

京都大学工学部 正会員 ○白土博通

京都大学工学部 正会員 松本 勝

京都大学工学部 正会員 白石成人

1. はじめに 離散渦法による物体まわりの流れの解析は、その簡便性および高レイノルズ数流れへの適用性に優れていることから、従来より多くの研究が行われており、一部実務設計へ応用されるに至っている。また、渦の放出を剥離点のみからとせず、物体表面などの渦生成要素全体より同時に放出させ、解析領域全体の渦度の挙動から、流れを推定する渦法（Vortex Method）は、上述の離散渦法を包含するより一般的な流れの解析手法のひとつと見なすことができる。渦法については、現在、より低いレイノルズ数域を解析可能とするための流れの粘性、および渦度場の粘性拡散過程の解析方法に関する研究や、3次元物体まわりの流れへの適用などが種々試みられている。^{1) 2)} しかし振動物体周囲の非定常流れについては、物体表面近傍の渦の挙動や、渦度に対する移動境界の扱い方などに未だ検討を要し、通常の差分法や有限要素法に比べて解析例が少ないのが現状である。

本研究では、一様流中でHeaving 1自由度の定常振幅調和振動中の2次元矩形断面（断面辺長比 $B/D = 2$ 、 B ：断面幅員、 D ：断面見つけ幅）を対象に、渦法による振動物体周囲の流れの解析を試み、得られた結果に対し検討を加えるものである。

2. 解析方法 本研究では流体を非粘性と仮定し、通常の渦法による解析を行った。すなわち物体表面において non-slip 条件（法線速度成分 = 0）より決定される渦要素（vortex particle）を周囲の流れ場へ放出させ、時間ステップ毎に渦要素位置における誘起速度成分に従って渦要素を移動させる。ただし、渦要素の集合と解析全領域の渦度場との変換は VIC 法³⁾を用い、数値粘性を抑えるために最寄りの格子点へ全渦度を割り当てることとした。⁴⁾

解析領域は流れ方向に $21B$ 、流れ直角方向に $19D$ とし、矩形断面 ($B/D = 2$) を流入部より $5.5B$ 下流に配置し、振幅 $Y_0 = 0.2D$ の Heaving 調和振動 ($y(t) = Y_0 \sin \omega t$) を与えた。格子は1辺の長さが $0.125D$ の正方形格子である。境界条件は格子全体を物体の動きに併せて移動させる移動格子系とし、流入・流出境界で $(u, v) = (U_0, -y)$ 、上下境界で $(u, v) = (0, -y)$ 、物体表面上で法線速度成分 $u_n = 0$ とした。

断面に作用する非定常揚力は次式⁵⁾により、表面の非定常圧力を求め、さらに断面上下面にわたり積分することにより求めた。

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = - \frac{\partial \gamma(s)}{\partial t} \quad (1)$$

ただし、 p ：断面表面の圧力、 $\gamma(s)$ ：断面表面の渦要素の強度、 ρ ：空気密度、 s ：断面表面に沿う座標
以上の解析は無次元風速 $V_r (= U/fD) = 3.33, 4.0, 5.0, 8.0, 12.5, 30.0$ について行った。

3. 解析結果 得られた非定常揚力には加振周波数以外の成分も混じっていることから、風洞実験と同様に加振周波数成分の Band Pass Filter に通し（線形1自由度系応答計算）揚力振幅を決定し、さらに変位と揚力間の位相を両者の相互相関関数より決定した。これらの処理の後、非定常揚力を変位および変位速度比例成分に分け、Aerodynamic Derivatives H_1^* 、 H_4^* で表した。（図-1、2） 図より、 H_1^* は V_r がおよそ 25 以上では正の値に転じており、図-3⁶⁾ 中◇で示された既往の風洞実験結果とも定性的な一致を見ている。一方、 H_4^* は $V_r = 3.3$ を除き負値を示しているのに対し、図-4⁶⁾ 中◇で示された実験結果は $V_r > 12$ で正の値を示している。図-5 には断面側面の圧力時間変動を変位と共に示す。無次元風速 $V_r = 4.0$ は自己励起型渦励振の onset する風速値 $V_r = 3.33$ ⁷⁾ に近く、風速の増加にともなう振動振幅の発達を考えれば、
Hiromichi SHIRATO, Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAIISHI

