

東京工業大学工学部 正員 吉川考夫

東京工業大学大学院 学生員 山本晃一

1. はしがき

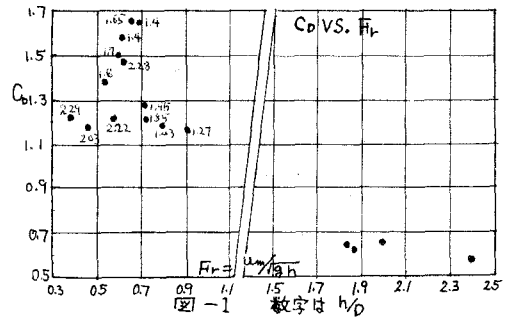
開水路に垂直に置かれた円柱に働く流体力は、二次元流れと異なっており、自由表面及び速度勾配を持つため、円柱に働く流体力は二次元流れと異なる。ところで土木工学的問題としては、河川中の橋脚等々三次元的な流れの問題がたびたびある。我々は東京工業大学土木実験室の長さ14.7m、幅40cm、高さ40cmの鋼製、底勾配可動の水路をもちい水路中央に直径 $D=4.87\text{cm}$ 、高さ18cmの円柱を設置し、円柱表面には1cmごとに径0.8mmの穴が円柱軸方向に垂直に並べられていて、これでもって別に設けられた静圧管との圧力差 $(P-P_0)$ をマンノメーターをもちい測定した。抗力は円柱を10°ずつ回転して測定した圧力より $\Delta F = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (P-P_0) \cos \theta d\theta$ より求め、これによって円柱に働く抗力を解析した。我々の実験の範囲は Re 数が $1 \times 10^4 < Re < 8 \times 10^4$ の範囲で、二次元流れでは形状抵抗がまさつ抵抗と卓越して、抵抗係数 C_D が Re 数によらず、ほぼ1.2の値を持つ範囲である。

2. 実験結果及び考察

円柱に働く全抗力 F と円柱表面の圧力を積力することによって求め、 $(F = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \Delta F dz)$ 又平均流速 U_m と円柱前方の平均流速にとると、円柱の抗力係数 C_D は

$$C_D = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho U_m^2 h D} = \psi(Re, Fr, h/D, S/D, K) \quad \text{ここで } Fr = \frac{U_m}{\sqrt{g h}} \text{ で}$$

フルード数、 h/D 相対水深、 S/D 水路相対直径、 K 速度勾配を表す無次元量、この実験では S/D 一定、 Re 数の影響は無いと考えてよい。図-1は C_D と Fr の関係を示したものである。この図からわかるように C_D は Fr 数が重要な因子となる。 C_D はばらつきはあるが Fr 数0.5位から立ち上がり0.6~0.7で最高になりその後急激に減少している。 Fr 数が0.5を越えると自由表面の変形が大きくなり造波抵抗の影響が入ってくる。しかし Fr 数がより大きくなると円柱背後の水面低下が大きくなると、円柱背後の圧力を大気圧としてしまうため C_D は減少してゆく。 Fr 数が1.5を越えると C_D は小さくなり、 h/D 、 K などによるばらつきも小さい。



円柱に作用する流体力の自由表面及び速度勾配の影響を知るためには、各々の水深における流体力の特性を知る必要がある。ここではMoschによる局部抵抗係数 $C_d = \frac{\Delta F}{\frac{1}{2} \rho U_m^2 D} = \phi(Fr, h/D, K, S/D)$ を考える。図-2は Fr 数0.30, 0.65, 2.14の場合の円柱軸方向 C_d 変化を記した。 Fr 数が小さい時、水底近く速度勾配が大きい所では C_d は大きく上方での変化は小さい。円柱背後の水面低下が大きくなると Fr 数、 h/D によって C_d 分布が全体に左右に動く。これが造波抵抗の影響と考えるなら造波抵抗の影響は円柱全体に作用すると考えられる。又水面近くの C_d の急減は円柱背後の水面低下のため背後圧力が大気圧となるためである。射流になると C_d 変化は Fr 数にそれほど左右されず、同じような小さな値を一連線上に並ぶように持つ。これは円柱背後に水底に達するほどの大きな air pocketを持つため、

