

CS 132

壁面近傍にある円柱周りの流れ

福井高専 正会員 ○前島 正彦
大同工大 正会員 久保田 稔

1. はじめに

本研究の目的は、没水水平円柱が壁面近傍にある場合について、円柱が受ける流体力と壁面の受ける流体力の特性が、壁面と壁面に近い円柱表面との距離 e と、円柱直径 D との比によってどのように変化するかを離散渦法による数値計算結果によって明らかに使用とするものである。ここでは、壁面の圧力と圧力勾配について報告する。

2. 壁面近傍にある円柱周りの流れ場に対する複素ポテンシャル

計算方法についてはすでに報告しているので、簡単に述べる。

円柱表面の境界条件は、単一渦ポテンシャルと、円柱内部に渦中心を持ち大きさが同じで回転方向が逆の別の単一渦ポテンシャルとを組み合わせた次のポテンシャルによって満足される。

$$\Phi_{vm} = -iK(\ln(Z - W_m) - \ln(Z - W_{ma})) \quad (12)$$

ただし、円周上の任意の一点を r とすると W_{ma} は、 $W_m \bar{W}_{ma} = r \bar{r}$ の関係を満足する円柱内部の点である。

壁面の境界条件を満足させるために、円柱周りの境界条件が満足する次のポテンシャルを用いた。

$$\Phi_{dm} = M_m (1 / (Z - Z_m) - E_m (Z - Z_{ma})) \quad (13)$$

$$Z_m \bar{Z}_{ma} = r \bar{r}, E_m = -\bar{Z}_m / Z_m \quad (14)$$

ただし、 Z_m は壁面内部に存在する任意の点で、 Z_{ma} は、式(14)で表されるように円柱内部に存在する点である。また、係数 M_m は双極ポテンシャルの強さで、壁面上の選点 H_m で流れ関数の値が一定となるように決定する。

従って、壁面近傍に円柱が存在し、円柱より十分上流では一様流である流れ場で、円柱から剥離した離散渦がある場合のポテンシャルとして次の式が考えられる。

$$\Phi = U_0 (Z - r \bar{r} / Z) + \sum \Phi_{dm} + \sum \Phi_{vm} \quad (15)$$

単純にポテンシャル理論をつかって壁面近傍に円柱がある流れを求めると、円柱下部の流速は、 e/D が小さくなるにつれて非常に大きくなる。しかし、筆者らの実測、その他の研究者の測定報告によれば、 e/D の大きさに関わりなく円柱上部と下部の速度はほぼ等しいという結果が得られている。円柱上部下部の流速を等しくするために、円柱周りの循環 $iV_0 \ln Z$ を導入した。

を導入する必要がある。循環の大きさ V_0 は、という条件から決定される。

3. 計算例

無次元壁面距離 e/D を 2.0(case4), 1.0(case5), 0.5(case6), 0.25(case7), 0.125(case8), 0.0625(case9) と順次半分の大きさにして、計6例について計算を行なった。

4. 壁面の圧力分布と圧力勾配-平均値と時間変動

最初に、壁面に作用する平均圧力分布について述べる。図1に無次元壁面距離 e/D と壁面の圧力分布の関係を示す。無限遠での圧力を基準圧力 P_0 。として、縦軸が圧力係数、 $C_p = (p - P_0) / P_0$ の大きさ、横軸が無次元距離である。極大圧力点は、円柱直下より上流側に発生し、無次元壁面距離 e/D が小さくなるにつれて、発生位置は円柱直下 ($x/D=0$) に近づき、極大値の大きさも単調に増加している。一方、極小圧力の最小値が発生しているのは、無次元壁面距離 e/D が0.125の場合で、それより

円柱が壁面に近い無次元壁面距離 $e/D=0.0625$ の場合には極小圧力の値が大きくなっている。単純に円柱が壁面に近いほど、圧力が小さいのではないというのは、工学的に興味ある現象である。図2に無次元壁面距離 e/D と壁面上の平均圧力勾配との関係を示す。極小平均圧力勾配の発生点は、無次元壁面距離 e/D が0.25までは、円柱直下（ $x=0$ ）よりやや上流よりであるが、それより小さい場合は、円柱直下で発生している。大きさは、壁面が円柱に近づくほど、絶対値が急激に大きくなる傾向がある。平均圧力勾配が正の部分が、円柱の上・下流の部分に発生するが、極大平均圧力勾配の発生位置は、壁面と円柱が近づくにつれて、上流側では円柱直下に近づき、下流側では遠ざかる傾向を示している。

