

3次元非構造メッシュ修正システムの要素細分化機能の提案

中央大学大学院 学生員 田中 智
中央大学大学院 学生員 ○ 今西 準紀
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

近年の計算機性能の向上に伴い、複雑な幾何形状を有する様々な理工学問題の数値シミュレーションにおいて、非構格子に基づく3次元有限要素解析が一般に行われている。しかし、自動要素生成ソフトにより修正しきれないわずかな数の要素が計算結果に悪影響を及ぼすばかりでなく、計算自体が不安定になることがある。このような場合、最終手段として手動による修正が必要となるが、3次元解析に用いられるメッシュを2次元画面で要素の品質を確認・修正することは、奥行き情報を得ることができないため非常に困難となる。

この問題を解決するため著者らは既往の研究により、立体視が可能な没入型VR装置を用いた3次元メッシュ修正システムの構築を行い、節点移動法¹⁾と要素細分化手法²⁾の2つの修正法を搭載した。しかし、節点移動法による修正の有効性の検討¹⁾はこれまでに行ってきたが、要素細分化手法については検討が不十分となっていた。そこで本研究では、単純な片持ち梁のメッシュを対象として要素細分化手法による修正を行い、計算結果の比較を行うことでシステムが機能しているかの妥当性について検討を行った。

2. 3次元メッシュ修正システム

(1) システムのフローチャート

図-1に本システムのフローチャートを示す。まず初めに対象データの読み込みが行われ、以下に示すような品質評価式³⁾に基づいて要素の品質評価値が算出される。

$$Ar = \frac{\left(\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 Li^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{8.47967V} \quad (1)$$

ここで、 Ar は品質評価値、 Li は四面体を構成する各辺の長さ、 V は四面体の体積を表す。ここで用いられる品質評価値は、正四面体の場合に1となり、歪みが大きくなるにつれて増大していく。

品質評価の終了後、VR空間にメッシュの描画が行われる。この際、利用者が品質を評価するためにあらかじめ設定した閾値に基づき、品質の悪い要素に対しては要素辺に色付けを行い警告する。具体的には、閾値の1/2を超える要素は黄色による警告が行われ、閾値を完全に超える要素は赤色による警告を行う。また、要素のコネクティビティが壊れ、底辺を突き抜けてしまった状態の要素に対しては、緑色による警告を行う。この品質評価はリアルタイムで行われるため、利用者は要素辺の色を見ながら修正を行うこ

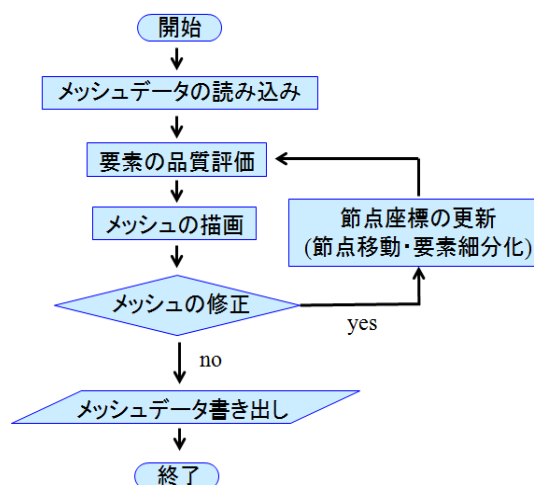


図-1 本システムのフローチャート

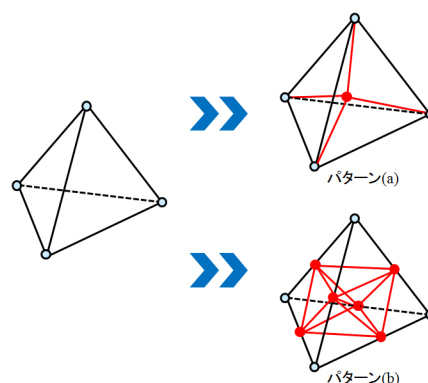


図-2 要素細分化のパターン

とができる。

メッシュの修正方法には、1) 節点移動法、2) 要素細分化手法、の2種類が実装されている。本報告では、2) の要素細分化機能を用い、メッシュ修正を行っている。すべての要素の修正が完了した後、修正後のメッシュデータを新たに出力し、システムの終了となる。

(2) 節点移動機能

節点移動機能は、利用者がコントローラを用いて歪みの大きい要素の節点を捕捉し、コントローラをスライドさせることにより要素の品質を改善する機能である。なお、二次要素に対して節点移動機能による修正を行う場合は、要素の頂点を捕捉し節点移動を行い、中間節点の座標は補間により決定を行う。また、計算領域の幾何形状を破壊しないため、本システムでは、領域の表面の節点に対して移動方向に制限を設けている。

