

CS3-10〔I〕 ALE法による自由振動角柱まわりの流れの有限要素解析

川田工業 正員 ○枝元勝哉
中央大学 正員 川原睦人

1. まえがき

流れの作用を受ける構造物の振動現象を数値シミュレーション的に把握する技法の開発は、従来より行われてきた模型実験を数値的に支援する上で有意義なことである。著者らは文献[1]の報告において、流れにより誘起される角柱の鉛直自由振動を解析するため、流れ場に対する有限要素方程式と物体の振動方程式とを連成させて解く手法を提案したが、この際に物体の振動変位は微小であるとの仮定を設け、物体と流体の間の移動境界を空間に固定したままで解析を行った。本研究では、このように移動する境界を含む流れ場をより厳密に解く手法として、ALE法に基づく有限要素解析手法を採用し、さらに本手法を正方形角柱断面の鉛直たわみ1自由度振動系に適用した数値計算例を紹介する。

2. 基礎方程式および計算方法

本研究では非圧縮粘性流れに対する離散化解析手法として、SMAC法に準拠した分離解法を用いる。このとき流れ場の圧力・流速は以下のALE記述された基礎方程式(1)、(2)を解くことにより求められる。

$$P_{,ii}^{n+1} = \frac{\rho}{\Delta t} u_{i,i}^n - \rho \{ (u_j^n - v_j^n) u_{i,j}^n \}_{,i} + \mu (u_{i,j}^n + u_{j,i}^n)_{,j} \quad (1)$$

$$u_i^{n+1} = u_i^n - \Delta t [(u_j^n - v_j^n) u_{i,j}^n + \frac{1}{\rho} P_{,i}^{n+1} - \nu (u_{i,j}^n + u_{j,i}^n)_{,j}] \quad (2)$$

ここに P , u_i , ρ , $\nu (= \mu/\rho)$ はそれぞれ流体の圧力、流速、密度、動粘性係数である。また v_j は各要素節点の移動速度であり、流れ場とは別に物体の運動と関連づけて定められる量である。一方、流れの中に置かれた鉛直たわみ1自由度系に非定常揚力 L が作用するときの運動方程式は以下のとおりである。

$$m [\ddot{y} + 2f_o \delta_s \dot{y} + (2\pi f_o)^2 y] = L \quad (3)$$

ここに m は質量、 f_o は系の固有振動数、 δ_s は対数減衰率である。式(1)、(2)を有限要素方程式化し式(3)と連成させて解く手法については、すでに文献[1]において報告済みであるので、ここでは式中現れる要素節点の移動速度 v_j の決め方を簡単に説明する。

図-1に示すような角柱まわりの流れを考える。角柱が上方に辺長比 $y/d = 1$ だけ変位したときに対応する要素のゆがみを図のように線形化して考え、さらにこのときの各節点の座標を x_j^n と表せば、時刻 n における変位 y^n に対応する座標 x_j^n は $x_j^n = (y^n/d) x_j^n$ と表せる。したがって節点の移動速度は1次前進差分を用いて次のように表せる。

$$v_j^{n+1} = \frac{x_j^{n+1} - x_j^n}{\Delta t} \quad (4)$$

以上の式(1)~(4)を繰り返し解くことにより、物体と流れの連成解析が可能になる。

3. 数値計算例

角柱まわりの流れに対し図-1に示すような不均等分割メッシュを用意し、辺長比1だけ上方に変位したときのメッシュの変形を図のように仮定する。事前に行った静止角柱まわりの流れ解析結果から、物体静止時のStrouhal数は0.156という値が得られている。したがって本解析における角柱の質量、ばね定数をこの値と同調するように設定した。なお角柱の辺長を基準としたReynolds数は100である。

図-2は、初期状態 ($u = v = P = 0$) において入口境界に突然一様流を作用させ始めてから準定常的な状態に到るまでの、非定常揚力係数 C_L と無次元振動振幅 $\eta (= y/d)$ の時刻歴を示したものである。いずれの変動も微

小さな初期擾乱の後、規則的な波形に収束している。振動時の揚力、振幅の無次元振動数は約0.18と静止時に比べ大きくなったが、この理由としては角柱表面に与えられる速度の境界条件が渦の放出を加速する効果を持っているためと考えられる。したがって本計算で得られた結果はいわゆる渦励振のように物体が周辺流を制御する現象とは異なり、流れがもたらす非常常揚力による強制振動であると判断される。

