1 十字形配置2円柱の間隙内流の画像計測

徳山工業高等専門学校 山田 英巳*

Image Processing of Flow Field in Gap between Two Crossed Cylinders

Hidemi YAMADA

A flow field in a gap between two crossed circular cylinders was visualized by the use of tracer particles, and was analyzed by the image processing. The Reynolds number was kept at about 500 for all experiments. The profile of velocity vectors in a gap flow was measured by the particle image tracking velocimetry. As the results, the characteristics of the vortex structure in the gap was clarified. In the case of smallest gap, there are none of vortices in the gap. In the middle gap between $G/d=0.269$ and 0.385 , the quasi-steady necklace vortex or the periodical necklace vortex is formed. In the critical gap of $G/d=0.7 \sim 0.8$, the quasi-steady twin vortex is formed.

1. まえがき

十字形配置された2本の円柱周りの流れ場は、熱交換器、金網、骨組構造物等の流力特性に関し工学的に重要である。著者らは、これまでに円柱の交差領域の抗力係数が円柱間隙の大きさに依存して変化すること⁽¹⁾、およびそれが円柱の間隙内に生成される渦構造のパターン変化に関係すると推察されること⁽²⁾等について報告してきた。しかしながら、特に2円柱間隙が小さい場合、間隙近傍における円柱表面圧力の分布パターン変化および変動速度の周波数変化等と渦パターンとの関係⁽³⁾⁽⁴⁾はまだ十分明らかにされていない。

したがって、本研究では十字形配置された2円柱の間隙内に形成される渦構造の間隙比 G/d に対する変化を $G/d < 1$ の範囲の比較的狭い間隙比に着目して、可視化画像処理計測法を利用して実験的に解析する。即ち、トレーサ粒子により可視化されたビデオ画像に濃度パターン相関法⁽⁵⁾に基づく画像処理流速計測法を適用し、間隙内流の速度ベクトル分布を求めることにより間隙内の渦構造の変化を定量的に明らかにすることを試みる。

2. 実験装置および方法

流れ場の座標と記号をFig.1に示す。実験には幅300mm、高さ300mm、長さ1100mmの開水路測定部を有する回流式水槽⁽⁶⁾を使用した。供試2円柱はいずれも直径 $d=26\text{mm}$ の透明アクリルパイプであるが、下流円柱にはスリット光の乱反射を減じるため黒色のつ

Fig.1 Coordinate System

* Tokuyama College of Technology, Tokuyama-City 755, Japan

や消し塗装がなされている。実験では、測定部の水深を約250mmに保って、水流部横断面の中央に2本の円柱の交差部がくるようにして下流円柱を移動装置により流れ方向の任意の位置に設定した。実験レイノルズ数 $Re=U_0 \cdot d/\nu$ はおよそ500の一定とした (U_0 は主流速度、 ν は水の動粘度)。

2円柱の間隙内の流れの可視化は、比重1.02、粒径147~208 μm のポリマー粒子(約100g重)を水槽流中に混入して、 $y/d=0$ の対称面に幅約5mmのハロゲンスリット光(600W)を照射することにより行った。可視化された間隙内のトレーサ粒子の挙動は、水槽の側方に設置されたCCDビデオカメラで撮影した。撮影された画像は一旦ビデオテープに録画され、その後VTR再生画像として画像取込みボードを介して、(1/30)秒のビデオレートでパーソナルコンピュータ(NEC;PC-9821Ap, 66MHz)の増設バンクメモリに高速転送される。

取り込む可視化画像の大きさは、画面の縦方向(z方向)には192画素に固定し、横方向(x方向)には円柱間隙の大きさにより随時変化させた。本研究では、流れ場の非定常性を考慮して、時間分解能の高い濃度パターン相関法⁽⁵⁾に基づく画像処理流速計測法を採用した。取込んだ画像の空間分解能は1画素0.27mmである。照合する小領域サイズは(11×11)画素とした。以後の速度ベクトルの解析結果の分布は(5×5)画素に1個の割合で出力した。

3. 実験結果および考察

Fig. 2(a)~(c)は、2円柱の間隙比 G/d が0, 0.231, 0.269の各場合における間隙内の $y/d=0$ 面内の速度ベクトル分布を示す。 $G/d=0$ および0.231の場合の速度ベクトル分布を見ると、上流円柱の両側を越えた流体が間隙内の最も狭い領域に流入し互いに衝突していることが分かる。さらにその領域に流入した流体は $y/d=0$ 面から $\pm y$ 方向に離れていくものと推察される。したがって、 $G/d=0$ および0.231の場合、文献(7)における色素による可視化写真およびFig. 2(a)(b)の結果を参照すると、交差部から少しずれた上流円柱の背面に付け根を有す

