

I - 37 渦パネル法による円形断面の空力不安定振動の解析

徳島大学工学部 学生員 ○中村 涼 徳島大学工学部 フェロー 宇都宮 英彦
徳島大学工学部 正員 長尾 文明 徳島大学工学部 正員 野田 稔

1.はじめに 近年、コンピュータの著しい発展に伴い、数値シミュレーション技術も目覚ましい進歩を遂げた。風工学の分野でも、差分法や有限要素法、境界要素法を用いて、基礎方程式である NS 方程式の近似解を求めることで、流れを再現し流体力を求めることができるようになった。本研究ではその中でも、境界条件の取り扱いが容易で、工学的に使いやすいと考えられる、物体表面を渦パネルで近似する渦パネル法を用いて単独円柱を対象にして解析を行った。

2.解析方法 ここでは、物体表面を連結した渦度が線形的に分布するパネルによって近似し、そのパネルの両端の渦度を求めることによって流れ場の解析を行う渦パネル法を用いた。静止状態については、物体の近似精度を変化させて、振動状態については、以下に示す等加速度法の陰的解法を用いた振動モデルを使って風向き直角方向の1自由度のみを対象とし、渦励振領域において換算風速 $U_r (= U_0 \cdot D)$ を変化させたときの振動円柱周りの流れについて解析を行った。

$$\text{風向き直角方向の運動方程式} \quad M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F_y(t) \quad (1)$$

$$\text{物体変位} \quad y_{n+1} = \frac{\left(\frac{2M}{dt} - K\right)y_n + \left(\frac{C}{2dt} - \frac{M}{dt}\right)y_{n-1} + F_y(t_n)}{\left(\frac{M^2}{dt^2} + \frac{C}{2dt}\right)} \quad (2)$$

M :物体の質量, C :粘性減衰係数, K :ばね定数, $F_y(t)$:揚力

なお、流体力の計算については圧力 Poisson 方程式¹⁾を用いている。流速 U は一様とし、円柱直径 D を代表長とするレイノルズ数は $Re=1000$ で一定とした。なお、渦要素の移動精度に関わる無次元時間は0.1として解析を行った。

3.静止状態での解析結果 ここでは、物体の近似精度を表す分割数を40, 50, 60, 70と変化させて解析を行った。分割数40と70の抗力係数および揚力係数の時系列変化の比較を Fig.1, 2 に、分割数による抗力係数の平均の変化を Fig.3 に、分割数による揚力係数の標準偏差の変化を Fig.4 に示す。Fig.1, 2 より、2次元計算のため抗力係数 C_D は実験値より大きく計算されているが、どちらの分割数でも波形に違いはあるものの定常に向かっている。また Fig.3, 4 より、分割数による結果に差があまりないことが分かる。これらのことより、本解析では分割数が少ない、すなわち物体の近似精度が低くてもある程度の精度で物体周りの流れの解析が可能であることが分かった。また、FFT (高速フーリエ変換) を用いて揚力係数のパワースペクトルが最大になるときの周波数を求め無次元化し、それをストローハル数 (=換算振動数 fD/U) として求めると、どの分割数でも0.200で一致した。これは、物体の固有振動数が0.200Hzのときに後流渦の振動数と共振し、渦励振が発生することを示していると考えられる。

