C207

円柱と平面壁との接合部流れの可視化

林 詠悟[○](大分大学大学院)、高崎浩太、山田英巳(大分大学)

Visualization of a Long Circular Cylinder Junction Flow

Eigo HAYASHI, Kouta TAKASAKI, Hidemi YAMADA

ABSTRACT

The laminar junction flow generated by a long circular cylinder standing upright on a flat wall has been studied by the visualization methods at the Reynolds number of $Re=1000$ and the surface pressure measurements at $Re=3000$. As the results, it has been found that the necklace vortex system and the wake vortex around the fixed end portion of the cylinder are influenced by the relative boundary layer thickness δ/d . There appears a small corner vortex surround the juncture section of the cylinder. The corner vortex rolls up the fluid very near the bottom plate, and produces the three-dimensional vortex structure behind the fixed end portion of the cylinder.

Keywords: Visualization, Junction Flow, Circular Cylinder, Flat Wall, Necklace Vortex System

1. 緒言

二次元円柱が流路内の二つの壁面で支持される場合の空力特性がアスペクト比のみならず、むしろ壁面上の境界層厚さにより大きく異なることが指摘されている^①。これに関連する円柱と平面壁との接合部流れについては数多くの研究がなされているが、そのほとんどが円柱自由端からの吹き下し効果を持つ有限長円柱^②の場合であり十分長い円柱に関する研究は少なく^③、その固定端近傍の三次元流れ場の詳細はまだ十分明らかではない。

したがって、本研究は十分に長い円柱と平面壁との接合部に生じる首飾り渦と局所的循環流の三次元構造を、層流境界層厚さを考慮しながら流れの可視化により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

可視化実験は、Fig.1 に示すように回流式開水路水槽(横断面は $300 \times 300 \text{ mm}$)の亚克力製の測定部内に新たに設置した床平板上に供試円柱(直径 $d=32 \text{ mm}$)を設置して行った。実験レイノルズ数は $Re=U_0 \cdot d/\nu=1000$ (U_0 は主流速度、 ν は水の動粘度)とした。床平板上に生じる層流境界層の厚さ δ ($=\delta_{99}$) はブラジウスの式より求めた。流跡線パターンは、平均粒径が 0.1 mm (比重約 1.02) のナイロン微粒子をあらかじめ水槽中に混入させておき、厚さ約 2 mm のメタルハライドのスリット光を上方から照射してデジタルカメラ(2048×1536 画素)によって撮影して求めた。横断面の流れパターンは、円柱の上流側に設置した一本の細いステンレス管(外径 1 mm)から染料(フルオレセインナトリウム水溶液)を流出させて主に厚さ約 3 mm のスリット光を照射して可視化した。

また、円柱表面圧力の測定では風洞($400 \times 400 \text{ mm}$)の出口で十分大きい矩形端板に支持された直径 $d=6 \text{ mm}$ の円柱を用い、レイノルズ数は $Re=3000$ とした。

3. 実験結果および考察

3.1 縦断面の可視化

Fig.2(a),(b)は、円柱径に対する平板層流境界層の相対厚さ δ/d が 0.58 の場合における x - z 平面内の可視化写真を示す。Fig.2(a)から円柱端部の上流で平面壁上に首飾り渦が生成することが分る。この首飾り渦の中心を越えて円柱前方に流入した流れが円柱の存在により下方に曲げられ、首飾り渦の位置と円柱前縁との間の平面壁上の領域に流入している。この流れは、平面壁上の上流にある首飾り渦に一旦巻き込まれて流下する場合と円柱固定端と平面壁との隅部で円柱表面に巻きつくように存在するコーナー渦に巻き込まれて流下する場合とに分別される。また、円柱背面に三次元的な軸をもつ比較的大きな循環流が形成されていることが分る。この大きな端部循環流は、後述するように円柱固定端のコーナーに生じた極めて小さいコーナー渦の挙動により形成されるものと考えられる。ただ、図を省略したがこのような端部循環流は境界層の相対厚さが小さい $\delta/d=0.19$ の場合には確

Fig.1 Experimental Apparatus

認できなかった。Fig.2(b)より、 $y/d=0.5$ の場合にも円柱の上流位置から円柱の側面を通過する間に流れが下方に向いていることが分る。以上の結果を合わせると、円柱の固定端近傍で円柱のよどみ点に達した流れはかなりの傾斜をもって円柱表面に沿って流れること、及びその傾きをもつ範囲は上流の首飾り渦の寸法が大きい場合ほど平面壁から軸方向に広がるものと推察される。

3.2 横断面の可視化

Fig.3は、 $y-z$ 平面内の $x/d=0.0$ の断面の可視化写真を示す。上流側で生成された首飾り渦が円柱とある程度の距離を保って円柱を取り囲むようにして流下している様子が分かる。Fig.4(a)~(f)は円柱の固定端部において生成されたコーナー渦の挙動を捉えたものである。Fig.4(a)をみるとコーナー渦は円柱表面に巻きついた状態で円柱を取り囲む縦渦を形成していることが分かる。この二つの縦渦は後方に行くにつれて互いに接近し、Fig.4(e)及び(f)のように底部から上方へ巻き上がり、Fig.2(a)に見られたような円柱背面において三次元的な軸を持つ端部循環流を形成している。

3.3 よどみ点表面圧力の軸方向分布

Fig.5(a),(b)は δ/d の変化に対するよどみ点($\theta=0^\circ$)の表面圧力係数 C_{pf} 及び背面($\theta=180^\circ$)の背圧係数 C_{pb} の軸方向分布を示す。Fig.5(a)からおおよそ $z/d \leq 1$ の範囲で C_{pf} が減少しているが、 $\delta/d=0.37$ の場合に比べ $\delta/d=0.65$ の場合の方が低い値をとっている。これは前述した円柱の前面から側面にかけての表面流れが、 $\delta/d=0.65$ の場合の方がより下方に傾いていることに対応する。また、この表面流れが傾いている範囲では円柱固定端に近いほど剥離点が後退するため、それに伴いコーナー渦も円柱背後に回り込みやすくなるものと考えられる。Fig.5(b)をみると $\delta/d=0.37$ の場合、 C_{pb} は z 方向の広い範囲でほぼ一定の値をとっている。一方 $\delta/d=0.65$ の場合、 $z/d=3$ を境に固定端側で圧力が低くなっている。これは Fig.2(a)で見られた円柱固定端側に形成される三次元端部循環流が $z/d \leq 3$ の範囲にあることを示唆する。

4. 結 言

十分に長い円柱が層流境界層を有する平面壁に接合する流れ場について可視化実験を行い、円柱固定端の前方表面において首飾り主渦とは逆回転のコーナー渦が生成され、それらは円柱表面に巻きついた状態で側面を周り、円柱背後で底部から上方へ巻き上がり相対的に大きな三次元的端部循環流を形成す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、佐藤晃郎君に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 山田・高崎：機講論，078-1 (2007-3)，89-90。
- (2) 岡本・砂走・井上：機論 B，57-537 (1991-5)，1586-1591。
- (3) 田辺・柏田・岩田・林：機講論，910-50 (1991-8)，42-44。

(a) $y/d=0.0$
(b) $y/d=0.5$
Fig.2 Flow Visualization ($\delta/d=0.58$)

Fig.3 Necklace Vortex System ($\delta/d=0.58$)

Fig.4 Corner Vortex in $y-z$ plane ($\delta/d=0.58$)

Fig.5 Pressure Coefficient ($Re=3000, L/d=40$)