

円柱周りの流れの三次元性に関する研究

徳山高専 学 ○今本雅恵

徳山高専 正 佐賀孝徳

徳山高専 正 渡辺勝利

1.はじめに

これまで、水平断面視、横断面視、縦断面視により、せん断流中における円柱後流の水深方向の三次元構造や剥離せん断渦とカルマン渦の相互関係について考察を行った¹⁾。また、その後流域での、水表面方向へ向かう斜昇流の流れ構造の存在とカルマン渦の流れ方向の構造の変化についても考察した。そこで、本研究では、せん断流中における円柱軸方向の固有の三次元的な構造をより明確にすることを目的として、一様流中に置かれた水平円柱周りの流れの三次元性について考察を行った。

2.実験装置

実験装置には、図-1に示すような、長さ10m、幅60cm、高さ15cm、水路床勾配1/1000の総アクリル製開水路を用い、一様流を形成させるために円柱より75cm上流に整流用のハニカムを設置し、下流端には水位調節用の堰を設置した。円柱を水平に固定して、水平断面視、横断面視をデジタルビデオカメラで撮影した。実験条件は、円柱径(3.2cm)、平均流速(2.4, 2.1cm/sec)を用いたRe数を574, 560とした。また、円柱を鉛直に挿入し、Re数を変化させ水平断面視の撮影も行った。

3.実験結果

円柱周りの流れの構造は、Re数に依存することが知られている。そこで、Re数変化に伴う剥離せん断渦の発生周期のグラフを図-2に示す。横軸はRe数、縦軸は TU/D (T:発生周期, U:平均流速, D:円柱径)とする。ここで、Kourtaら²⁾によって導かれた $f_{sl}/f_k = 0.095Re^{1/2}$ (f_{sl} : 剥離せん断渦の発生振動数, f_k : カルマン渦の発生振動数)に、 $St=0.2$ とした f_k を代入し、 f_{sl} を求め実線で表している。また、剥離せん断渦が、円柱後端から3cm後方を通過する時間を計測して求めた周期をグラフに実測値として示した。これらは、Kourtaの式によく一致しており、この式の妥当性を示している。グラフより、Re数の増加に従って、剥離せん断渦の発生周期は短くなっていることが確認される。これは、Re数の増加に伴い、流れ方向の乱れのスケールが小さくなるためであると考えられる。また、剥離せん断層の有無が注目されてきたRe数が1200より下でも、それと思われる渦が可視化され発生周期も理論値とよく一致している。

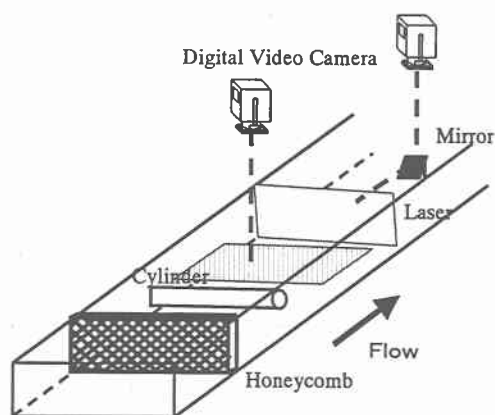


図-1 一様流水平断面形象 (Re=574)

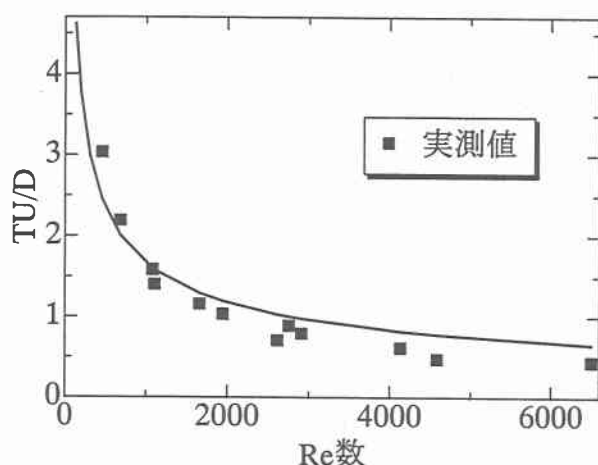


図-2 剥離せん断渦の周期

これまで、せん断流中の横断面視において、後流域は左右に揺動し、その境界は凹凸を繰り返し、横断方向の変動は、水深方向の小さなスケールで集団的に変動する三次元性を有していることを明らかにした³⁾。そこで、せん断流における固有の構造を明確化するために、一様流中の $Re=560$, $X/D=2.7$ の横断面形象の一部を図-3 に示す。各形象は 2/3 秒間隔で、流れ方向は紙面奥から手前である。ここでは、①の I, II のように逆方向の回転運動である対の縦渦（模式図参照）が存在する。これらは徐々に上昇していき、点線で囲んだ (a) に示すように、上部において I の右側と II の左側の縦渦が新たに対を形成し、⑥では下向きの新たな縦渦対が形成される。この縦渦はこの後、下降し、先ほどと同様に隣の縦渦と対になる。これらが周期的に繰り返され、せん断流中とは異なった規則的な三次元性が確認された。この過程において縦渦は、同じ回転成分を保ち、瞬時には回転成分を常に変化させながらも維持されていることは注目すべき点である。

