

運輸省 正員 西村 拓
 東京大学 正員 野村卓史

1. はじめに

ALE法は、流体・構造関連問題など移動境界を持つ問題に用いられる方法で、節点の動きを任意に設定して良いよう定式化したものである。これにより、境界上の節点は境界の動きに一致させることで、移動境界条件の表現が容易となり、他の節点は適当に動かしてやることで、過度にゆがんだ要素による計算の破綻が回避可能となる。ALEの特色を生かすためには、節点の動かし方として要素のゆがみを平準化させるものが望ましい。

流体・構造関連問題では今のところ、図1のように、剛体の端から境界までの距離に応じて、1次関数や三角関数など、何らかの関数で剛体の変位に対する節点の変位を配分させることが多い¹⁾。しかし、こうした方法では、領域形状やメッシュ分割を変更することに対処し直すのが面倒である。また、剛体が複数存在するケースでは、何をもちいて距離とするのか設定がむずかしく、今のところ定まった方法はない。従って、自動的かつ汎用的なメッシュ変形制御法の確立が望まれる。本研究ではその一つの方法を提案し、検討した。

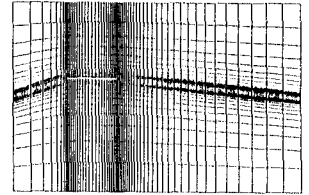


図1 節点の変位を線形関数で与えた既往のメッシュ変形パターン¹⁾の例

2. 熱伝導アナロジーによるメッシュ変形制御

本論文で提案するメッシュ変形制御法は熱伝導問題からの類推により、2次元ラプラス方程式の解をもとに、剛体が単位変位したときの各節点の変位量を決定しようというものである。ここでは、熱伝導問題での温度及び温度勾配と、メッシュ変形制御の問題での節点の変位及び要素のゆがみとを、それぞれ対応づけて考えている。

図2のように、剛体上で温度1、境界上で温度0という条件のもとで、2次元定常熱伝導方程式より得られる温度分布は、剛体付近ほど温度勾配の大きいものとなる。ここで、熱伝導方程式は単位時間に閉曲線を通る熱流が一定というものだから、内側ほど板厚を大きくしてやれば、図3のように、剛体から境界まで温度勾配を一定にできる。このことから類推で、ゆがみの大きな要素に、板厚に対応するような重みを与えてやれば、剛体から境界までの間で要素のゆがみを平準化するような節点の変位分布が得られると期待できる。

そこで、提案するメッシュ変形制御法はまず、熱伝導問題で言えば板厚を意味する重みを導入する。そして、剛体上で $u=1$ 、固定境界上で $u=0$ 、という境界条件のもとで、はじめは、すべての要素で重みを1として方程式を解く。その結果得られる各節点の変位から、各要素のゆがみを評価する。ここで、要素のゆがみの尺度としては、直ひずみとせん断ひずみのノルムを用いた。次には、ゆがみの値の最小の要素で重みを1とし、その他の要素はそこでのゆがみの値と、ゆがみの最小値との比を重みとして与える。そして再び方程式を解いて得られる解を、剛体が単位変位するときの各節点の変位量とするのである。

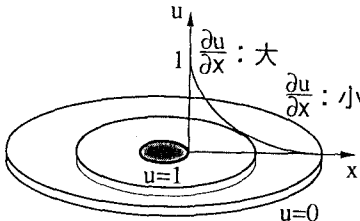


図2 板厚一定のときの温度分布

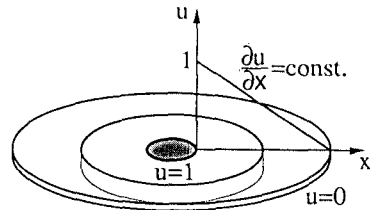


図3 板厚調整後の温度分布

3. 結果の評価例

何種類かの問題を想定し、いくつかのケースを検討したが、紙面の都合上2つだけ紹介する。

ケース1は剛体がx, y両方向に単位変位する場合である。図4は要素厚一定のときの解による、メッシュの変形パターンと、要素のゆがみの分布図である。濃い色ほど要素のゆがみの大きいことを意味する。剛体付近、特に、左下の要素が大きくゆがんでいる。要素厚調整後（図5）はゆがみが平準化されている。節点の変位を線形関数で与えたものによる結果を図6に示す。要素厚調整後は既往法と同レベルの、要素のゆがみの平準化をしていると言える。

ケース2は剛体が2つ存在し、各剛体が互いに逆方向に単位の変位をしているときである。剛体が2つあるときの各節点の変位は、各剛体が単位変位したときの節点の変位量と、各剛体の変位量の1次結合で与えることにする。要素厚一定のとき（図7）は、各剛体の真横の要素で大きなゆがみがあったのが、要素厚調整後（図8）は、剛体間の領域でゆがみが平準化されている。よって、剛体が2つ存在する場合でも、提案する方法は有効であると考えられる。

また、並進変位するH型断面の渦励振問題の実際の解析に、提案する方法を適用した結果は既往の解析結果とよく一致した。このことより、提案する方法は実際の解析に適用可能であると言える。

ケース1

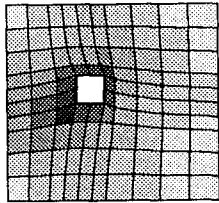
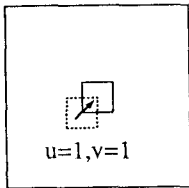


図4 要素厚一定

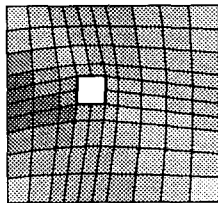


図5 要素厚調整後

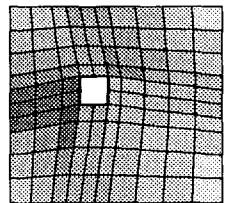


図6 既往法

ケース2

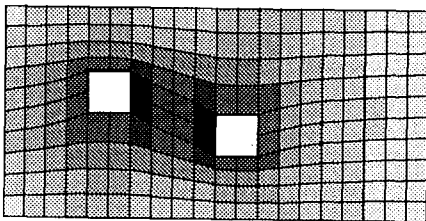
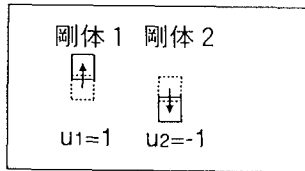


図7 要素厚一定

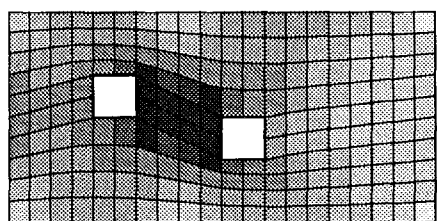


図8 要素厚調整後

5. まとめ

以上のことより結論として、提案する方法は以下の特色を有することが分かった。

- ・ 既往の線形関数による方法と同レベルの要素のゆがみの平準化を達成する。
- ・ 自動的かつ汎用的に節点の動かし方を決定できる。
- ・ 実際の流れの解析で実用可能である。

<参考文献> 1) 野村卓史・飯島政義：ALE法に基づく粘性流体と構造との相関問題の有限要素解析手法（土木学会論文集 第416号 1990年4月）