

開水路流れの円柱後流に関する実験的研究 (1)

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

流れのなかに非流線形の鈍い物体が置かれるとき物体後方にはいわゆる後流域が形成されるが、このような後流域における種々の水理現象についてはすでに19世紀後半における Strouhal の研究をはじめとする数多くの研究がなされ、いくつかの興味ある結果が得られている。しかしながら、それらの多くは一様流中に置かれた2次元物体の場合が対象とされており、せん断流を対象としたものは比較的少ない。本報告は、開水路せん断流中に置かれた円柱を対象とし、後流域における速度場の特性について若干の実験的検討を行なったものであって、実験水路の幅は40cm、円柱の直径Dは1cmのものが用いられ、また速度計測にはコンカル型ホットフィルム流速計が用いられている。

1. 平均速度場の特性

平均速度の計測結果の一例として、路床こう配を水平とし、流量 $Q=4.0$ l/sec、水深 $H=10$ cm の場合(円柱レイノルズ数 $Re=10^3$ 、細長比 $H/D=10$) における最大欠損速度 ΔU_{max} および半値半幅 $b_{1/2}$ と円柱中心からの下流距離 x との関係を図-1 および 2 に、また欠損速度 ΔU の横断分布を図-3 に示す。これらの図には運動量輸送理論より導かれる速度分布(古典解)あるいは半値半幅についての Schlichting¹⁾ の実験式、すなわち、

$$\frac{\Delta U_{max}}{U_{\infty}} \sim \left(\frac{x}{D}\right)^{-1/2} \dots (1) \quad \frac{b_{1/2}}{D} \sim \left(\frac{x}{D}\right)^{1/2} \dots (2) \quad \frac{\Delta U}{\Delta U_{max}} = \exp\left(-0.639\left(\frac{y}{b_{1/2}}\right)^2\right) \dots (3)$$

ここに、 U_{∞} : 接近流の平均速度、 y : 円柱中心からの横断距離を表わす、が併示されているが、これらと実測値との比較よりつぎの事項が知れる。

一般に、(1) および (2) 式は $x/D > 10^2$ という円柱から十分離れた領域に適用されるべきものとされているが²⁾、図にみられるように、 ΔU_{max} は x の $-1/2$ 乗に、また $b_{1/2}$ は $1/2$ 乗に比例する傾向がみとめられ、近似的には $x/D > 10$ についてもこれらの両式が適用されるとして差し支えないことが知れる。ただし路床面に近い $z/H=0.1$ の高さについての適用性はかなり悪くなっている。また、 ΔU の横断分布についてみると、円柱に接近した $x/D=1$ での実測値はいずれの高さについても y の小さなおとこでほぼ一定値を示し、ある y の値を超えると急激に減少し、一度負となったのち 0 に漸近している。このため (3) 式はまったく適用されないが、円柱よりかなり離れた $x/D=64$ では、実測値にかなりのバラツキがあるものの、近似的には適用されることが知れる。なお、 $z/H=0.1$ における ΔU_{max} は $x/D=2$ において極小となっているが、これは円柱周辺に形成されたらせん流に関係するものと考えられる。

1) Schlichting: Rep. Tech. Hoch. Braunschweig, 1954. 2) Townsend: Proc. Roy. Soc., A-190, 1947.