圧力・圧力勾配の時間変動を $e/D=0.5$ の場合を例にとって述べる。図3に平均圧力が極小を示した点（ $x/D=0.5$ ）の圧力と圧力勾配の時間変動を示す。この点では、圧力の最大値と最小値の差が、約2.8、圧力勾配の最大値と最小値の差は約8である。図4に、揚力が極大を示す時の壁面上の圧力分布（実線）と圧力勾配（破線）を示す。揚力が極大を示す時刻に、円柱直下に新しい圧力の極小点が発生する。この極小点は、次第に絶対値を大きくしながら、下流側に移動する。そして、次の極小点が発生するとき、絶対値が最大になる。また、この極小の谷は深く、圧力勾配の最小、最大もこの点の前後に発生する。この絶対値が最大になる位置は平均圧力が極小になる点より、下流側になる。この場合は、 $x=2.3$ で、 $C_p=-2.3$ である。この位置は、揚力が極大を示しているので円柱上部に剝離が生じて、蛇行するカルマン渦の下に凸の部分が最初に壁面に接触する位置である。

5. 結論

- 1) 壁面の平均圧力は、無次元壁面距離 $e/D=0.125$ のときに最小値を示した。
- 2) 壁面の圧力変化は、カルマン渦の周期と関連している。渦の動きに対応して、圧力極小点も大きさを変えながら移動する。
- 3) 揚力が極大を示すときに、壁面圧力が最小になる点が円柱下流部に生ずる。また、この時に円柱直下に新しい極小点が発生している。

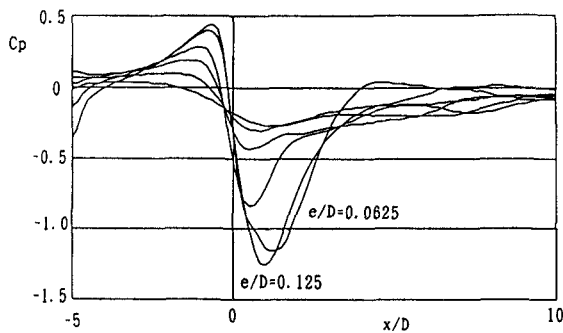


図1 壁面平均圧力

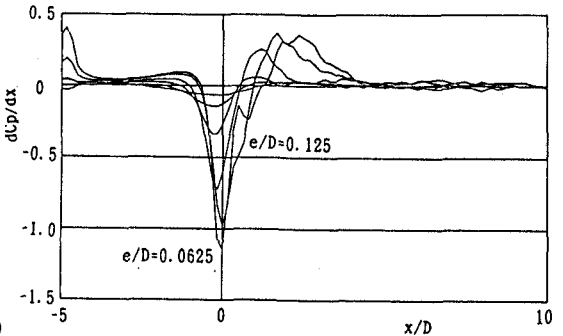


図2 壁面平均圧力勾配

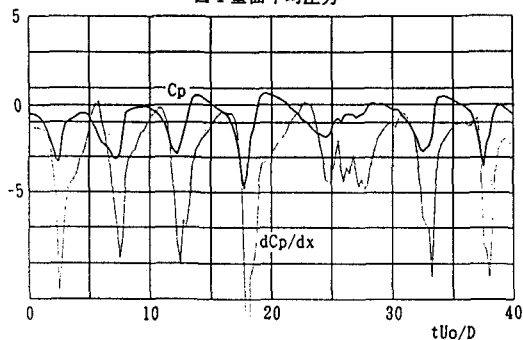


図3 圧力・圧力勾配時間変動

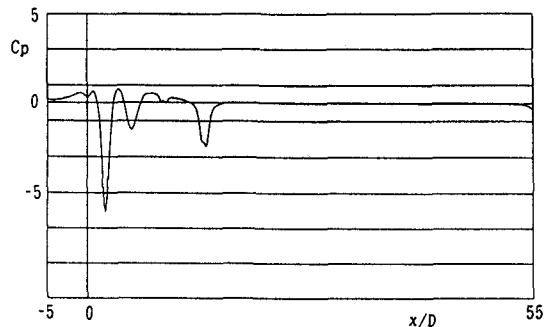


図4 壁面圧力分布（揚力最大）