

I-21 渦法による単独円柱の流体振動解析

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 徳島大学工学部 学生員 ○竹内 雅哉

1.はじめに 渦法を用いた静止状態の単独円柱周りの流れや流体力の解析において、カルマン渦の周期的発生や実験値に近い空気力等の値が得られているため精度よく解析を行えるようになっている¹⁾が、静止状態での解析であり、弾性支持されていて振動している場合の円柱についての解析例は少ない。また、複数の円柱を用いた構造物については上流側円柱の影響により、下流側円柱が振動を引き起こす現象が今なお問題として残されている。そのため、円柱の流体振動を精度良く解析することのできるモデルの実現化が必要であると考えられる。そこで、本研究では渦法を用いて複数円柱の空力挙動を体現する可能性の高いモデルの導入を意図して、単独円柱の流体力学的振動を数値シミュレーションした結果について報告する。

2.解析方法 解析には、2次元非圧縮 N-S 方程式と連続の式に基づいた渦法に、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導入し風向き直角方向の1自由度振動のみを対象とし、渦励振領域において換算風速 $Ur (=U/f_0 \cdot D)$ 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。また、境界層近似には亀本¹⁾により分類されるところの適用レベル2および適用レベル3を、流体力計算については圧力 Poisson 方程式³⁾を用いて解析を行った。

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

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

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

また、円柱を120個の渦点で近似し、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影響を及ぼす無次元時間間隔は、 $\Delta t^* = U \Delta t / D = 0.08$ として解析を行った。

3.適用レベル2による流体振動解析

ここで用いた換算風速 Ur の選出に関しては既往の実験などにより明らかとなっている振動のピーク値に対応する $Ur=5.4$ を中心としていくつか選ぶこととした。なお、 Ur の変化は固有振動数 f_0 を変えることで対応している。単独円柱の流体振動解析の結果として、換算風速 Ur と最大振幅 Y/D の関係を Fig.1、揚力の振動数つまり後流渦の振動数 f_L と物体の固有振動数 f_0 との比を Fig.2 に示す。Fig.1 については、

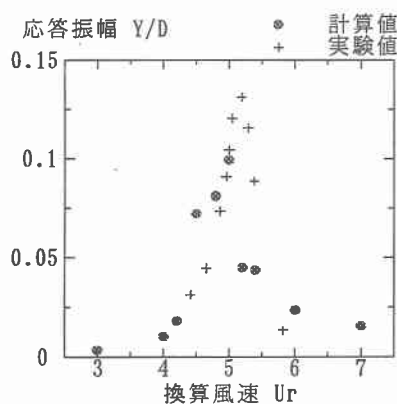


Fig.1: 換算風速 Ur と
 応答振幅 Y/D の関係

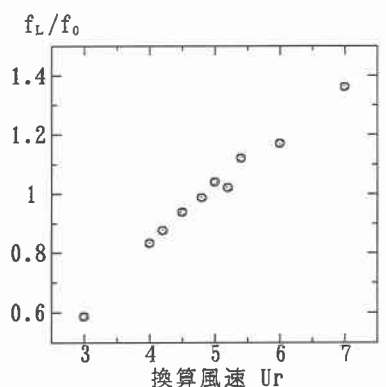


Fig.2: 揚力振動数と
 固有振動数の比

各 Ur での応答の時系列変化より最大振幅を読み取ったものであるが、渦励振の特徴である限定振動を確認することができる。なお、ここで用いた実験値とは梅村らの実験結果⁴⁾であるが、この図と比較すると振動のピー

ク値をとる Ur が実験値よりも小さくなっている。これは、解析で得られたストローハル数 $St=0.208$ と実験のもの $St=0.185$ とが異なっているために Ur が小さくなったと考えられる。Fig.2 においては、 Ur の増加に伴って、物体の固有振動数が静止時の渦発生数に一致する換算共振風速付近で渦励振が発生し、渦の発生振動数が物体の固有振動数とほぼ一致する値となっている。このことより、ロックイン現象を生じていることが確認できる。Fig.3 は最大応答振幅となった $Ur=5.0$ での位相差、仕事量、粘性エネルギー、揚力、応答の時系列データである。これより、振幅の増減とともに仕事量および粘性エネルギーも増減していることがわかる。振幅が増加している個所では仕事量が粘性エネルギーを上回った値を取り、減衰している個所では下回った値となっていることがともに確認される。また、 $T=480\sim 560$ の部分について応答波形には大きな変動が見られないことからほぼ定常状態にあると考えられる。

