

CAVE を用いた有限要素法メッシュの対話的修正

鳥山雄司¹⁾、大野暢亮²⁾、陰山聡²⁾、高田知学³⁾、樫山和男³⁾

1)九州大学大学院 総合理工学府

2)海洋研究開発機構 地球シミュレーターセンター

3)中央大学 理工学部

目的:

複雑な形状を扱う必要のある様々な数理問題の離散化手法として、有限要素法は広く用いられている。特に工学分野においては CAD システムに入力された 3 次元形状に基づいて自動生成プログラムによって有限要素法メッシュを生成する場合が多い。ところがその自動生成アルゴリズムが完璧ではないため、一部にメッシュが生成されていない不完全な領域や、形状が極端に歪んだ要素ができることも多い。有限要素法においてメッシュの品質は解の精度と収束性に大きな影響を与える。2 次元メッシュの場合にはパソコンのディスプレイ画面で自動生成されたメッシュを表示し、マウスを使って修正することは容易である。しかし、3 次元メッシュの場合ではそのような対話的な修正はむずかしい [1]。そもそも領域全体の 3 次元メッシュを 2 次元のディスプレイに表示すること自体が困難である。そこで我々は、CAVE のもつ高い VR 機能を生かし、有限要素法の 3 次元メッシュに没入し、立体視しながら形状の悪い要素を対話的に修正するソフトウェアを開発した。

方法と結果:

本研究で開発したプログラムのアルゴリズムと機能を簡単にまとめる。まずメッシュデータファイルを読み込む。このデータには節点の座標値とコネクティビティが書き込まれている。そのデータに基づき OpenGL で CAVE 空間内に節点と要素を描く。CAVELib の機能を使い、ワンドを用いて 1 つの節点をつかみ、移動させることでその節点を含む四面体の要素形状を変化させることが出来る。今のところ本プログラムでは要素の形状として四面体のみを仮定している。各要素の形状の善し悪しは以下の品質評価式 [2] で評価する。この式は正四面体の場合 1 となり、要素が歪むにつれ無限大に近づく。

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

A_r : 品質評価値
 L_i : 四面体を構成する各辺の長さ
 V : 四面体の体積

この値があるしきい値を超えた場合、その要素の各辺の色を赤く表示するようにしてある。サンプルデータとして立方体の内部に 551 個の四面体要素を自動メッシュ生成ソフトで作った例を図 1 に示す。赤い線で表示された要素が品質の悪い (形状の歪んだ) 要素である。図 2 は節点をつかみ、動かしている途中のスナップショットである。面を突き破って体積が負になってしまう場合には、それをユーザーに知らせる為に体積が負となった要素を緑色で表示する。図 3 では修正前と修正後の品質評価値の分布を示した。この場合品質評価値が 3.0 以上を悪い要素と定義し、修正前 3.0 以上あった要素の数が 21 個あったものが、修正後 0 個になっていることがわかる。こうして修正したメッシュのデータはプログラム終了時にファイルに自動的に保存される。

有限要素法では、例えば流体解析における境界面上の節点のように、3 次元的に自由に動かす事が原理的に出来ないような節点もある。そのような節点も考慮に入れる為、このプログラムでは全ての節点を 4 種類に分類して

いる：(1)3次元的にあらゆる方向に動かせる点、(2)ある平面上に拘束されて2次元的にしか動かせない点、(3)ある線上に拘束されて1次元的にしか動かせない点、(4)不動点。ワンドで節点をつかみ、動かす際には、(2)や(3)の節点は、拘束条件を満たす方向にのみ動くようにしてある。また(4)の節点は全く動かさない。

本プログラムの応用として都市部(新宿)の風況シミュレーションのために自動生成されたメッシュデータにこのソフトウェアを適用した例を図4に示す。元々のデータは総要素数1500万以上の膨大なものであるが、ここではそのうち都庁周辺の領域だけを抽出した。メッシュ総節点数は48431、総要素数は239995である。物体の境界面で境界形状が壊れている部分(メッシュが生成されていない場所)が存在していたが、本プログラムを利用して近傍の節点を動かすことで修正することが出来た。



図1: サンプルデータ。自動生成されたメッシュの一例。歪みの大きい要素は赤で表示されている。

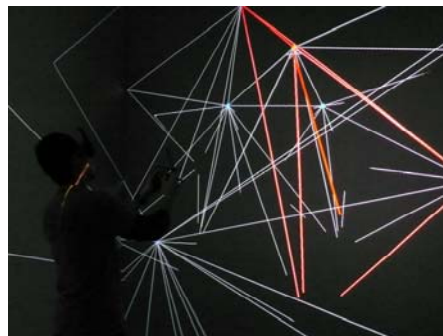


図2: 節点を動かしている途中のスナップショット

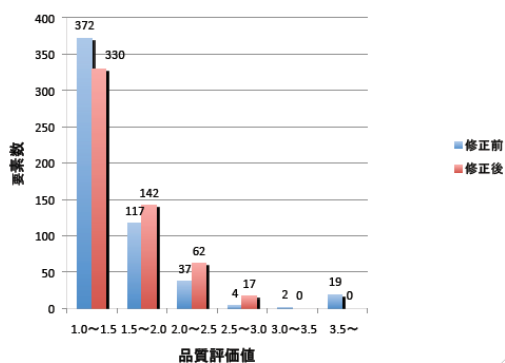


図3: 修正前後の要素品質分布



図4: 自動生成された都庁付周辺の風況シミュレーション用メッシュを本プログラムで修正している様子

まとめ:

自動生成された3次元有限要素法メッシュの品質を向上させることを目的とし、形状の悪い要素をCAVE空間内で直接つかみ、動かすことで修正するソフトウェアを開発した。

参考文献:

- [1]谷口健男、自動3次元メッシュ生成手法の検討、シミュレーション、第18巻第2号(1999),p.18
- [2]Lori A. Freitag and Patric M. Knupp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element conditionnumber: Int. J. Number. Meth. Engng ,(2002),pp.1377-1391,vol.53.