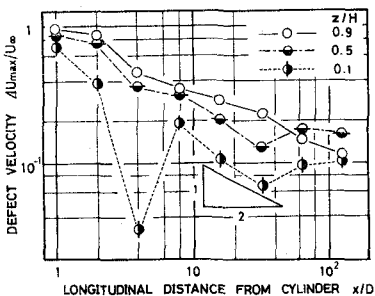


図-1

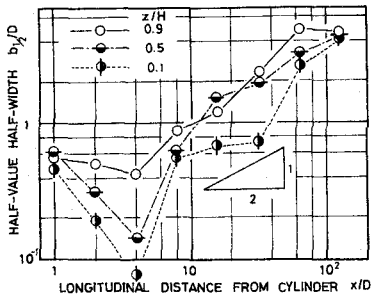


図-2

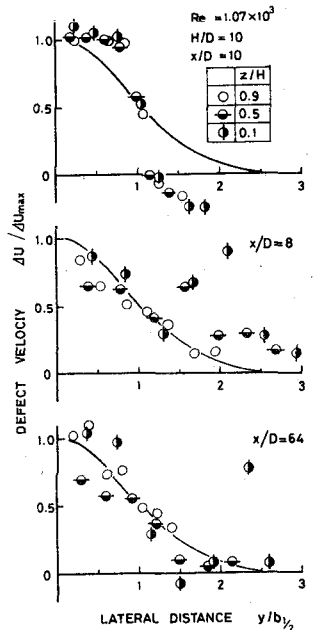


図-3

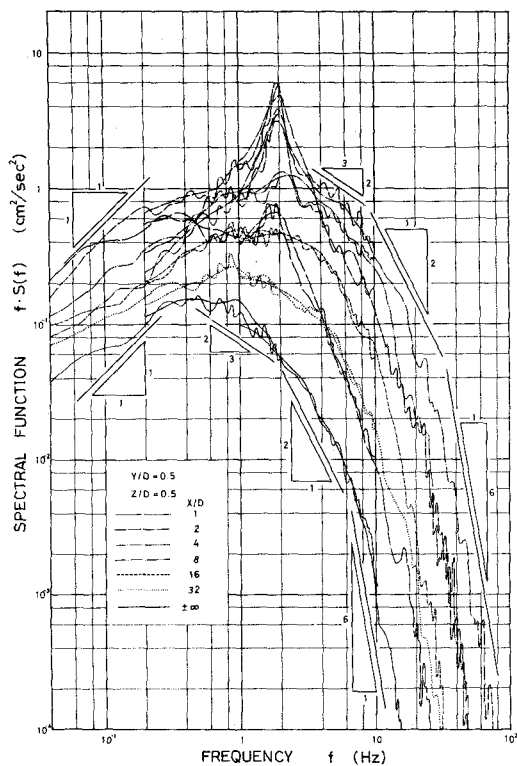


図-4

2. 乱れ速度場の特性

円柱後流域における速度にはある卓越周波数の変動成分が含まれるということはすでに古くから知られており、本実験においても円柱に接近した領域ではかなり顕著な速度変動が認められた。このような円柱後流域における速度変動すなわち乱れ速度の特性を明確にとらえるため、前節と同じく $Re = 10^3$, $H/D = 10$ の場合について、スペクトル特性および時空間相関特性と円柱からの距離との関係について検討する。

図-4 は種々の x/D におけるスペクトル $S(f)$ の計測結果を示したものであるが、円柱に近いところでは明確なピークの存在が認められ、ピークの高さは x/D のきわめて小さな領域では x/D の増加に伴って大きくなり、ある距離 ($x/D = 2$) で極大となったのち x/D の増加に伴って減少し、ピークの存在は不明確となることが知れる。このようなスペクトル特性より円柱後流の乱流構造をつぎのように考えられる。

円柱に接近した領域ではまず低周波数の乱れエネルギーが増加され、やや離れたところで規則的な乱れの発生が顕著となる。ただし、この領域での乱れエネルギーは過飽和状態にあるため、円柱から離れるにしたがって低周波数の乱れエネルギーはレイノルズ応力の効果によって平均速度のエネルギーへと逆変換されるとともに、高周波数のものは慣性の効果によりカスケード過程を経て熱へと逸散され、円柱の存在によって生ぜしめられた乱れエネルギーは結局消滅されることになると考えられる。

また、図-5 および 6 は $z/H = 0.5$ を基準とした鉛直 2 点間の同時空間相関係数および時空間相関係数の時間的位相差を示したものであって、円柱後流における乱れの鉛直方向への平均的広がりを同時空間相関係数の半値幅より推定すると円柱径の (1~2) 倍となることが知れるとともに、時間的位相差より、 $x/D = 2$ および 8 においては自由表面側の乱れ速度に進みがみられるが、 $x/D = 32$ ではかなり複雑な様相を呈しており、円柱周辺に形成されたらせん流が上昇し自由表面にたっしたのち、新たな乱流構造の形成過程にあるものと推測されるが、詳細についてはさらに検討を要する。

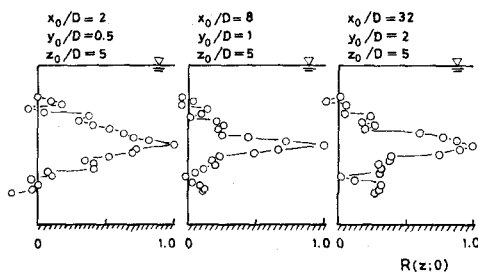


図-5

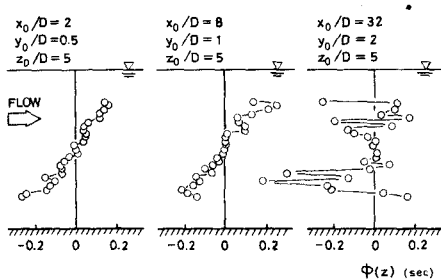


図-6