Vortex Behavior behind Two Cylinders Forming a Contact Cross

正 山田英巳・大分大 学 溝部遼平・大分大 学 山崎祐輔・大分大 学 三好清子・大分大

Hidemi YAMADA, Ryohei MIZOBE, Yusuke YAMASAKI, Sayako MIYOSHI
Oita University, Dannoharu700, Oita-City, Oita**Key Words:** Crossed circular cylinders, Vortex behavior, Flow visualization, Strouhal number

1. 緒 言

柱状物体を組み合わせた構造物は数多く存在しており、これらの構造物周りの流動特性を知ることは、工学的に重要であるため、これまで多くの研究がなされてきている(1)~(4)。十字形接触 2 円柱の交差部背後にある特有の周波数特性を持った縦渦が形成されることが報告されているが、未だ交差部近傍から流出する渦挙動は不明な点が多い。

したがって、本研究では熱線流速計を用いて交差部近傍後流の変動特性を調べるとともに、流れの可視化から作成した流跡線動画を用いて、十字形接触 2 円柱の交差部近傍から流出する渦挙動を明らかにすることを試みた。

2. 実験装置及び方法

十字形接触 2 円柱の交差部近傍後流における流速の測定には、Fig.1 に示す断面寸法が $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ の吹き出し口寸法をもつ風洞を使用した。実験レイノルズ数は $Re = U_0 \cdot d / \nu = 4000 \sim 13000$ とした。供試円柱には直径 $d = 8\text{mm}$ の真鍮製円管を用い、円柱両端部には直径 $8d$ ($=64\text{mm}$) のアルミ製の円形端板を取り付けた。両端板間距離 L と円柱直径 d の比であるアスペクト比は $L/d = 20$ または 15 とし、閉塞率の影響を無視するため 2 円柱は吹き出し口から下流 60mm の位置で、吹き出し口の中心で十字形に交差するよう設置した。変動速度の測定には I 型熱線流速計を用いた。熱線流速計の出力をサンプリング周波数 4kHz (測定点数 32000 点) で AD 変換し、平均速度及び乱れ強さ等を算出した。

流れの可視化には、Fig.2 に示す幅 300mm 、水深 265mm 、長さ 1100mm の開水路試験部を有する回流式水槽を用いた。この際のレイノルズ数は $Re = U_0 \cdot d / \nu = 500$ 、アスペクト比は $L/d = 15$ とした。円柱は直径 $d = 15\text{mm}$ の真鍮製の円管を用い、円柱両端部に直径 $8d$ ($=120\text{mm}$) で、厚さ 1mm のアクリル製の円形端板を取り付けた。可視化用のトレーサとしてナイロン粒子(平均直径 $50\mu\text{m}$ 、比重 1.03)を混入し、水槽上部から厚さ 2mm のスリット光を照射し、デジタルカメラを用いて 30fps で撮影を行った。また、本実験で使用した記号及び座標系を Fig.3 に示す。

Fig.1 Wind tunnel testing

3. 実験結果及び考察

3.1 変動速度のパワースペクトル

レイノルズ数 $Re = 8000$ で十字形接触 2 円柱の交差部近傍後流中の速度変動にはストローハル数が $St = (f_p \cdot d) / U_0 = 0.06, 0.15$ 及び 0.21 に相当する 3 種の卓越周波数 f_p が現れる。Fig.4(a)~(c)は $x/d = 2.0$ 断面における 3 種のストローハル数に対応する変動速度のパワースペクトル密度 $E(f_p)$ を主流速度 U_0 で無次元化した値 E/U_0^2 の等値線分布を示す。Fig.4(a)の $St = 0.06$ は、交差部背後の 2 箇所の領域で大きいことからある種の縦渦による変動がこの領域で現れているものと推察される。一方、Fig.4(c)の円柱交差部から離れた位置で高い値を示す $St = 0.21$ に相当する変動は、カルマン渦列によるものと考えられる。ただ、Fig.4(b)の $St = 0.15$ に対応する変動領域は、 $St = 0.06$ 及び $St = 0.21$ の変動領域と重なっており、FFT 周波数解析に対して両者の非線形系干渉の結果として現れたものである可能性がある。

