

CS3-4〔I〕 離散渦点法による偏平矩形断面の非定常空力特性解析

京都大学工学部 正員 白土 博通 京都大学工学部 正員 松本 勝
 同 正員 白石 成人 建設省 重高 浩一
 京都大学大学院 学生員 新原 雄二 前田 建設 山口 滋弘

1. まえがき 剥離を伴う構造物周囲の流れの数値シミュレーションのうち、N-S 方程式に対する直接計算法(Direct Simulation)は高Re数域まで適用可能であるものの、たとえば振動中の bluff body まわりの非定常流れを解析するためには、なお膨大な容量と計算時間を要するのが現状である。これに対し、離散渦点法(Discrete Vortex Method)はポテンシャル流れを仮定しているため、乱流への適用性や物体表面近傍の流れに問題が指摘されているが、計算が容易であることから上述のような非定常な流れの解析に有効であるものと考えられる。本研究では、数値流体シミュレーションの第1段階として、離散渦点法¹⁾により偏平矩形断面まわりの非定常流れを解析し、風洞実験結果と比較・検討するものである。なお、物体表面に近づいた放出渦点の処理として、振動物体を扱うものについては渦を物体表面に沿って流下させる方法²⁾を、静止物体に対しては物体表面を貫通した渦を除去する方法³⁾をそれぞれ用いた。

2. 解析結果・考察 曲げ(η)

ねじれ(φ)2自由度振動中の偏平矩形断面(断面比 B/D=20)を対象に、断面周囲の流れおよび非定常空力力の解析を試みた。渦放出位置を断面前縁とした事前解析では、主として断面側面の再付着流れの再現性に起因して非定常空力力が実験値と大きく異なる結果となった。ここでは対象断面がかなり偏平であることから、断面後縁を剥離点と定め以後の解析を行った。図-1には、非定常揚力(L下方を正)、およびモーメント(M, 時計まわりを正)を非定常空力力係数⁴⁾としてまとめたものを、実験値およびTheodorsen関数による理論値とともに示す。図より渦点法による解析値は、曲げ変位ηおよびねじれ変位速度φ̇に比例する成分(H₂^{*}, H₄^{*}, A₂^{*}, A₄^{*})は実験値や理論値に比べ異なる値を示すものの、他の成分(H₁^{*}, H₃^{*}, A₁^{*}, A₃^{*})はかなり近い値が得られている。なお上述の8個の非定常空力力係数は、L, Mをそれぞれ最も良好に近似する等価Theodorsen関数を求め、これをもとに算出されたものである。η, φ̇比例成分(H₁^{*}, H₄^{*}, A₁^{*}, A₄^{*})についてはさらに検討する必要があるものの、φ, φ̇成分(H₂^{*}, H₃^{*}, A₂^{*}, A₃^{*})に関する解析値の

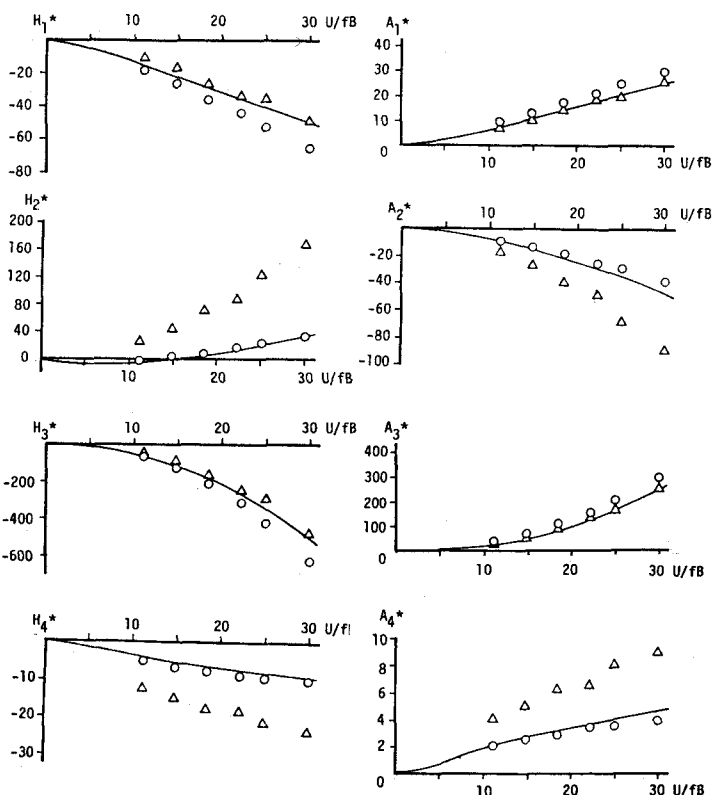


図-1 偏平矩形断面(B/D=20)の非定常空力力特性
 △:離散渦点法による解析値, ○:風洞実験値
 —:Theodorsen関数による理論値

なお上述の8個の非定常空力力係数は、L, Mをそれぞれ最も良好に近似する等価Theodorsen関数を求め、これをもとに算出されたものである。η, φ̇比例成分(H₁^{*}, H₄^{*}, A₁^{*}, A₄^{*})についてはさらに検討する必要があるものの、φ, φ̇成分(H₂^{*}, H₃^{*}, A₂^{*}, A₃^{*})に関する解析値の

