

CS 3-1〔I〕 路床近傍にある円柱に作用する流体力

○福井高専 正員 前島 正彦
大同工大 正員 久保田 稔

1. はじめに

ここでは、任意の形状をした路床近傍にある円柱周りの流れの離散渦法による解析方法を示し、いくつかの例について円柱に作用する抗力と揚力を求めている

2. 路床と円柱を境界として持ち離散渦点のある流れのポテンシャル

2次元流れの単一渦による複素ポテンシャル Φv は、任意の点を Z 、渦点を W_m とすると、

$$\Phi v = -i K_m \ln(Z - W_m) \quad (1)$$

ただし、 i は虚数単位、 K_m は渦の強さである。このポテンシャルは、路床の境界条件も、円柱表面の境界条件も満足しない。円柱表面の境界条件を満足する渦ポテンシャルとしては、

$$\Phi v_m = -i K_m (\ln(Z - W_m) - \ln(Z - W_m a) + \ln(z)) \quad (2)$$

ただし、円周上の点を r とすると $W_m a$ は、 $W_m \cdot \text{conj}(W_m a) = r \cdot \text{conj}(r)$ の関係を満足する円柱内部の点である。第3項は、第2項の特異点が円柱内部にあるため、このポテンシャルの円柱周りの循環の値が、0にするために付加する項である。

路床の境界条件を満足させるために、von Mullerのdipoleポテンシャルを使用する。このdipoleポテンシャルを二つ組み合わせて、次式のようにすると円柱周りの境界条件を満足することをHansen等が示している。

$$\Phi d_m = M_m (1 / (Z - Z_m) + E_m / (Z - Z_m a)) \quad (3)$$

$$Z_m \cdot \text{conj}(Z_m a) = r \cdot \text{conj}(r), E_m = -\text{conj}(Z_m) / Z_m$$

ただし、 Z_m は路床内部の点、係数 M_m はdipoleの強さである。このポテンシャルの円柱周りの循環の大きさは0である。

路床上の一樣流の中に円柱が存在し、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。

$$\Phi = U_\infty (Z + r r / Z) + \sum \Phi v_m + \sum \Phi d_m \quad (5)$$

ただし、記号 U_∞ は、無限遠での実軸方向に流れる一樣流の速度、総和記号は、渦点についてはその数だけの、dipoleについては路床内の選点の数だけの総和を意味する。(5)式のポテンシャルはすべて円柱上の境界条件を満足するので、満足しなければならない路床上の条件は、路床上の選点 H_m で、(5)式の複素ポテンシャル Φ の虚部が一定値を取ることである。この条件は選点でのみ満足されるので、路床近傍の流れを乱さないだけ十分な選点が必要である。円柱のある程度以上の上流部が水平であれば、その部分では(5)式第1項の一樣流ポテンシャルだけで十分であると前述のHansen等は述べている。

3. 離散渦による解析

(5)式のポテンシャルから渦点の速度が求まり、渦点の数だけの連立常微分方程式となるが、これをEuler法で数値積分する。この積分の時間間隔、渦点の発生位置、大きさ、発生時間間隔については、単独円柱について成された過去の解析例にならう。

境界層の剥離・つまり渦の発生は円柱の上部、下部と路床に見られる。円柱が路床に近づく、円柱上流の路床から渦が発生し始め、円柱下部の渦発生が見られなくなるという報告がある。渦発生位置としては、円柱の上下、路床の円柱の上流1点、下流1点の4点を考慮する必要がある。

円柱上下の剥離点から発生する渦の位置については、厳密に定めなくても、剥離点近傍の適当な位置から

発生させれば流れによって剥離点に移動するという報告があるので、発生点として円柱の上部では、頂点から5度下流側の、下部では頂点から5度上流側の位置で、Sarpkaya等にならない円柱半径の1%だけ円柱から離れた点とした。渦の大きさを K 、剥離せん断層外側速度を U_s とすると、 $K = \frac{1}{2} U_s^2 / 2\pi$ 、渦導入時間間隔 Δt は、円柱の半径を R とすれば、 $\Delta t = 0.0314 \sim 0.3 R / U_s$ 、積分時間間隔は、それと同じか、その半分が使われている。ここでは、ともに $0.2 R / U_s$ を使用した。

