楕円形の平板上に設置されている。可視化実験のレイノルズ数は $Re=U_{\infty} \cdot d/\nu=1000$ とした。

PIV画像解析のための粒子動画像は、水槽流中に平均粒径が $50\mu m$ (比重約1.03)のORGASAL粒子を混入し、上方からスリット光を照射してデジタルビデオカメラ(640×480画素)を用いて撮影した。PIV画像解析には濃度パターン相関法を用いた。本撮影における分解能は、0.225または0.316mm/pixelである。

風洞実験には、風洞出口断面が 400×400 mmの吹き出し型風洞を使用した。風洞実験のレイノルズ数は $Re=3000 \sim 6000$ とし、その際の風洞のアスペクト比は $L/d=30$ である。

なお、可視化実験および風洞実験において平板上に生じる層流境界層厚さ δ はブラジウスの相似解と一致した。

3. 実験結果および考察

3.1 x-z断面の流れ

Fig.2(a),(b)は、層流境界層の相対厚さ δ/d を変化させた場合に対して、PIV解析により求めたx-z($y/d=0$)断面における時間平均速度ベクトル分布を示す。 $\delta/d=0.19$ の場合、 $x/d=2.8$ 付近の壁面近傍のおよそ $z/d=0.5$ の位置より、上流、上方および下流の3方向へ向かう吹き出しが生じていることがわかる。斜め上流へ吹き出した流れは急速に減速し、円柱の背面に至ると、その逆流速度は極めて小さくなっている。一方、壁面に沿って下流方向へ向かう流れは比較的高速で、 $x/d>4$ の範囲では $z/d=1$ 付近の領域において壁面とほぼ平行となっているものと考えられる。 $\delta/d=0.82$ の場合、 $x/d=3$ 付近の壁面近傍のおよそ $z/d=1$ の位置で $\delta/d=0.19$ の場合と同様の吹き出しが生じている。ただ、 $\delta/d=0.19$ の場合に比べ、吹き出し速度が大きいため斜め上方に吹き出した流れの速度は壁面から比較的大きな距離まで大きく、円柱背面の領域でz方向の二次流れ速度成分を形成している。一方、下

流方向へ吹き出した高速の流体は、 $x/d > 6$ の範囲では $z/d = 2$ 付近の領域において壁面とほぼ平行に流下している。

3.2 等速度線図

Fig.3(a),(b)は、層流境界層の相対厚さ δ/d を変化させた場合に対して、I 型熱線流速計を用いて測定した x - z ($y/d=0$) 断面の速度 U/U_∞ を結んで描いた等速度線図を示す。 $x/d=2 \sim 4$ に注目すると、 $\delta/d=0.26$ の場合、速度が円柱軸方向に向かってほぼ一定であるのに対して、 $\delta/d=0.82$ の場合、円柱軸方向に向かって速度勾配を持っていることが分かる。これは、上述したように層流境界層厚さが厚くなるにつれ円柱後方における壁面近傍からの吹き出しが強くなり、その結果、二次流れが強くなることを示している。一方、吹き出し領域の下流で壁面近傍に注目すると、 $\delta/d=0.82$ の場合 U/U_∞ の値が大きく、また、これに伴って高速の領域が広がっていることが分かる。これは、Fig.2(b)で見られるように、層流境界層の相対厚さが大きい場合ほど壁面近傍において下流方向に向かう流れの速度が上流に向かう速度に比べ大きく、さらに高速流体の吹き出し領域が大きいことを示している。

Fig.4(a),(b)は、層流境界層の相対厚さ δ/d を変化させた場合の y - z ($x/d=4$) 断面の速度 U/U_∞ を結んで描いた等速度線図を示す。円柱軸方向に注目すると、 $\delta/d=0.26$ の場合、壁面のごく近傍を除くと等速線がスパン中央から壁面に向かってほぼ平行になっており、二次流れの影響が小さいことが分かる。一方、 $\delta/d=0.82$ の場合、上述した円柱後方の吹き出しのため高速の領域が壁面から少し離れた領域 ($z/d=1$ 付近) に存在している。また、その下方の等速線は $y/d=0$ の対称面近くにおいてくぼんだ谷形を示しており、 $y/d=0$ の対称面において $z/d < 1$ の範囲で壁面方向に向かう二次流れが形成されているものと推察される。さらに、この二次流れは等速線の歪みから $y/d = \pm 1$ 付近で上方に向かうものと考えられる。したがって、相対境界層厚さが大きい場合、およそ $z/d < 1$ の極めて壁面に近い領域においては $y/d=0$ 対称面を挟んで一対の縦渦が形成されているものと考えられる。

4. 結 言

層流境界層を有する平面壁と円柱とが接合する流れ場において実験を行った結果、層流境界層厚さが厚くなるにつれ円柱後方のおよそ $x/d=3$ 付近の壁面近傍の小領域から吹き出す流体速度が大きくなり、そのため円柱背後における二次流れが強くなること、高速流体の吹き出し領域の下流 ($x/d=4$) で $y/d=0$ 対称面を挟む一対の縦渦が形成されること等が明らかになった。

最後に実験装置の製作と実験の遂行に協力を得た甲斐照高技術職員、吉野俊二君、稲垣歩君に感謝する。

参 考 文 献

- (1) G.S. West and C.J. Apelt: J. Fluid Mech, 114 (1982), 361-377.
- (2) 山田, 高崎: 機講論, 078-1 (2007-3), 89-90.
- (3) 林, 山田: 可視化情報, Vol.28, Suppl. No. 1, (2008), 353-354.

Fig.2 Velocity Vector Profile ($y/d=0$, $Re=1000$)

Fig.3 Contour Map of Velocity ($y/d=0$)

Fig.4 Contour Map of Velocity ($x/d=4$)