KeyWords: バーチャルリアリティ, 弾性体解析, メッシュ修正, 要素細分割

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27



図-3 VR装置とシステム利用風景

(3) 要素細分化機能

要素の細分化機能には図-2に示すように2つのパターンを採用している。パターン(a)の場合は、要素の重心に新たな節点を生成し細分化を行う。しかし、細分化する要素以外のコネクティビティは変化しないが、要素が扁平になってしまうという特徴がある。パターン(b)は要素の各辺の midpoint に新たな節点を生成して分割を行うが、要素が扁平にならない代わりに、細分化する周辺の要素のコネクティビティが変化するという特徴がある。利用者はこの2つの細分化機能を要素の形状や周辺要素とのコネクティビティを考慮しながら選択し、修正することができる。

(4) VR装置

本システムはVR技術として、図-3に示す没入型VR装置の利用を前提としている。本装置は3面の大型スクリーンとそれぞれのスクリーンに対応した高性能プロジェクターにより構成されている。スクリーンの上部には利用者の動きや、利用者が持つコントローラーの位置を把握するための光学トラッキング装置が装備されている。立体視方式は液晶シャッター方式を採用し、このメガネをかけることにより、立体視が可能となる。本システムの利用者は図-3に示すようにコントローラーを用いてメッシュの節点・要素を捕捉し節点移動、または要素細分化機能を用いて修正を行う。

3. システムの妥当性の検討

本システムの妥当性を検討するために、数値解析例として単純な3次元片持ち梁の集中荷重問題を取り上げる。図-4に解析モデルを示している。(弾性係数 $1.0 \times 10^4 [N/m^2]$, ポアソン比 0.3)

今回の検討に用いる修正前の初期メッシュと修正後のメッシュを図-5に示す。まず、曲げ応力が最も大きくなる梁の付け根部分の緑に色付けされている要素12個に対し、先に述べたパターン(b)による細分化を行ったものが修正後のメッシュAである。そして、修正後のメッシュAでは効果が十分でなかったために、赤く色づけされた部分をさらに細分化を行ったものが修正後のメッシュBである。

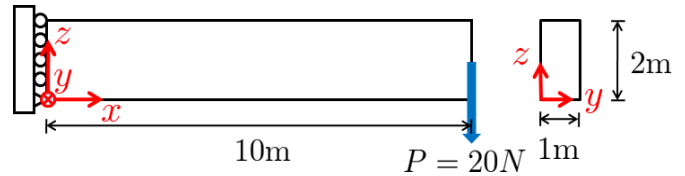


図-4 解析モデル

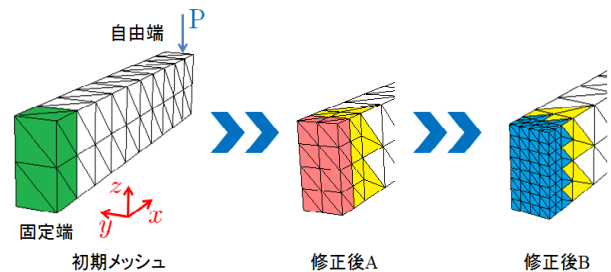


図-5 解析メッシュ

表-1 z方向の変位の様子

	修正前	修正後(a)	修正後(b)
z方向最大変位[m]	0.405[m]	0.471[m]	0.488[m]
厳密解との誤差[%]	60.7[%]	54.3[%]	52.7[%]

解析結果を表-1に示す。その結果、メッシュの細分化を行うごとに解析解の精度が向上していることがわかる。しかし、四面体1次要素では曲げのモードを考慮することができないため、今後はより実用的な曲げのモードを考慮できる四面体2次要素での検討を行う予定である。

4. おわりに

本報告では、3次元メッシュ修正システムの概要について述べると共に、本システムの要素細分化手法の妥当性について検討を行った。

その結果、単純な片持ち梁を対象に固定端部のメッシュを修正したことにより計算結果の改善がみられた。

今後の課題として、複雑な形状での本システムの有効性の検討、六面体要素への適用、システムの機能拡張などが挙げられる。

参考文献

- 1) 高田知学, 榎山和男, 林田憲治, 陰山聡, 大野暢亮: パーチャルリアリティ技術を用いた有限要素メッシュの対話的修正システムの構築: 応用力学論文集, Vol.15, I.217-I.225, 2012.
- 2) 田中智, 榎山和男: VR技術を用いた3次元メッシュ修正システムの構築: 土木学会全国大会第67回年次学術講演会, CS6-017, 2012.
- 3) Lori A. Freitag, Patric M. Knupp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element condition number, Int. J. Number. Methods. Eng., Vol.53, pp.1377-1391, 2002.
- 4) 竹内則雄, 榎山和男, 寺田賢二郎: 計算力学, 有限要素法の基礎, 森北出版, 2003