

3次元メッシュ修正システムの固体解析における有効性の検証

中央大学 学生員 ○今西 準紀
中央大学大学院 学生員 田中 智
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、非構造格子に基づく3次元有限要素解析が一般に行われている。しかし、自動メッシュを用いて作成された初期メッシュに品質が極端に悪い要素がわずかでもある場合には、計算精度に悪影響を及ぼすばかりではなく、非定常解析などでは計算自体が不安定になったり、汎用ソフトなどでは警告により解析過程に移行できない等の問題がしばしば発生することは知られている。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である。

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ってきた。メッシュ修正手法としては節点移動法¹⁾と要素細分化手法²⁾を提案してきたが、節点移動法による修正法についてのみその有効性を示してきた¹⁾。本研究では要素細分化手法の有効性を検証するために、単純な片持ち梁の応力解析を例に要素細分化手法に基づくメッシュ修正を行い、解析解との比較を行うことで本システムの有効性について検証を行った。

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。まず初めに対象のデータの読み込み、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。

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

ここで、 Ar は品質評価値、 L_i 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。この品質評価値は、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ものである。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、利用者があらかじめ設定した閾値よりも品質評価値が大きくなった場合、要素が赤色で警告される。これをもとに利用者は要素の修正を行う。また品質評価はリアルタイムで行われるため、要素の警告を見ながら修正を行うことができる。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種類がある。この2つの機能を利用し、修正を行っていく。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

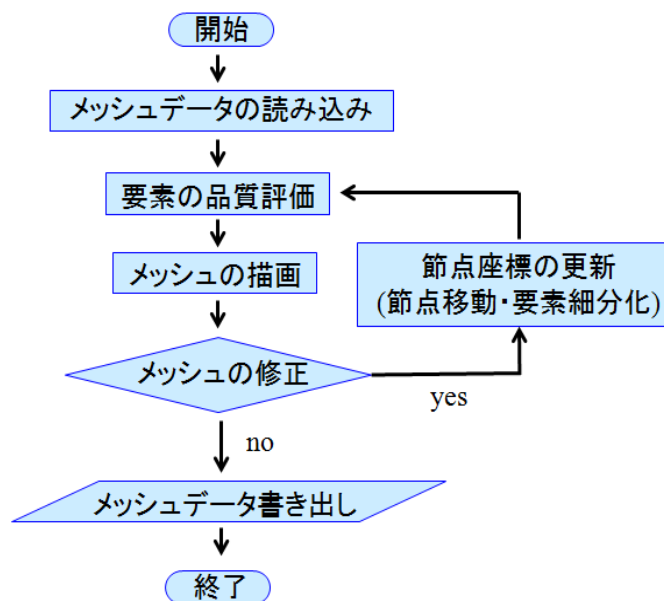


図-1 本システムのフローチャート

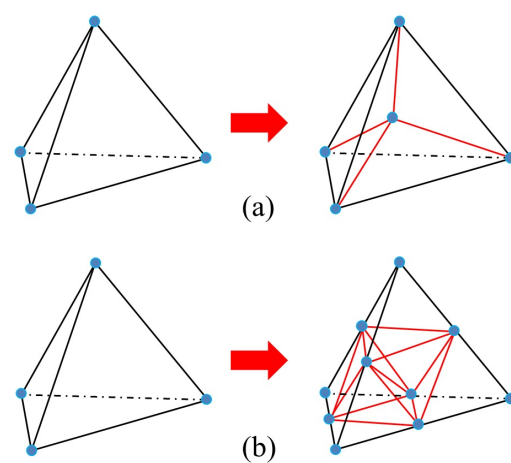


図-2 要素細分化のパターン

新たに出力し、システムの終了となる。

(2) 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種類の方法を実装している。(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い、細分化する要素以外のコネクティビティは変化することがない。しかし要素が扁平になってしまいうという特徴がある。(b)は要素の各辺の中点に新たな節点を生成して分割を行うが、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

KeyWords： パーチャルリアリティ、弾性体解析、メッシュ修正、要素細分化

連絡先： 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

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。

(3) VR 装置

本システムには VR 技術として、図-3 に示す没入型映像投影技術を用いている。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、立体視することが可能となる。本システムの利用者は図-3にある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。



図-3 3面大型スクリーン

3. システムの有効性の検証

本システムの妥当性を検証するため、図-4 に示す単純な3次元片持ち梁の集中荷重による応力解析を取り上げる。梁の長さ20m、高さ2.0m、幅1.0m、荷重20[N/m]、弾性係数 1.0×10^4 [N/m²]、ポアソン比0.3となっている。解析解は1.031mである。

今回の検証に用いた初期メッシュ(要素数960、節点数315)を図-5(a)に示す。この初期メッシュをVR空間に投影し(図-3参照)、曲げ応力が最も大きくかかる梁の付け根部分24個の要素に対して先に述べた細分化パターン(b)により細分化を行った。修正後のメッシュを図-5(b)に示す(要素数1198、節点数381)。

片持ち梁先端の変位についての比較を表-1に示す。表-1より、メッシュを細分化することにより計算結果の精度が向上していることがわかる。

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有効性を片持ち梁の応力解析を例に検証を行った。その結果、メッシュの修正を行ったことによる計算結果に改善がみられた。

今後は複雑な形状での本システムの有効性の検証、システムの使用性の向上について検討を行っていく予定である。

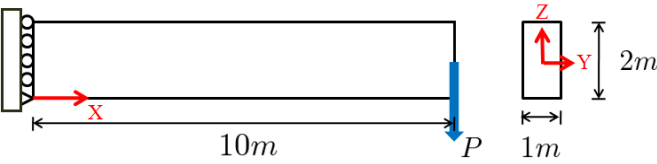


図-4 解析条件

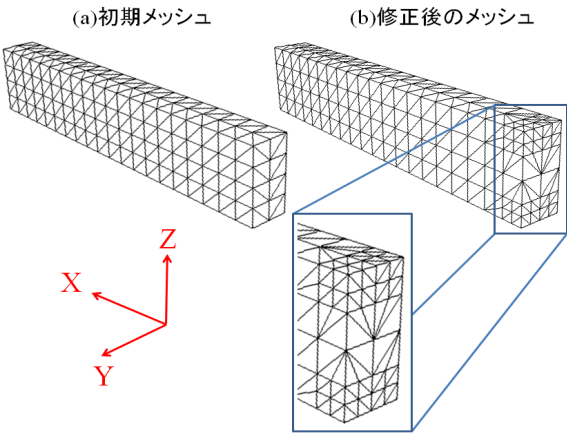


図-5 解析メッシュ

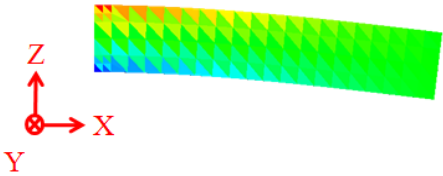


図-6 (b) 修正後のメッシュにおける応力分布

表-1 z方向の変位の様子

	修正前	修正後
z方向最大変位[m]	0.815[m]	0.830[m]
厳密解との誤差[%]	21.0[%]	19.5[%]

参考文献

1) 高田知学, 檜山和男, 林田憲治, 陰山聡, 大野暢亮: バ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, 2012.
2) 田中智, 檜山和男: 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, 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, 檜山和男, 寺田賢二郎: 計算力学, 有限要素法の基礎, 森北出版, 2003.