円柱背後が大気圧になるためである。Masch によれば、水底近くで C_d が大きくなる原因として円柱前面では下向きの流れ、背後では上向きの流れが原因としている。我々は円柱の表面に糸を付けて流れを観察してみると、円柱背後では上向きの流れが存在する。しかし円柱前面での水の動きは、はっきりしなかった。風洞の乱流境界層内に置かれた円柱の表面から煙を吹き出すと円柱前面では下向きの流れが存在し、底近くの圧力と流体の持つ動圧以上に上昇させている。又円柱背後では単に上向きの流れだけでなく、境界層外に速度一定の所から境界層内に吹きこむ流れも存在する。つまり境界層内上方に圧力最少な所がある。この渦流域内の二次流の発生が円柱抗力の算定の解析に困難をあたえている。図-4は $P(0^\circ)$ と $P(180^\circ)$ の比を横軸に C_d を縦軸にとったものである。これによれば $P(0^\circ)$ と $P(180^\circ)$ が C_d の値に重要な要素になる。つまり C_d が水底近くで大きくなるのは円柱前面の圧力変化に対して、渦流域内の圧力変化が円柱軸方向にも小さいことによる。渦流域内の平均的な圧力を決定するのは、水平低下高が考えられるが、我々の実験では水面低下高と渦流域内の平均的な圧力との関係は、はっきりすることができなかった。又水面低下高はかなりばらつきが F_r に比例する傾向があった。ただし F_r 数2以上になると水面低下は水底近くまで達し F_r 数によるなくなる。又自由表面の変形が内部の圧力を表わすものと考えれば、自由表面の変形つまり円柱表面の静圧の変化(みかけ)だけを抗力と考えた時のみかけの静圧は、円柱に働く抗力を代表する。今 F_r 数をパラメーターとしてみかけ静圧と実際にかかっている抗力 F の比をとりみると図-6になり F_r 数とともに上昇する傾向がある。以上円柱に作用する流体力について述べたが、パラメーターが多く、その一つ一つについて詳しく調べることができなかった。今後の課題である。

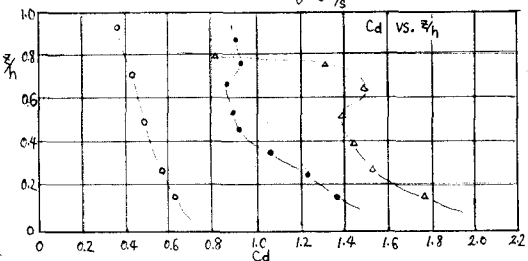
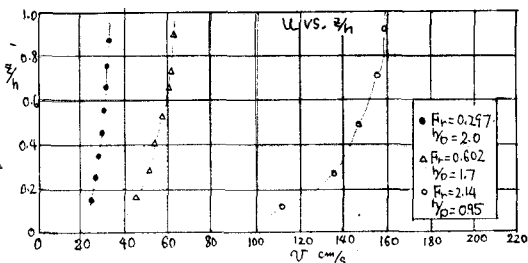


図-2

風洞、 $\eta = 高 = 25 \text{ cm}$ 、円柱直径 $D = 2 \text{ cm}$

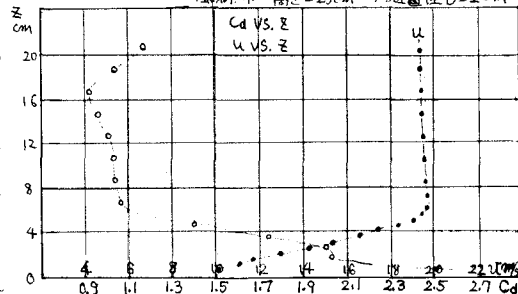


図-3

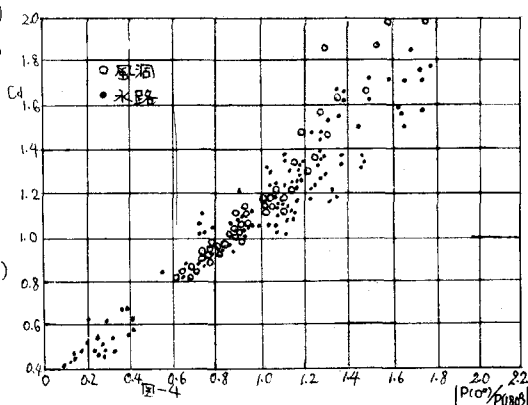


図-4

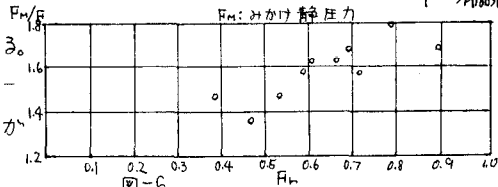


図-6

1) Tsuying Hsieh; Resistance of cylindrical Piers in open channel flow. Proc. A.S.C.E. Hy. Jan. 1964

2) Frank D. Masch and Walter L. Moore, Masce; Drag forces in velocity gradient flow Proc. A.S.C.E. Hy. Sep. 1964