

開水路流れの円柱後流に関する実験的研究 (2)

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学大学院 学生員 藤 田 徹
 京都大学大学院 学生員 ○日 紫 喜 剛 啓

流体中に置かれた物体の後流についてかなり以前より多くの研究がなされ、2次元後流については、輸送理論より導かれた速度分布式が実用上よく適用されることがSchlichtingらの実験により確かめられている。¹⁾ しかしながら、開水路せん断乱流中に設置された円柱の後流の特性については不明の点が多く残されている。本報告は、等流状態の開水路流れにおかれた円柱の後流を対象とし、その特性について実験的検討を行なったものであって、速度計測には2成分用X型および1成分用ファイバー型ホットフィルム流速計が用いられている。

1. ストローハル数

円柱後流に形成される渦の発生周波数 f は流体運動を取り扱う場合の基本要素であり、無次元量ストローハル数 $St (=fD/U_\infty)$ (D : 円柱径, U_∞ : 局所的接近流速) は、2次元後流の場合、高レイノルズ数領域ではほぼ一定値をとることが知られているが、開水路の場合については定説が得られていない。図-1は、水深・円柱径比(細長比) $H/D=3$ について、 $x/D=10$, $y/D=1$, $z/H=0.3$ の地点で計測された St と円柱レイノルズ数 $Re_D (=U_\infty D/\nu)$ の関係を示したものであるが、図より知れるように、フルード数 $Fr \approx 1.20$ についての St は $Fr \approx 0.65$ のものに比し若干大きくなっているものの、本実験での Re_D の領域ではほぼ一定値を示し、²⁾ 2次元後流で得られたRoshkoの結果にはほぼ一致しているといえる。しかしながら、3種の細長比 H/D と St との関係を示した図-2より知れるように、いずれの H/D についても Fr が増加するにつれて St は減少する傾向が知れ、また H/D が大きくなると St も大きくなることがわかる。このように開水路流れにおける St は Fr あるいは H/D の影響を受け、2次元円柱に比しかなり複雑であるため、 St の算定に用いる局所的接近流速についての問題を含め、今後検討の必要がある事項が多い。

2. 後流の速度分布特性

図-3は、流量 $Q=4.5\text{ l/sec}$ 、水深 $H=3\text{ cm}$ の開水路流れに径 1 cm の円柱を設置した場合の平均速度 U を等値線で、 V および W については速度の合成ベクトルを用いて示したものである。 $x=2\text{ cm}$ の $y-z$ 平面の図より、円柱に近い後流域では自由表面近傍に速度の大きな領域が存在し円柱側方に広がっていることが知れる。また、2次流は円柱側方半水深付近を中心に放射状の広がりを見せるとともに、後流域内に向う流れは上向き成分を有する3次元のらせん流の存在が知れる。また、 $y=0\text{ cm}$ の $x-z$ 平面の図より円柱前面では下降流が確認され、後流域では $x=2\text{ cm}$ と円柱近傍においては強い上昇流が存在するが、 $x=4\sim 8\text{ cm}$ では水面勾配に対応した下降流が現われ、 $x=10\text{ cm}$ においてはほぼ等値線に平行な流向を示すようになること

