

3次元メッシュ修正システムの適用性の向上

中央大学大学院 学生員 ○今西 準紀
中央大学 正会員 榎山 和男
神戸大学 正会員 陰山 聡

1. はじめに

近年、計算機性能の向上に伴い、様々な問題に数値シミュレーションが用いられるようになってきている。一般に、メッシュデータは対象物の形状データを用いて自動メッシュ生成ソフト等により生成される。しかし、生成した初期メッシュに品質の極端に悪い要素がある場合、計算精度に悪影響を及ぼし、非定常解析などでは計算自体が不安定になったりする場合がある。また、汎用解析ソフトでは警告により計算がストップしてしまう場合があることが知られている。このような場合、最終手段として手動による修正を行うことが必要となるが、3次元解析に用いるメッシュを2次元画面で確認・修正を行うことは、奥行情報が欠落するため非常に難しい。

この問題を解決するため既往の研究では、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が行われてきた。修正手法としては、節点移動手法¹⁾と要素細分化手法²⁾が実装されている。このうち、節点移動手法では解析領域の形状を崩さないために、表面節点の移動方向に制御を設けている。しかし、修正が必要となる要素の節点のすべてが境界表面上にある場合、この要素を修正することは困難となっていた。この問題を解決するため本研究では、その要素と隣り合う要素を利用し、要素のコンネクティビティを変えることで修正を可能とするアルゴリズムを考案した。また、実問題への適用を行うことで有効性の検討を行った。

2. システムの利用環境

本システムには没入型 VR 映像投影装置を用いている。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とコントローラーの位置を検出する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、メガネをかけることにより立体視が可能となる。システム利用の様子を図 - 1 に示す。利用者は VR 空間内を自由に移動し、コントローラを用いてあらゆる角度から要素の確認・修正を行うことが可能となっている。

3. 3次元メッシュ修正システム概要

(1) システムのフロー

本システムは 3 次元メッシュを VR 空間に立体視表示し、利用者はコントローラーを操作することによりメッシュの修正を行うことができるシステムである。図 - 2 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を読み

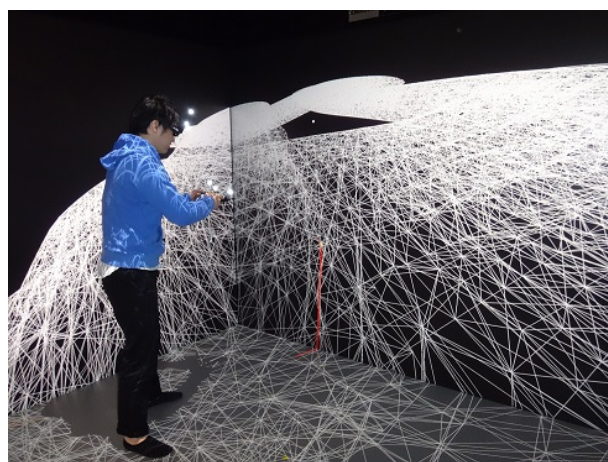


図 - 1 システム利用の様子

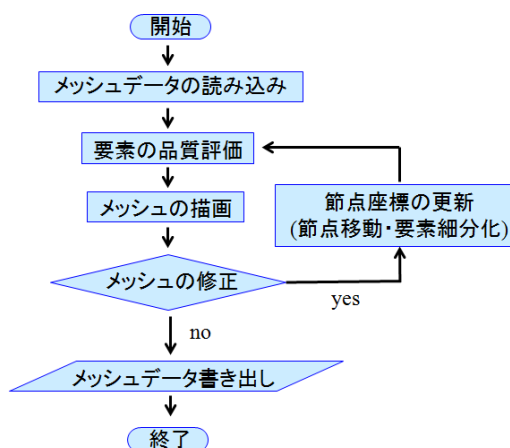


図 - 2 本システムのフローチャート

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を定量的に評価する。

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

この品質評価式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する。続いてメッシュの描画を行う。ここで先ほど算出した品質評価値と、利用者があらかじめ設定するしきい値を比較することにより要素の善し悪しを判定しする。しきい値を超えた要素を赤色、しきい値の 2 分の 1 を超えた要素を黄色で警告を行い、利用者を視覚的に補助している。続いて要素の修正を行う。要素の修正は表示の色分けをもとに行っていくのだが、品質評価はリアルタイムで更新されていくため、修正を行ったことによる

