

流水中での円柱周りの圧力分布について

大同工業大学大学院 学生員 ○山本 純悟
建設省中部地方建設局 正員 九津見 生哲
大同工業大学 正員 久保田 稔

1. はじめに 今回著者らは、せん断流れ場において円柱と路床との距離 e を数種類変化させ、水平没水円柱周りと路床上の時間平均及び変動圧力を求めたので報告する。

2. 実験結果ならびに考察 微差圧力測定機からの出力電圧をシグナルアナライザ（岩通 SM-2100）に入力して平均出力電圧を求めた。また圧力係数については、参照圧力（円柱中心より上流側51.5cmの所での路床圧力）を用いて微差圧を求めた後に、円柱前方よどみ点の圧力を基準圧力とした。つまり圧力係数 C_p は、

$$C_p = (p - p_0) / 0.5 \rho U_0^2$$

である。ここで、 U_0 は断面平均流速、 p は路床あるいは円柱表面の測定圧力、 p_0 は円柱前方よどみ点（0度）の基準圧力、 ρ は流体の密度である。

1) 最小圧力発生角度 円柱周りの圧力分布の非対称性を検討する一方法として、円柱の高速度側及び路床側つまり低速度側の最小圧力点の発生位置を前方よどみ点（0度）からの角度で図-1に表示する。なお同図には、

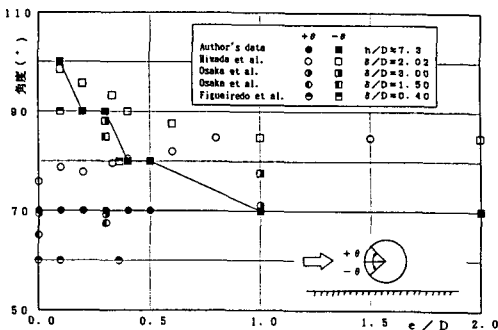


図-1 最小圧力発生角度と e/D

大坂ら、Figueiredoらの最小圧力発生角度及び檜和田らの油膜法を改良したInk-dot法とSmoke-wire法を併用して測定した剥離点の値も図示してある。同図より、著者らの圧力測定角度は10度毎である為か、高速度側の最小圧力点の角度は $\theta = 70$ 度と一定である。一方、低速度側の最小圧力発生角度は、 $e/D \geq 1$ までは $\theta = 70$ 度と一定であるが、 $e/D < 1.0$ の領域で e/D の減少とともに下流側へ移行しており、 $e/D = 0.1$ で $\theta = 100$ 度となっている。

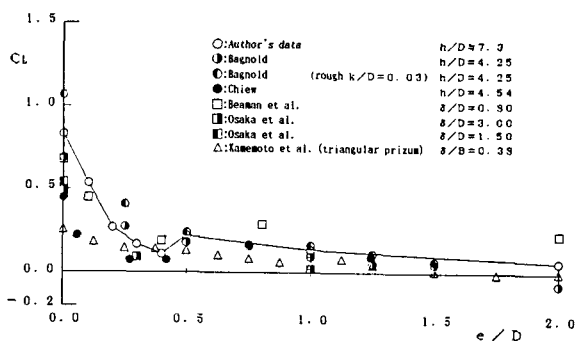


図-2 揚力係数と e/D

著者らの実験の場合、剥離点の発生位置を明確にすることはできなかったが、Chenの論文等より、最小圧力点は剥離点より約10度上流側にあると推察され、また同図の最小圧力発生角度と檜和田らの剥離角度も約10度ずれており、最小圧力点の発生角度は剥離角度を推測する良い尺度であると結論できる。

II) 揚力係数 (C_L) 図-2は揚力係数と e/D である。同図には他の研究者の値も示しており、著者らの値は他の値との区別を容易にする為に実線で結んである。なお、揚力係数