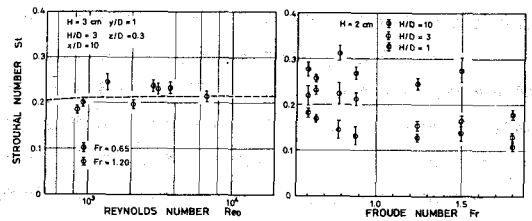


図-1

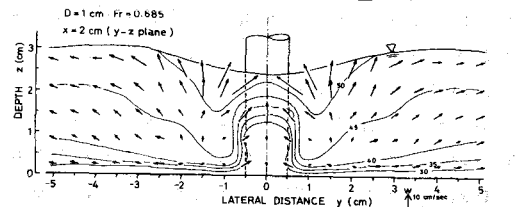


図-2

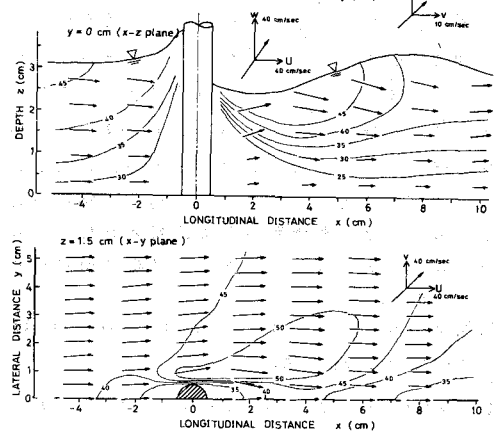


図-3

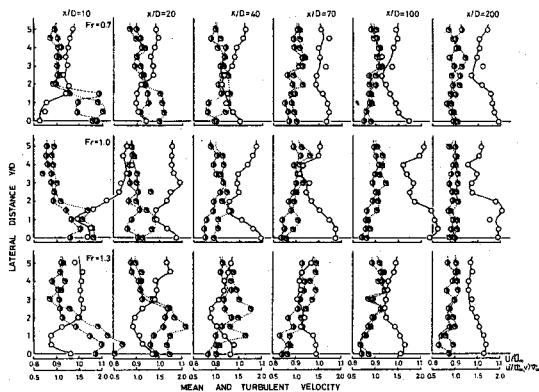


図-4

がわかる。さらに、半水深の $x-y$ 平面の図より円柱側方の高速領域から後流域内に運動量輸送が行われ、 $x=10\text{cm}$ より下流で定常的な後流が形成されるものと考えられる。

図-4 は、円柱から 10cm 以上離れた領域の流速 U および乱れ速度 u' , v' の分布を示したものであって、後流域における速度欠損領域は $x=10\text{cm}$ で x 軸を中心としているが、円柱より離れるに従って x 軸上には高速領域が形成されている。また、円柱より発生する渦の通過を示すと考えられる乱れ速度の大きな領域については x/D の増加とともに横方向に移っており、 x 軸上では乱れが小さくなっている。以上のように、円柱から遠く離れた領域においても2次元後流と大きく異なり、側壁から x 軸方向へ向う強い2次流が存在するものと考えられる。

3. 時空間相関係数

図-5 は表面近傍、半水深 $z_0/H=0.5$ および路床近傍 $z_0/H=0.1$ の3地点を基準点とした同時空間相関係数 $R(z;0)$ を示したものである。なお、データ処理はサンプリング周波数 $f_s=80\text{Hz}$ 、データ数 $N=400$ で繰返し数 $N_R=5$ である。図より接近流に比し、円柱近傍では $|z_0-z|$ の増加に伴ない急激に $R(z;0)$ の値は低下しているが、円柱から離れるに従って接近流のものに近くなっていることが知れる。また、時空間相関係数の時間的位相差を示した図-6 より、円柱近傍では路床と半水深の間で位相が進んでおり、 x/D の増加に従い上方に移行するとともに、接近流のものに近づく傾向が知れる。以上から、円柱より発生する渦は接近流の有する乱れに比べスケールが小さく、渦発生についても円柱軸方向に同時すなわち“共鳴発生”ではなく部分的に発生しているものと考えられる。ただし、離脱渦は円柱から離れるに従って集合し、局所的平均流に乗って流下するとともに、円柱近傍では路床付近から巻き上がる2次流の存在が確認された。

以上のように、開水路流れに設置された円柱の後流に関して種々の興味ある特性が明らかにされてきたが、その定量的評価に関してはさらに詳細な検討が必要であり今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) Moul, D.J. and Young, R.A.: Vortex shedding from bluff bodies in a shear flow, J. Fluid Mech. 1973, Vol. 60, 401
- 2) Roshko, A.: On the development of turbulent wakes from vortex street, NACA Rep. 1191, 1954.

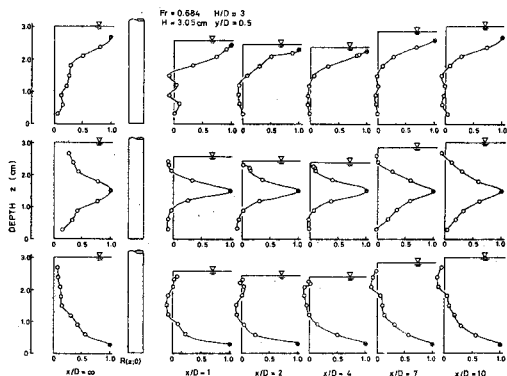


図-5

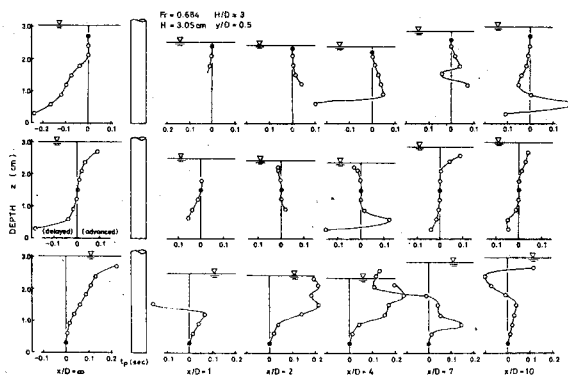


図-6