3.2 ストローハル数のレイノルズ数依存性

$(y/d, z/d) = (2.0, 1.0)$ の位置で検出される卓越周波数から得られたストローハル数のレイノルズ数に対する変化を Fig.5 に示す。ストローハル数は $Re = 8000$ では $St = 0.06$ であるがレイノルズ数の減少とともに小さくなっている。この傾向は、間隙比が極めて小さい $G/d = 0.08$ である高橋ら⁽⁴⁾の結果とも比較的よく一致している。

Fig.2 Water tunnel testing (Flow visualization)

Fig.3 Coordinate system and nomenclature

3.3 交差点近傍の渦挙動

Fig.6(a),(b)は、 $Re=500$ の下で水槽による可視化実験から得られた $x/d=1.0$ における流跡線画像の一例と、その画像から得られたフローパターンのスケッチを示す。Fig.6(b)より、下流円柱背後のおよそ $y/d \leq \pm 0.5$ 及び $z/d \leq \pm 1.0$ の範囲に二対の縦渦対 A, B が見られるが、縦渦対 A に比べ縦渦対 B はかなり小さくなっている。流跡線動画で確認すると、この縦渦対 A が形成され始めて約 20 秒で小さくなり、その後縦渦対 B のスケールが大きくなることがわかった。即ち、この縦渦対 A, B はおよそ 40 秒の周期で交互にそのスケールが変化しており、これは $St=0.011$ に相当する。

一方、Fig.5 を参照すると、 $Re=8000$ における $St=0.06$ は $Re=500$ では $0 < St \leq 0.01$ 程度になると推測される。したがって、Fig.4(a)の下流円柱背後で見られた $Re=8000$ で $St=0.06$ の周波数を示す領域は、この $St=0.011$ の周波数変動を持つ縦渦対 A, B と対応しており、縦渦対 A, B の周期的変動を反映しているものと推察される。また、Fig.6(b)の下流円柱背後には、 $(y/d, z/d)=(0, 2.0)$ 付近に吹き出しのような流れが確認できる。この吹き出し流れは、縦渦によって一旦下流まで流された流れが再び上流に戻され、下流円柱背面にぶつかることによって生じており、Fig.4(a)における $(y/d, z/d)=(0.5 \sim 1.0, 2.5)$ の位置に見られるピークと対応しており、 $St=0.06$ の変動をもつと考えられる。さらに、Fig.4(b)に見られる $St=0.15$ の卓越周波数は下流円柱背面 $(y/d, z/d)=(0.5 \sim 1.0, 1.5 \sim 2.5)$ の位置に見られるので、この下流円柱背面にぶつかる流れと $St=0.21$ の変動周波数をもつ流れが干渉することにより現れたものと推察される。

4. 結 言

十字形に接触して交差する 2 円柱の交差点近傍から流出する渦挙動について調べ、以下のことが明らかになった。

- (1) 下流円柱背後に形成される 2 組の縦渦対については、一定の周期をもって一対ずつ組になって交互にそのスケールが変化している。
- (2) 下流円柱背後で検出される $St=0.15$ の卓越周波数は、下流円柱背面にぶつかる $St=0.06$ の変動をもつ流れと $St=0.21$ の変動をもつ流れの干渉により現れる。

最後に、本研究の遂行に協力を得た甲斐照高技術職員、中西弘樹、美野友紀の諸氏に謝意を表する。

文 献

- (1) M.M.Zdravkovich, J.Fluid Mech., 128(1983), pp.231-246.
- (2) 稲垣, 他 3 名, 機論(B 編), 54-497(1988-1), pp.94-100.
- (3) 山田, 他 3 名, 機論(B 編), 62-603(1996-11), pp.3867-3874.
- (4) T.Takahashi, et al., Journal of VSI, 19-75(1999-10), pp.64-72.

Fig.5 Relationship between St and Re
($x/d=2.0$, $y/d=2.0$, $z/d=1.0$, $L/d=20$)

Fig.4 Contour map of power spectrum
($x/d=2.0$, $Re=8000$, $L/d=15$)

(a) Path line pattern (b) Flow pattern
Fig.6 Flow visualization on y-z plane
($x/d=1.0$, $Re=500$, $L/d=15$)