図-3は振動中の角柱が平均位置を上昇中のときの、また図-4は最上端に達したときの周辺流線・圧力分布を示したものである。さらにそれぞれの場合における圧力係数の鳥瞰図を図-5に示す。図から角柱が最大速度および最大変位を持つときの周辺の流れ場は、本手法により精度良く解かれていることが判る。

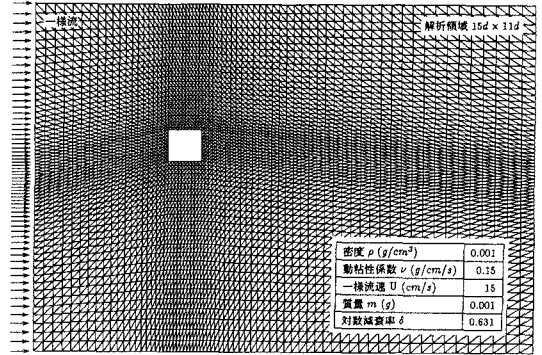


図-1 解析条件

4. まとめ

自由振動角柱まわりにおける Reynolds 数 100 の流れの問題に対して、ALE 記述による有限要素法を適用し安定に計算を進められることを確認した。本研究では角柱の振動とともに移動する表面境界を考慮するため線形化した要素の変形パターンを用いたが、より高い Reynolds 数に対しては物体近傍の要素の変形が解の精度に影響を及ぼすことが予想されるので、メッシュの再構築方法に関しては今後さらに検討を要する。

参考文献

[1] Edamoto, K. and Kawahara, M. : *Two Dimensional Finite Element Analysis for Fluid Structure Interaction Problem*, The Fourth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Tokyo, Japan, 1991.

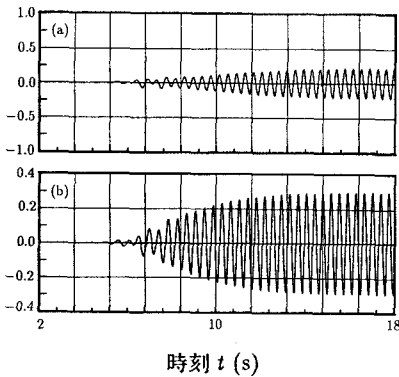


図-2 時間変動波形 : (a) C_D および (b) η

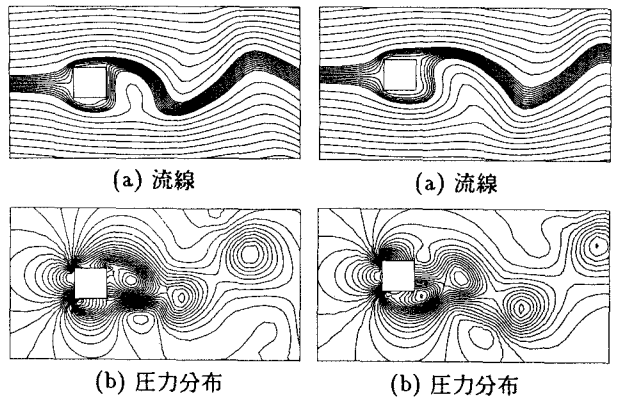


図-3 計算結果(平均位置上昇中)

図-4 計算結果(最上端)

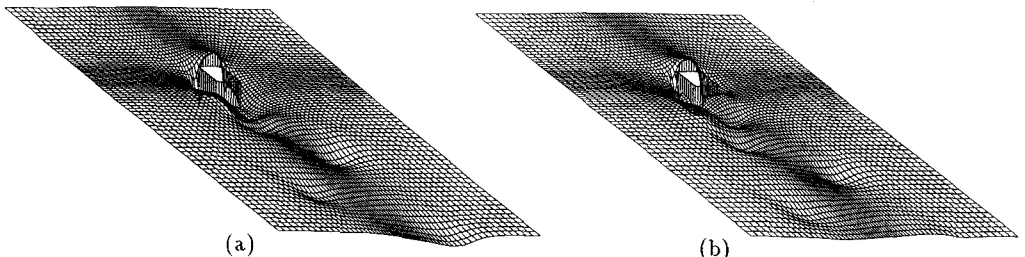


図-5 角柱が (a) 平均位置を上昇中および (b) 最上端に達したときの圧力係数の鳥瞰図