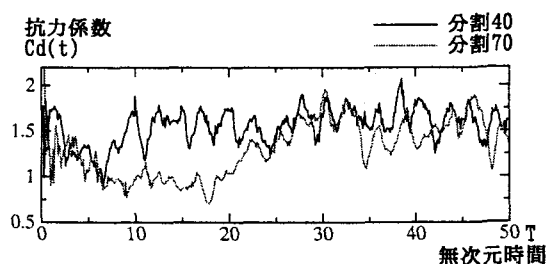


Fig1 抗力係数の時系列変化

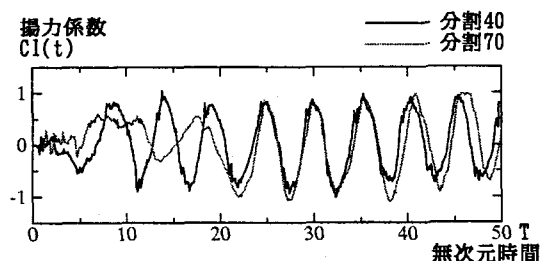


Fig2 揚力係数の時系列変化

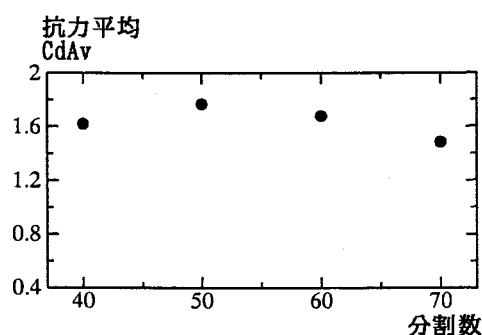


Fig3 分割数による抗力係数平均の変化

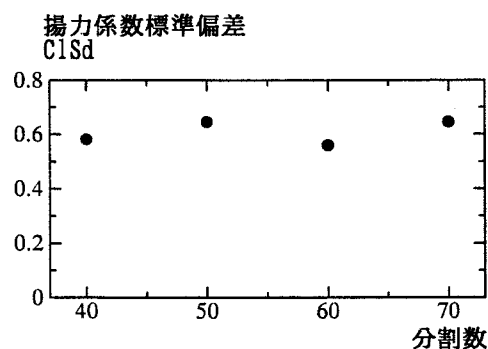
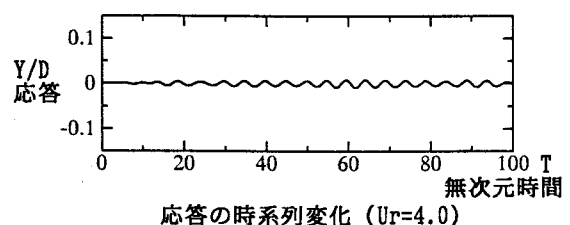
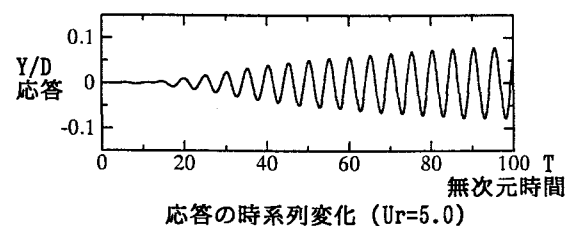


Fig4 分割数による揚力係数の標準偏差の変化

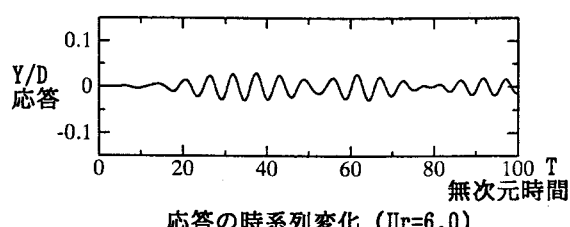
4. 振動状態の解析結果 ここで用いた換算風速 U_r は、静止状態でのストローハル数を考慮して、 $U_r=5.0$ を中心にいくつか選ぶことにした。 U_r の変化は円柱の固有振動数を変えることで対応している。解析結果として $U_r=4.0, 5.0, 6.0$ における応答の時系列変化を Fig5 に、 $U_r=5.0, 5.4$ における応答と揚力係数の時系列変化の比較を Fig6 に示す。これらより、換算風速 $U_r=5.0 \sim 5.4$ のときに揚力、すなわち後流渦との共振が発生するという結果になった。これは既往の実験の結果²⁾とも一致しており、精度の良い結果が得られていると考えられる。



応答の時系列変化 ($U_r=4.0$)

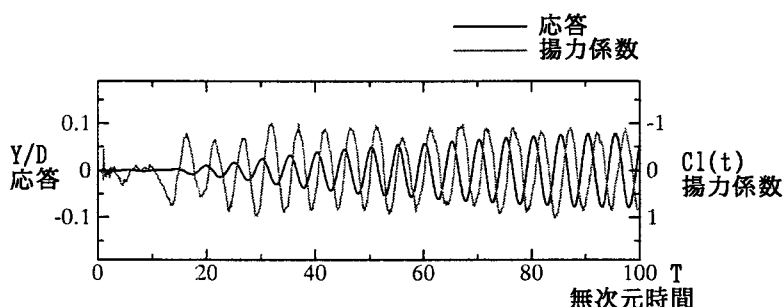


応答の時系列変化 ($U_r=5.0$)

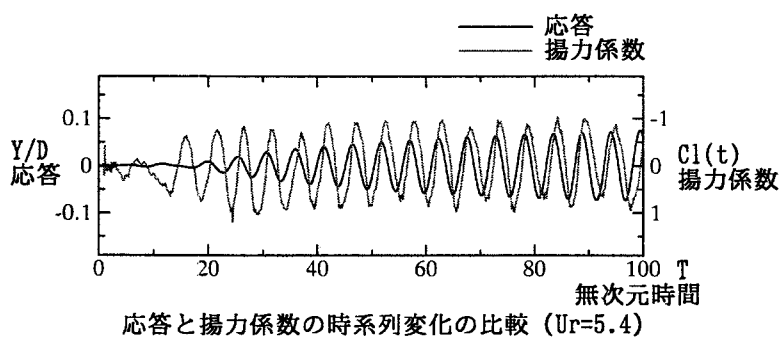


応答の時系列変化 ($U_r=6.0$)

Fig5 応答の時系列変化



応答と揚力係数の時系列変化の比較 ($U_r=5.0$)



応答と揚力係数の時系列変化の比較 ($U_r=5.4$)

Fig6 応答と揚力係数の時系列変化の比較

5. 結論 本解析は、静止状態では分割数によらず精度の良い結果が得られた。振動状態においても解析結果が既往の実験の結果と一致し精度の良いものが得られていると考えられる。これらの結果は、分割数および計算時間を増やせばさらに精度は上がると考えられる。しかし、それに伴って処理時間、特に渦点の誘起速度を求める計算に要する時間が莫大なものになると予想されるので、複数のコンピュータを用いた計算の並列化を導入する必要があると考えられる。

参考文献 1) 亀本喬司, 中西祐二 “渦法のための非定常圧力計算法”

日本機学会論文集 (B編), 59巻, 568号, 1993-12

2) 梅村直, 山口富夫, 白木万博 “カルマン渦による円柱の振動について”

日本機学会論文集 (B編), 59巻, 568号, 1993-12