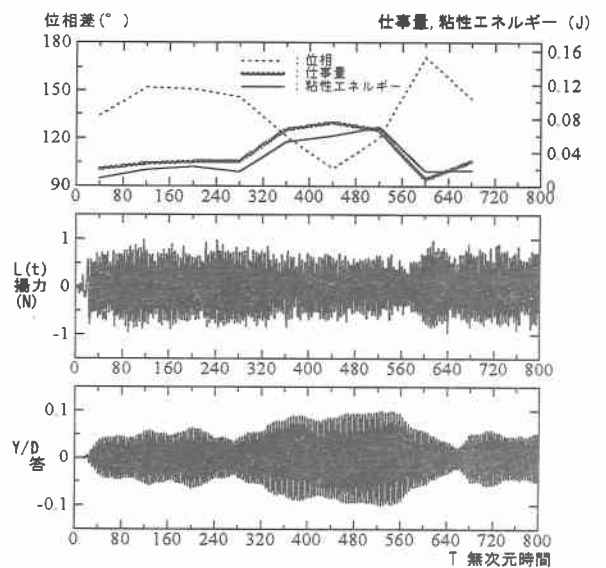


Fig.3 : $Ur=5.0$ における各時系列データ

4.適用レベル3による流体振動解析

ここでは、適用レベル2の解析結果において最大振幅となった $Ur=5.0$ について、渦点を全て放出させる適用レベル3により解析を行った。Fig.4 に揚力と応答の時系列変化およびFFTによる揚力のパワースペクトル図を示す。このときのパワース

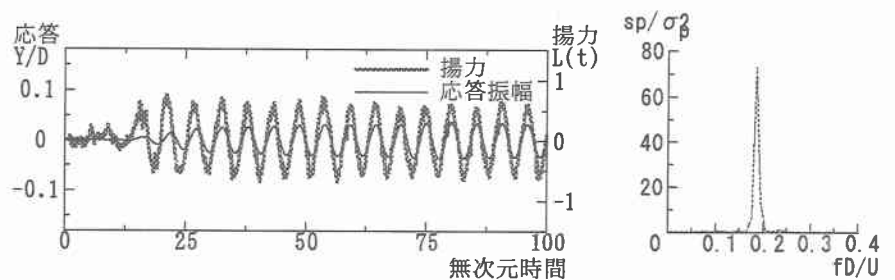


Fig.4: 適用レベル3による解析結果

ベクトルが最大となる揚力の振動数は $f=0.186$ であり、ストローハル数 $St=0.186$ となる。これは、物体の固有振動数とは一致していないことから、適用レベル3における渦励振最大応答発現風速は $Ur=1/St=5.4$ となると考えられる。よって、既往の実験において振動のピーク値とされている換算風速により計算値を近づけることができたと考えられる。しかし、全渦点を放出するために流れ場に存在する渦点が多くなるので処理時間を要することになる。今後、計算の高速化が行われれば、本モデルはかなり有効なものになっていくと考えられる。

5.結論 適用レベル2に関しては、渦励振の特徴である限定振動の発生を把握し、ある換算風速において物体後方の渦発生振動数と物体の固有振動数が一致するというロックイン現象を確認することができた。また、解析と実験の結果は定性的に一致していることより、良い結果が得られた。適用レベル3に関しては、予想される渦励振最大応答発現風速がより実験値に近い値となったが、非常に計算時間を多く費やすために、まだ実用的なものであるとはいえずモデルの改良が必要である。

6.参考文献 1) 渡邊 浩司 “渦法による直列二円柱に働く流体力の推定”

土木学会第55回年次学術講演論文集

2) 数値流体力学編集委員会 “乱流解析” 東京大学出版社, 1995

3) 亀本 喬司, 中西 祐二 “渦法のための非定常圧力計算法”

日本機械学会論文集 (B編), 59巻, 568号, 1993-12

4) 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”

日本機械学会論文集 (B編), 59巻, 568号, 1993-12