

渦点法による物体まわりの流れの数値シミュレーション

徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦

徳島大学工学部 正員 長尾文明

日本電信電話株式会社 正員 ○上野山英樹

1. まえがき 渦点法は、剥離を伴う物体まわりの流れの数値シミュレーションに非常に適した手法である。しかし、現在の渦点法は、流れのモデル化が十分に行われていないため、物体に作用する空気力や、再付着流れなどを完全にシミュレートできていない。本報では、これらの問題点を解決するために、渦点法において現在最も必要とされている渦減衰モデルと再付着モデルを新しく提案する。また、これらのモデルの妥当性を検討するために、静止物体まわりの流れと、振動物体まわりの流れに対して、数値シミュレーションを行った。

2. 渦減衰モデル 渦点法によって、物体に作用する空気力や後流について現実的な結果を得るためには、流れの場にある渦点の循環を減衰させる必要がある。¹⁾そこで渦点の運動エネルギーは、その渦点を持つ渦動粘性によって減衰すると仮定すると、次のような減衰法則が得られる。

$$\begin{aligned} d\Gamma/dt &= -2/\ln(L/a) |\Gamma| \Gamma \\ &= -c |\Gamma| \Gamma \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 Γ 、 a は、渦点の循環および混合距離を表わす。また、 c は混合距離の影響を表しているが、その値は不明確である。そこで、 c は後流幅に比例すると考え、流れに平行な断面幅 H で代表させて、次式のように置くことにする。(図1)

$$c = 0.05 \ln(H/D) \quad (2)$$

3. 再付着モデル 従来の渦点法では、物体表面に異常接近した渦点は、流れの場から消去する方法を用いていた。しかし、壁面近傍の渦点の動きを流体力学的に考察すると、渦点には、物体に接近できる限界の距離が存在する。従って、解析において、渦点が、物体に異常接近するのは、離散化による移動計算の数値誤差によるものと思われる。(図2)そこで、物体表面近傍の渦点の速度ベクトルを修正することにより、再付着流れを近似する。(図3)修正対象となる渦点は、 $\delta 1$ の内側にあり、かつ速度の y 方向成分が負となるものである。この条件を満たした渦点に図3の左に示す修正関数 $R(y)$ を乗ずることにより、速度ベクトルを修正する。

$$\begin{aligned} \mathbf{v}' &= R(y) \mathbf{v} \\ y < \delta 1, \quad v_y < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

図3の $\delta 3$ は、渦点が接近できる限界の距離を示しており、この内側に入った渦点は流れの場から消去する。また、消去する渦点の数をできるだけ少なくするために、 $\delta 2$ の内側にある渦点は修正関数によ

って速度の y 方向成分が正となるようにしている。

4. 解析結果 図4に辺長比 $B/D=1.0, 2.0, 5.0$ の矩形断面における、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L と迎角 α の関係を示す。図において実線は風洞実験結果²⁾、 $\triangle$ は従来の渦点法による解析結果、 $\circ$ は今回提案する渦減衰モデルを導入した渦点法による解析結果を表す図4より、渦減衰モデルを導入すると、抗力係数において、解析結果と風洞実験結果の対応が良くなることが判る。しかし、揚力係数において一部、実験結果と異なる部分が依然として残っている。

図5、写真1は $B/D=2.0$ 、 $\alpha=20^\circ$ における流れの解析結果と可視化実験結果³⁾である。両者の比較より、流れの様子は、ほぼ再現できていると考える。

図6に換算風速 $U_r=5.0$ 、物体の振動振幅 $A/D=0.14$ における時間経過に伴う流れの様子を示す。図において(a)は従来の渦点法(b)は今回提案する再付着モデルを導入した渦点法による解析結果であり、物体の振動の位相 ωt は上死点を 0° 、下死点を 180° と定義する。また、本解析で用いた再付着モデルのパラメータは表1に示すとおりである。

写真2はこれと同じ条件で行われた可視化実験結果⁴⁾であり、位相 $\omega t=180^\circ$ における流れを示している従来の渦点法(a)では物体表面上で多くの渦点が消去されるため、物体まわりの流れの様子が十分に再現されていない。しかし、再付着モデルを導入することにより、物体表面での渦点の巻込みや後流の様子が写真2との比較より、ほぼ再現できていることが判る。