次に、 Re 数が同程度の $Re=574$ の水平断面視について、円柱後流の一例を図-4 に示す。①のように円柱背後から $X/D=3.0$ までひとかたまりの染料の集中した領域が形成されている。そして、時間の経過に従って、下流側が徐々に乱され、切り離されると、②のように $X/D=1.4$ あたりまで乱れない領域が直線的に形成され、その下流側の $X/D=2.2$ あたりでは、縦渦が形成されはじめる。その後これらは、③に示すように前者は $X/D=1.6$ まで拡大し、後者は $X/D=2.7$ まで移動し縦渦の水平断面形象がより明確に観察される。

ここで、注目すべき点は、水平断面視、横断面視において、ほぼ同じ位置で縦渦構造が確認されたことである。

4. おわりに

剥離せん断渦の周期は、Kourta の式によく一致し、低 Re 数においてもその存在が明らかにされた。横断面視より、後流域に形成される縦渦の特徴の一部を明確にした。壁面と水表面の境界条件を持つせん断流中の円柱周りの固有構造を明確にするため、今後更に一様流中における結果と比較考察を行う必要がある。

参考文献

- 1) 今本, 佐賀, 渡辺: 物体周りの流れの組織構造に関する研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.
- 2) Kourta A., Boisson H.C., Chassinng P., Ha Minh H.: Nonlinear interaction and the transtion to turbulence in the wake of a circular cylinder, *J. Fluid Mech.*, Vol.181, pp.141-161, 1987.
- 3) 今本, 佐賀: 物体周りの流れの組織構造に関する研究, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 24 号, 2000.

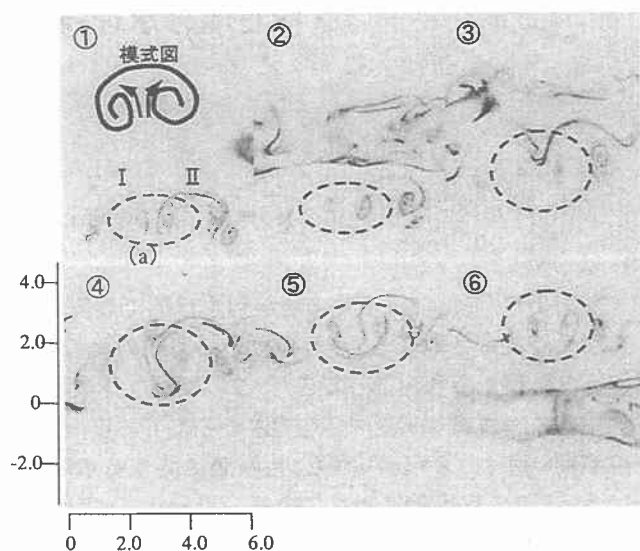


図-3 一様流横断面形象 ($Re=560$)

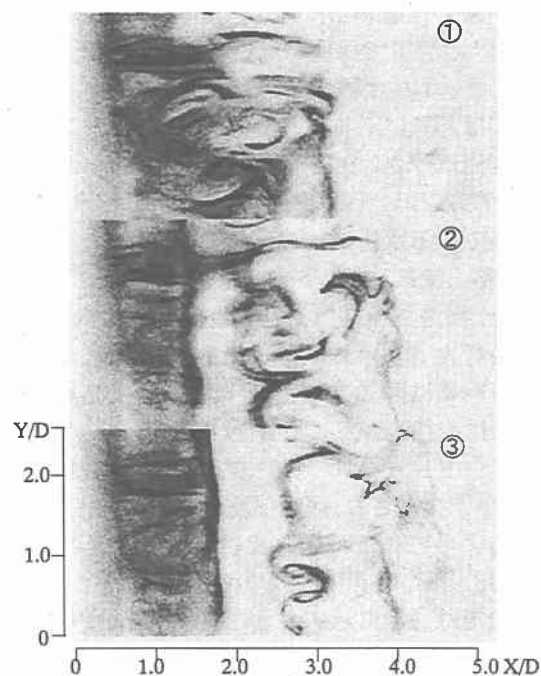


図-4 一様流水平断面形象 ($Re=574$)