

VR技術を用いた要素細分割手法に基づくメッシュ修正システムの構築

中央大学 学生員 ○ 宮脇 崇行
中央大学 学生員 山崎 輔
中央大学 正会員 桒山 和男

1. はじめに

近年コンピュータの性能の向上により様々な力学現象に対して3次元の数値解析が一般に行われている。しかし、大規模な3次元解析の場合、プリ・プロセスの段階でメッシュの品質の確認と修正が困難になる場合が多い。これは、一般に3次元のデータを投影変換により2次元表示媒体に可視化表示するために発生する問題といえる。

著者らは、この問題点を解決するために、VR技術を用いて立体視表示によりメッシュの修正を行うシステム¹⁾を構築した。しかし、従来のシステムでは節点移動による修正しか行えないため十分な解の改善には限界が生じていた。そこで、本研究では新たなメッシュ修正方法として要素細分化機能を追加した。

2. 有限要素法メッシュ修正システム

図-1は本システムで修正を行う際のフロー図である。まず、対象のメッシュデータを読み込む。次に全ての要素に対してあらかじめ設定した品質評価式²⁾を用いて品質評価を行う。評価式は以下になる。

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

ここに、 Ar は品質評価値、 Li は四面体を構成する各辺の長さ、 V は四面体の体積である。上式に従うと、要素の品質が最も良いとする正四面体の時に評価値が最小値の1となり、歪みが大きくなるにつれて評価値も増大する。

そして評価後に、全体メッシュ及び品質の悪い要素等をVR空間においてメッシュの描画を行う。次に観測者がコントローラ操作でメッシュの修正を行う。メッシュの修正方法としては従来の節点移動による方法と今回追加した要素の細分化による方法がある。修正が行われると要素の再評価がリアルタイムに行われる。全ての修正が完了するとメッシュデータを新たに書き出してシステムは終了する。

なお、CAVE環境としては中央大学のHolostageを用いた。Holostageの概要については参考文献1)を参照された。図-2はシステムを使用している様子である。

3. 要素分割機能の追加

本研究では既存のシステムに、要素細分化を行う要素分割機能を追加した。図-3は要素の細分化部分の具体的な内容(フロー図)である。以下これらについて説明する。

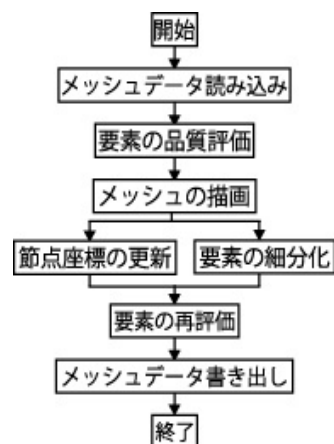


図-1 本システムのフロー図



図-2 システムを使用する様子

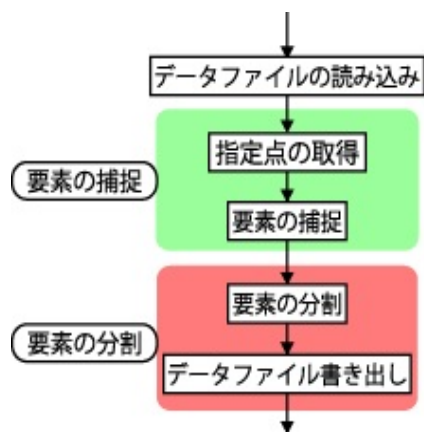


図-3 要素分割を行うまでのフロー図

(1) データファイル読み込み

始めに、メッシュファイルや要素の捕捉に必要な反変基底ベクトルファイルを読み込む。反変基底ベクトルファイルは後述する指定点の要素に対する内外判定時に用いるデータファイルである。

(2) 要素の捕捉

要素の分割を行う上で分割対象の要素を指定することが必要となる。観測者はコントローラで捕捉を行う位置(点)を指定し、メッシュの全要素に対して指定点が要素内に含まれているかどうかの内外判定を行う。

この内外判定では、点位置検索³⁾による判定手法を採用した。この手法は内外判定の際に要素が存在する物理空間から内外判定用の計算空間への座標変換を行い、計算空間上の値と条件式を用いて判定をする手法である。座標変換のイメージを図-4に示す。条件式は図-4中の値を用いて以下の様になる。

$$(0 \leq \xi_P \leq 1) \cap (0 \leq \eta_P \leq 1) \cap (0 \leq \zeta_P \leq 1) \\ \cap (\xi_P + \eta_P + \zeta_P \leq 1) \quad (2)$$