5. あとがき 以上のような結果から、今回提案した渦減衰モデルと再付着モデルは、数値シミュレーションの精度を大幅に改善すると考える。

また、今後の課題としては、渦減衰モデルの他の断面への適用可能性の検討や再付着モデルのパラメータの決定方法などが挙げられる。

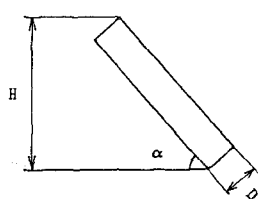


図1 渦減衰の定式化

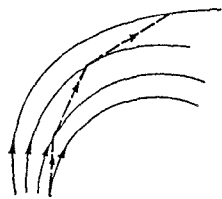


図2 移動計算の数値誤差

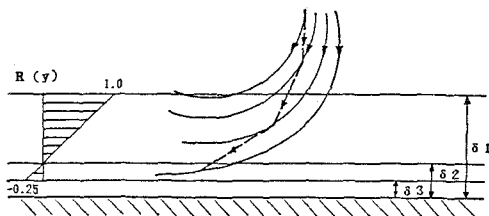
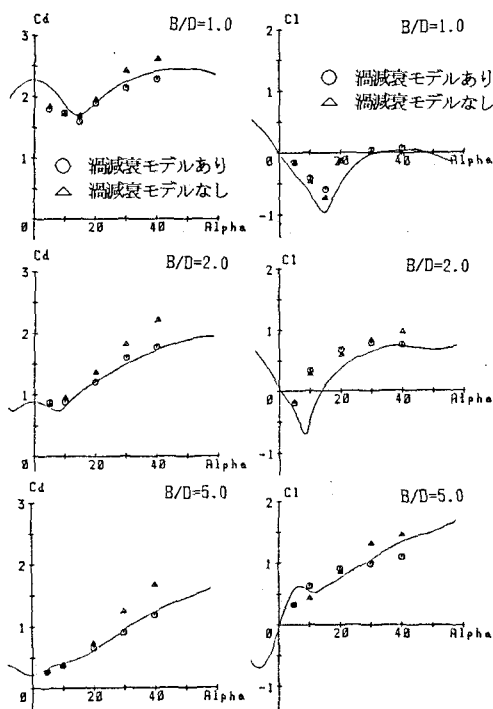
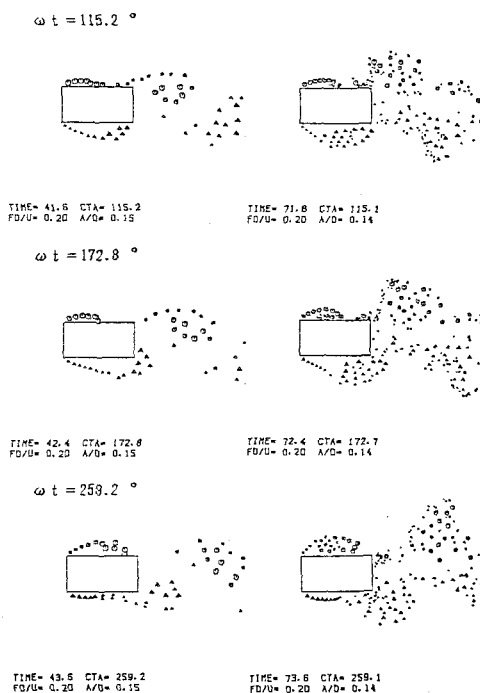


図3 速度ベクトルの修正

図4 C_D , C_L と α の関係図6 振動物体まわりの流れ
($B/D=2.0, U_r=5.0, A/D=0.14$)表1 再付着モデル
のパラメータ
(断面高さDで無次元化)

$\delta 1$	0.150
$\delta 2$	0.050
$\delta 3$	0.025

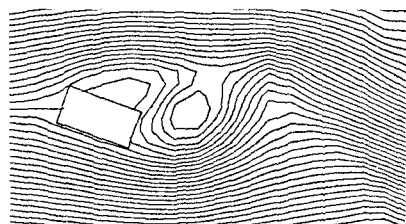
図5 静止物体まわりの流れ
($B/D=2.0, \alpha=20.0^\circ$)

写真1 可視化実験結果

写真2 可視化実験結果 ($\omega t = 180^\circ$)

<参考文献> 1) 稲室ら; 風工学における流れの数値シミュレーション, 日本風工学会誌, 1986 2) 中村ら; 矩形およびH型断面柱の空力3分力特性について, 九州大学応用力学研究所所報 第40号 1973 3), 4) 高島; 渦励振における部分模型を用いた風洞実験法の評価, 徳島大学修士論文, 1988