Fig. 2 Velocity Profiles

る随伴渦が形成されているものと推察される⁽³⁾。

またこれらの場合の間隙内の流れは定常であった。一方、 $G/d=0.269$ の場合 x 軸を挟んでほぼ対称に間隙内に一對の渦が形成されていることが分かる。この場合の渦パターンはFig. 3に示すような一對の首飾り渦の横断面構造に相当するものと考えられる⁽²⁾。この渦対の境界面は僅かに z 方向に変動しているのが観察されたが、本実験の可視化では明瞭な周期的変化は見出せなかった。

Fig. 3 Model of Necklace Vortex

裏ら⁽³⁾は、間隙近傍の円柱表面の圧力変動の周波数が $G/d=0.25$ を境に急変することを見出し、その原因が上記の渦構造の相違にあると考えている。上述の本実験の結果を考慮すると、およそ $G/d=0.25$ 付近を境に少なくとも渦パターンの空間的構造の差異は存在するものと思われるが、渦パターンの周期については裏ら⁽³⁾との矛盾もあり今後の検討を要する。

Fig. 4は、 $G/d=0.308$, 0.346 および 0.385 の場合の代表として、 $G/d=0.346$ の場合における間隙内の速度ベクトル分布の時間的変化過程を示す。 $G/d=0.346$ の場合流れ場の周期的変化が明瞭に観察されたので、その1周期 T を6分割して示している。Fig. 4(a)では上流円柱の上方からの流れの多くが下方の渦に巻き込まれており、下方の渦の方が強く支配的であると推察される。Fig. 4(b)では渦の境界面（ここでは2つの渦を分ける分岐流線の位置をいう）が最も下方位置から徐々に上方に移動し、それに伴い上方の渦強さが回復してきている。Fig. 4(c)では渦の境界面が対称面（ $z/d=0$ 面）付近にまで戻っており、上下の渦強さが同程度になっているものと考えられる。Fig. 4(d)では境界面が対称面を越えて最も上方にまで移動し、(a)の場合と逆に上方の渦が支配的となっている。

文献(2)によると間隙比 $G/d=0.7\sim 0.8$ の場合に間隙内の変動速度の周期性が認められなく

Fig. 4 Variation of Velocity Profile ($G/d=0.346$)

Fig. 5 Velocity Profile ($G/d=0.769$)

Table 1 Classification of Vortex Pattern

G / d	Vortex pattern
0 ~ 0.231	Non-Vortex
0.269	Quasi-Steady Necklace Vortex
0.308 ~ 0.385	Periodical Necklace Vortex
0.769	Quasi-Steady Twin Vortex

なことが報告されている。その要因として渦形成機構の差異が考えられている⁽²⁾。すなわち、 $G/d=0.7\sim 0.8$ の臨界間隙比より小さい G/d の場合には間隙内に前述の首飾り渦が、それより大きい G/d の場合にはカルマン渦が形成される。このような臨界間隙比における渦構造を調べるのに可視化画像処理計測法は適しているものと考えられる。Fig. 5は $G/d=0.769$ の場合における間隙内の速度ベクトル分布の例を示す。渦の境界面は $z/d=0$ 対称面より下方にあり、下方の渦の方が若干支配的であるようである。間隙内の流れはこのような状態ではほぼ定常となっているが、長時間の観察を行うと渦の境界面が不規則に突如変化して一時的にはほぼ対称な渦対となる場合があった。このようなほぼ定常な流れの偏りが本実験システム上の非対称性に起因するものであるのかどうかは今のところ不明確である。

以上述べた間隙内の渦パターンのまとめをTable 1に示しておく。

5. あとがき

トレーサ粒子による流れの可視化観察を行うとともに、その可視化画像に画像処理計測法を適用すると、本間隙内の流れ場のようにセンサー計測が困難な場合に対しても十分有効な定量的な流速計測が可能となる。間隙比が小さい範囲では渦パターンの変動周期がかなり長いことが分かったので、今後は空間分解能の高い画像処理流速計測法を用いて間隙内流れの計測を進めていきたい。本研究に協力頂いた延末忠明、青田昇の両君に感謝する。

文 献 (1)山田・他3名：機構論，No. 845-1(1984)，85.

(2)山田・他2名：機構論，No. 898-3(1989)，107.

(3)斐・他3名：機論(B編)，58-551(1992)，2093.

(4)山田・他3名：機構論，No. 930-49(1993)，345.

(5)木村・他2名：計測自動制御学会論文集，23-2(1987)，101.

(6)山田：可視化情報，Vol. 13，Suppl. No. 2(1993)，345.

(7)山田・他3名：機論(B編)，53-486(1987)，333.