振動 1 周期で圧力変動が前縁より後縁へ伝播すると考えて良いが、解析結果からは断面側面上の圧力変動はほぼ位相差が 0 であり、上述のような圧力変動の伝播は見られない結果となった。

以上の結果を総合すれば、本解析による揚力、圧力特性は準定常的であると言える。これらの諸量は、共に側面の非定常圧力に基づいており、さらに式 (1) で与えられる圧力がポテンシャル流れを前提とすることを考えれば、とりわけ表面近傍の流れに及ぼす粘性効果を的確に解析に反映させることがさらに必要であると言える。

4. まとめ 渦法による振動物体まわりの非定常流れの解析を試みた。その結果、低風速で減衰力を示した非定常揚力が高風速 ($V_r > 25$) で励振力に変化する特性が得られ、定性的にはギャロッピング特性を再現していることが明かとなった。ただし H_4^* の特性や、断面側面の表面圧力は、自己励起型渦励振が発生する風速域 ($3.3 < V_r < 5.0$) でも、前縁部から後縁部にかけて実験で観察される圧力変動の伝播が見られず、今後粘性の影響をはじめとしてさらに検討を重ねることが必要と考えられる。

参考文献 1) 例えば P.Koumoutsakos, A.Leonard, *Vortex Flows and Related Numerical Methods*, 1993 2) 例えば Y.Nakanishi, K.Kamemoto, *JWEIA*, vol.46&47, 1993 3) J.P.Christiansen, *J.of Comp. Phys.*, vol.13, 1973 4) H.Shirato, M.Matsumoto, N.Shiraishi, *Proc. of 9ICWE*, 1995 5) R.I.Lewis, *Vortex Element Methods for Fluid Dynamic Analysis of Engineering Systems*, 1991 6) 松本, 藤井, 山岸, 他, 13 回風工学シンポジウム, 1994 年 7) N.Shiraishi, M.Matsumoto, *JWEIA*, vol.14, 1983

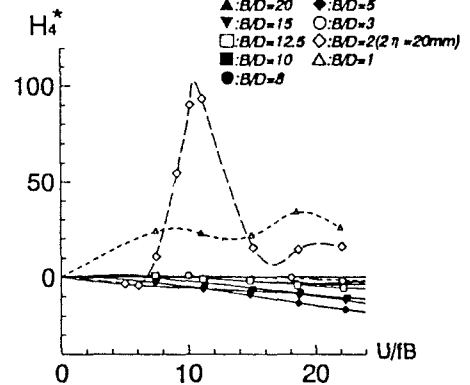
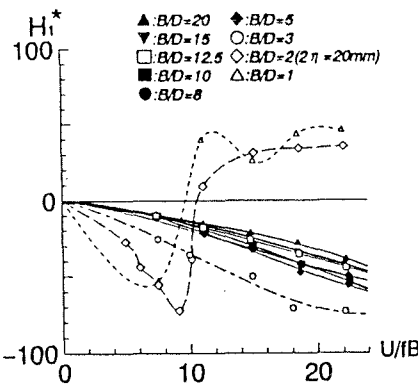


図-3 H_1^*
(実験結果)⁶⁾

図-4 H_4^*
(実験結果)⁶⁾

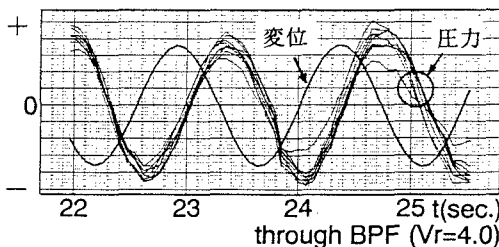


図-5 側面の圧力変動
(解析結果)