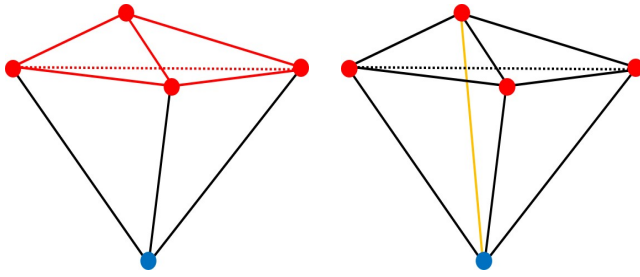


図-3 修正前の要素

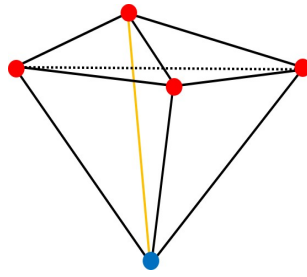


図-4 修正後の要素

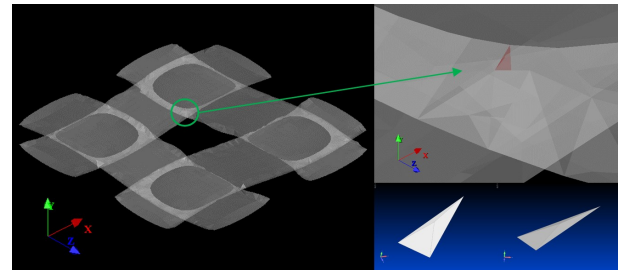


図-5 例題のメッシュと問題となっている要素

要素品質の改善を確認しながら修正することができる。要素の修正法には、1) 節点移動法、2) 要素細分化手法の2種類があり、目的に応じて使い分けていくこととなる。全ての要素の修正が終了した後、修正後のメッシュデータを新たに書きだし、システムの終了となる。

(2) 節点制御機能

境界面上の要素修正を節点移動手法によって行う場合、解析領域を破壊しないよう注意が必要となる。そのため、本システムでは境界面上の節点の移動方向に制限を設ける節点制御機能を実装している²⁾。制御を施された節点は移動方向の自由度によって、不動点、1次元移動点、2次元移動点と呼んでいる。不動点は解析領域を破壊してしまうためにどの方向にも移動することのできない節点、1次元移動点は辺に対して平行移動が可能な節点、2次元移動点は平面上のみを移動できる節点となっている。

4. 要素のコネクティビティを変える機能

既存のシステムでは、ある要素においてすべての節点が境界面上の節点であり、なおかつそれぞれの節点が全て不動点として制御されている場合、要素形状の修正を行うことが困難となっていた。そこで、この要素と隣り合う要素に着目し、要素のコネクティビティを変更することで修正が可能となるアルゴリズムの構築を行った。

図-3に修正が困難な要素(赤色)と、その要素と底面で隣り合う要素(黒色)を示す。赤色の節点は境界面上の節点であり、不動点として制御されている。この隣り合う2つの要素のコネクティビティを変えることで、境界面上の節点を移動せずに要素の修正が可能となる。コネクティビティ変更後の要素を図-4に示す。図に示すように、黄色で表した線が新たに構成された要素辺である。要素コネクティビティの変更が行われたことにより、対象とする2つの要素が3つの要素に再生成されたことがわかる。この機能を用いることで要素の修正が可能となり、すべての節点が不動点として制御されている要素に対してもシステムの適用を行うことが可能となった。

5. システムの適用例

本報告のアルゴリズムが妥当かどうか検討するため、図-5に示す繊維強化プラスチック(FRP)の繊維束部分のメッシュに適用を行った。このメッシュは図に示す要素の品質に問題があるため、計算が途中でストップしてしまっていた。この要素はかなり薄い要素となっており、修正を行う必

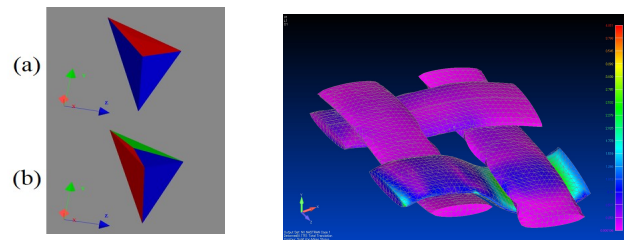


図-6 コネクティビティ変更前後の要素

図-7 解析結果

要がある。しかし、すべての節点が境界面上の節点であり、なおかつ不動点として制御されているため、既存のシステムでは修正を行うことが困難となっていた。そこで、本研究で提案したアルゴリズムを適用し、要素コネクティビティを変更することにより修正を行った。図-6に修正前後の要素を示す。問題の要素と、隣り合う要素の2要素(図-6(a))のコネクティビティが変わり、3要素(図-6(b))に再生成されていることがわかる。修正後のメッシュを用いて静応力解析を行った結果を図-7に示す。このように、メッシュの修正を行ったことで、解析がストップすることなく実行することが可能となった。

6. おわりに

本報告では、3次元メッシュ修正システムの境界面上の要素を修正する際の問題点について述べ、解決するためのアルゴリズムの提案を行い、例題への適用を行った。結果、既存のシステムでは修正が困難となっていた要素の修正が可能となり、本システム適用性を向上させることができた。

今後はアイソパラメトリック2次要素への適用、6面体要素への適用を行っていく予定である。

謝辞：本研究では、株式会社くいんとの月野誠氏にFEMモデルの提供、及び修正後のメッシュの解析を実行していただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 高田知学, 櫻山和男, 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, I.217-I.225, 2012.
- 2) 田中智, 櫻山和男, 今西準紀, 車谷麻緒: 三次元非構造メッシュ修正システムへの要素細分化手法の導入とシステム適用性の向上研究: 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学) 特集号, 印刷中
- 3) L.A. Freitag and P.M. Knupp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element condition number, Int.J. Number. Methods. Eng., Vol.53, pp.1377-1391, 2002.