路床の渦発生位置については、円柱と路床の距離によって異なるが、上下流とも円柱真下から円柱直径分だけ離れた点とした。

参考文献

1. von Mülle, W.: Systeme von Doppelquellen in der ebenen Stromung. zeitschrift f. angew. Math. und Mech., 9. Heft 3, pp.200-213, 1929.
2. Hansen, E. A., Fredsoe, J. and Ye M.: Two-dimensional scour below pipelines. proc. 5th Int. Symp. on Offshore Mech. and Arctic Engrg., A SME Tokyo Japan, april 1968, pp.670-678
3. 高見穎郎, 桑原邦郎: 物体と渦, 日本機械学会誌 第83巻739号, 昭和55年6月, pp.11-19
4. 日本機械学会編: 流れの数値シミュレーション, コロナ社, 昭和64年

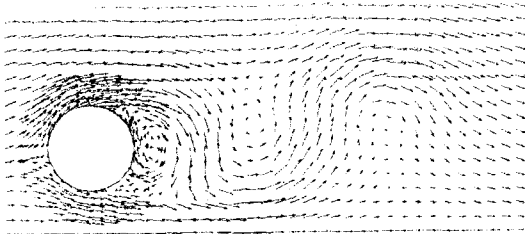


図1.1 流速ベクトル t=8.4

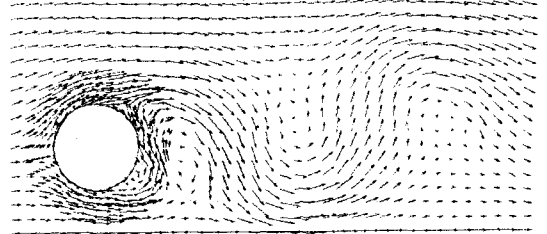


図1.2 流速ベクトル t=9.1

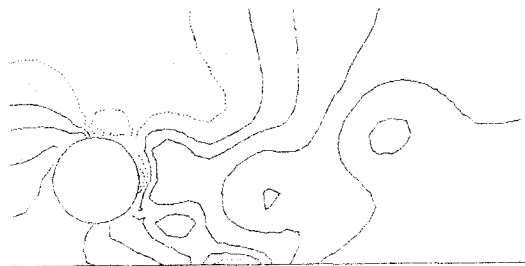


図2.1 周辺圧力分布 t=8.4



図2.2 周辺圧力分布 t=9.1

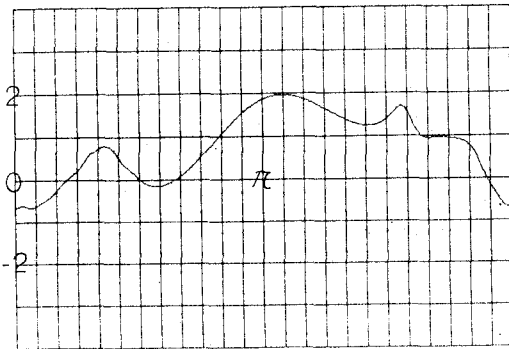


図3.1 円柱圧力分布 t=8.4

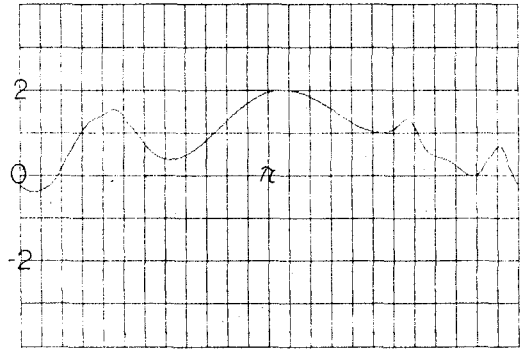


図3.2 円柱圧力分布 t=9.1