そして、条件式により指定点 p が要素内部にあると判定された要素の空間情報・結合情報を記憶させることで捕捉を行う。

(3) 要素の分割

要素の細分化は、捕捉された要素の重心を算出しそれを新たな節点として細分化を行っている。図-5に本機能での分割パターンを示す。細分化後は、新たなメッシュデータ(節点座標と結合情報)を保存する。

4. 適用例

要素細分化の機能の有効性を示すため、適用例としてボルトに対する応力解析問題を取り上げる。使用したメッシュは四面体1次要素、節点数19,529、要素数102,578である。メッシュ全体の外観を図-6に示す。

要素形状の悪い要素(図-6中の色づけされた要素)に対して本システムを適用した結果の一例を図-7に示す。図-7のように元の四面体の重心を新たな節点として構成されていることがわかる。

5. おわりに

本論文では、既存のメッシュ修正システムに要素分割機能を追加した。その結果、要素の修正方法の選択の自由度が広がり、より効果的な修正が可能となった。

今後は、本システムによる計算精度の向上について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 林田 憲治, 檜山 和男, 山崎 輔, 陰山 聡, 大野 暢亮: VR 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: 計算工学講演会論文集 Vol.15, pp.219-222, 2010
- 2) 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

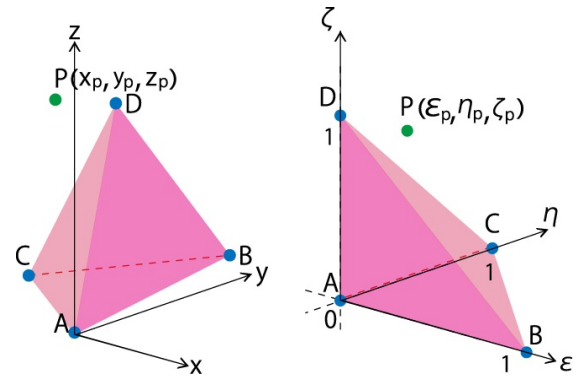


図-4 物理空間(左)と計算空間(右)

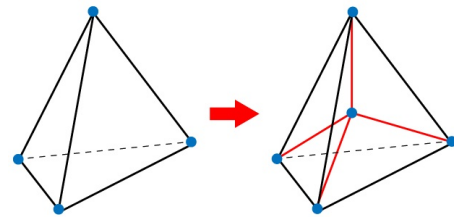


図-5 要素細分化パターン

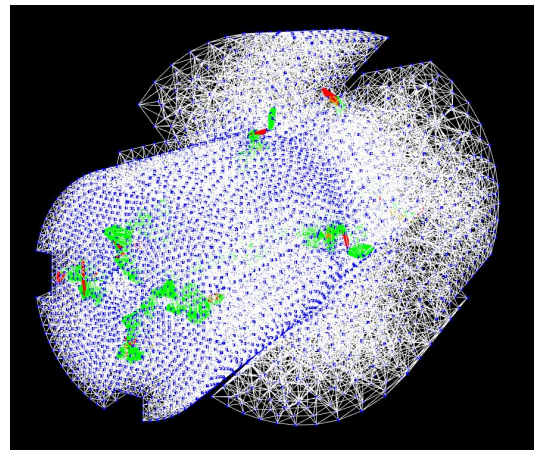


図-6 ボルトのメッシュ全体の外観

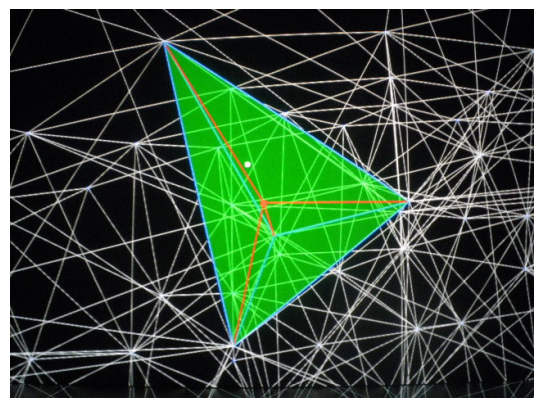


図-7 捕捉・分割を行った要素

- 3) 白山 晋, 日本計算工学会 編: 計算力学レクチャーシリーズ 知的可視化: 善株株式会社, 206p, 2006