推定精度の差については、つぎのように考えられる。図-2には、2自由度振動中および ϕ 1自由度振動中の断面表面の非定常圧力分布(風洞実験値)を示す。これより2自由度振動中の非定常圧力分布は ϕ 1自由度振動中の分布に近く、この場合の非定常空気力は主としてねじれ振動によって決定されているものと考えられる。また、LおよびMとねじれ振動との位相差より、L、Mはねじれ変位 ϕ に同相な成分が $\dot{\phi}$ 比例成分よりも絶対値が大きいものと判断された。これらのことから $\dot{\phi}$ 比例成分(H_2^* , A_2^*)に比べて ϕ 比例成分(H_3^* , A_3^*)の推定精度がよい結果となったものと考えられる。しかしながら、系の振動に対する安定性には変位速度比例成分がより重要な意味を持つことから、解析結果から直接フラッター特性を判断するには、なお注意を要するものと考えられる。

さらに bluff な断面として、断面比 $B/D=4$ の静止矩形断面まわりの流れの解析例を図-3に示す。図には、断面前縁部より放出された渦点の強さに1%の周期変動を与え、その周波数を変化させた解析結果を、変動を与えない場合と共に示す。なお、渦点強さの変動は、断面前縁部の上下2つの剥離点に対して上下逆相となるように与えている。変動を与えない場合のストローハル数は0.116であり、実験値⁵⁾0.125~0.13よりも低い値となった。なおこの値はすでに指摘されているように時間ステップ幅 Δt によって敏感に影響を受け、 Δt を20%長く設定した別の解析例ではストローハル数は0.128が得られている。これらの結果より、断面周囲ならびに後流の流れのパターンは外的な変動およびその周波数により影響を受けることが知られる。なおこのような変化が、たとえば剥離せん断層の不安定性増幅問題に対応するか否かについてはさらに検討が必要であろう。

3. まとめ 本研究で得られた結果をまとめれば次のようである。①剥離渦点法により求められた曲げねじれ2自由度振動中の偏平矩形断面(断面比 $B/D=2.0$)の非定常空気力は、一部異なる値を示すものの、定性的には実験値および理論値に比較的近い値を示す。本解析結果よりフラッターに対する安定性を議論するには、非定常空気力の定量的評価についてさらに検討をつめる必要がある。②断面比 $B/D=4$ の静止矩形断面を対象に、外的刺激として渦点強さにわずかな変動を与えた結果、変動の周波数により流れのパターンに変化がみられた。

参考文献 1)坂田,足立,稲室,機論(B編),49-440,1983 2)新井,田口,谷,機論(B編),53-486,1987 3)有江,木谷,佐々木,機論(B編),49-441,1983 4)Scanlan, Tomko, ASCE, EM, 1971 5)岡島, 日本風工学会誌, 17, 1983

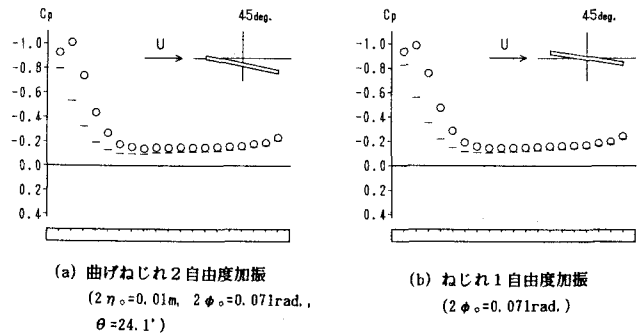


図-2 強制振動中の偏平矩形断面($B/D=20$)の非定常圧力分布瞬間値(風洞実験値、 $U/fB=22.2$)

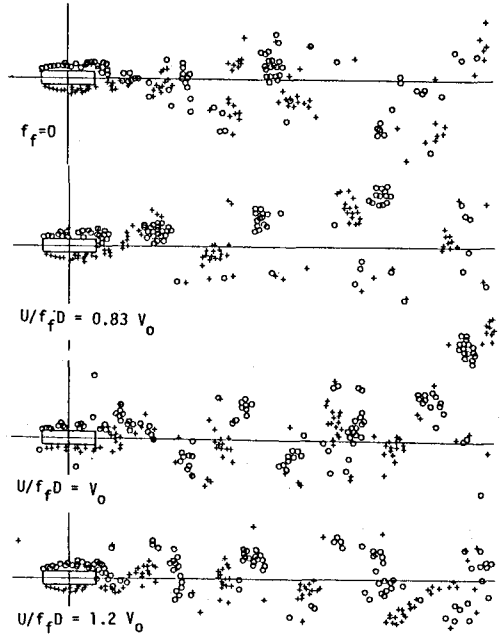


図-3 静止矩形断面($B/D=4$)まわりの流れのパターン (f_f :渦点強さに与えた変動の周波数, V_0 :自己励起型渦動振現開始無次元風速, $V_0=1.67B/D$, $Ut/B=89.28$)