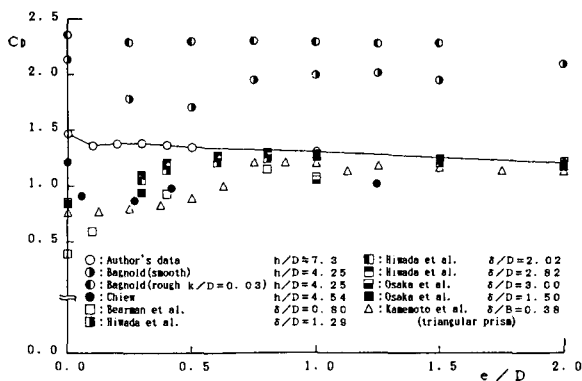


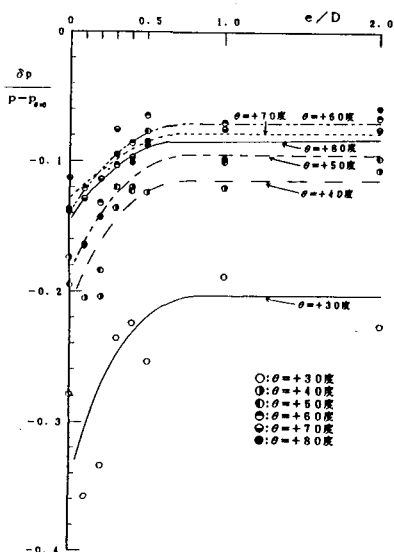
図-3 抗力係数と e/D

C_L は、各 e/D についてそれぞれ円柱中心位置での速度 U_0 を用いて定義し直しており、揚力は円柱を路床から遠ざける方向（水面側）に作用する方向をプラスとした。

同図より揚力は、 $e/D \leq 0.3$ で著者のデータだけでなく他の研究者のデータも急激な増加を見せている。一方、 $1 \leq e/D$ の領域で揚力はきわめて小さな値であり、円柱が路床の影響を余り受けていないと推察される。

揚力の発生原因を大別すると、①Fredsøeらによる剥離点の移動に起因する②速度勾配に起因する、と2種類に分類できる。ここで、図-1の結果より、 $e/D=1.0$ を境として、最小圧力発生角度つまり路床側の剥離点が下流側へ移動し始める事を確認しており、上記のFredsøeらの提案による発生原因は $e/D \leq 1.0$ 以下であると推測している。

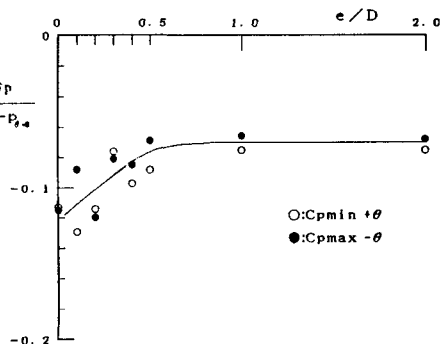
Ⅲ) 抗力係数 (C_D) 図-3は抗力係数と e/D とであり、同図中には著者らの値を実線で結んであり、他の研究者の抗力係数も示してある。なお抗力係数も揚力係数と同様に円柱中心位置での速度 U_0 を用いて定義し直している。同図より、路床付近の抗力係数は風洞実験（□印又は△印）と開水路（○印）とで傾向が異なるようである。すなわち開水路実験では、抗力係数は、路床近くで増加し、円柱が路床と接したとき最大となっている。これに対して風洞実験では、抗力係数は e/D の減少と共に減少し、 $e/D=0$ で最小となる。なお、 $e/D=2.0$ の場合、円柱周りの圧力分布はほぼ対称であり、このときの抗力係数は、1.21であった。円柱が境界壁の無い一様な流れ U_∞ の中に置かれているとき、 C_D は1~1.2のほぼ一定値と報告されており、 $e/D=2.0$ の抗力係数はまさに境界壁の無い場合での値と同じである。



Ⅳ) 圧力の標準偏差 円柱周りと路床上の変動圧力測定結果 図-4 円柱前面での無次元標準偏差より、円柱周りの圧力の標準偏差について述べる。

図-4は、 $\theta=30$ 度から80度までの無次元標準偏差 $\sigma_p / (p - p_a)$ である。同図より、 $e/D=1$ までは、各前方よどみ点からの角度 θ 毎に、無次元標準偏差はそれぞれほぼ一定の値となっており、 $e/D < 1$ から急激に小さくなっている。つまり、 $\theta=30$ 度から50度位の円柱前面ほどまた路床に接近するほど、圧力変動が極めて大きいことが判る。

図-5は、最小圧力発生角度での無次元標準偏差である。同図より、無次元標準偏差は $e/D=0.5$ 付近までほぼ-0.07の一定値であり、 $e/D < 0.5$ より、順次値が減少している。この傾向は、図-4の $\theta=60$ 度から80度までの曲線にも観察され、更に後流域（ $\theta=90$ 度から270度）での無次元標準偏差も、同図と同様に、角度 θ に関係なくほぼ一つの曲線で表現できる様であった。つまり、ほぼ最小圧力発生角度以降で、圧力変動は同程度での大きさあると考えられる。



3. おわりに 揚力係数ならびに抗力係数より、著者らは 図-5 最小圧力発生角度での標準偏差 $2.0 \leq e/D$ の領域では、円柱周りの流れは円柱が無限領域中に置かれた場合とほぼ同じであると考えている。圧力変動については、最小圧力発生角度より小さい角度の場合、円柱前面ほど又 e/D が小さいほど圧力変動が大きくなると考えた。