418 医療用断層写真を用いた三次元六面体有限要素モデリング

Three Dimensional Hexahedral Meshing Using Medical CT Images

正 村瀬晃平 (近畿大学工学部) 学 山田裕士 (近畿大学工学部)

Kouhei MURASE and Hiroshi YAMADA

School of Engineering, Kinki University,
1 Takayaumenobe, Higashihirosima**Keywords:** Three Dimensional Finite Element Model, Fractal Dimension, Medical CT Image

1.はじめに

有限要素解析においては解析精度などの理由により、工業製品では六面体要素や二次要素によるメッシュ分割が利用されている。しかしながら、生体組織は複雑な三次元形状を有しており、モデリングには多大な労力が必要である^{1,2,6)}。有限要素モデルが元形状をどれだけ忠実に再現しているかを評価する方法についても現在も様々な研究が行われているところであり³⁻⁵⁾、三次元的な輪郭形状を定量的に考慮しつつモデルを構築することは非常に困難である。

本研究では、輪郭形状精度を維持しつつモデル規模を低減させるために、六面体要素による三次元有限要素モデリングを行なう汎用的手法の開発に関して基礎的研究を行った。

2.方法

複雑な輪郭形状を有する自由物体の例として人膝関節を対象に採りあげた。医療用 CT 画像データ(ピッチ 5mm)をもとに画像処理をおこない、関節近傍の輪郭点を抽出した。輪郭を構成する特徴点をスプライン補間により連結させ、再構築された輪郭線を積層することにより表面サーフェスモデルを生成する。断面輪郭はどの部分においてもなめらかに形状が変化していると仮定し、急激に輪郭形状の変化が観察された領域については、別方向からの CT 画像情報を重ね合わせることにした。サーフェスモデルは三角形パッチにより構成される。

Fig.1 Surface construction from CT Image

本研究では、あらかじめ六面体要素で分割した有限要素メッシュ(シードメッシュ)をモデル内部で膨張させることで、モデル要素を生成する手法を試みた。膨張が進みモデル輪郭面と交差したときには処罰法による接触判定を行い、モデル内部に要素を充填する。球型の三次元シードメッシュを使用して、立方体の三次元有限要素モデルへ膨張させた過程を図2に示す。

Fig.2 Expansion from a ball to cube FE mesh.

今回は対象物の形状を考慮し、カプセル型のシードメッシュを用意して要素生成を行った。図3にシードメッシュのサーフェス内での初期レイアウトを示す。有限要素モデルの膨張は、モデルを徐々に境界面に接触させる繰り返し計算をおこなうことにより収束させた。

Fig.3 Location of 'SEED' FE mesh in tibia surface

3. 結果・考察

作成された脛骨部の六面体メッシュモデル、および同領域をデローニ法による四面体メッシュで構築した脛骨プラトー部のモデルを図4に示す。六面体メッシュモデルの輪郭形状は四面体メッシュモデルとほぼ等しく、表面における節点配置にも目立った粗密は認められなかった。

Fig.4 Three dimensional tibial FE mesh

表1に六面体充填有限要素モデルと四面体構築モデルそれぞれの節点数および要素数を示す。今回は四面体構築モデルの表面節点数をシードモデルの表面節点数とほぼ同数になるように作成している。六面体メッシュで充填を行ったモデルでは四面体要素モデルに比べ節点がほぼ等しいのに対して、要素を1/6以下に抑えられている。本手法ではあらかじめ要素数が決定されるため、解析に必要な時間やデータ量が同定しやすい。またモデル構築時の節点数がさらに増加しメッシュが細密化される場合、要素数の差はさらに大きくなると考えられる。

Table 1 Result of mesh generation

	Tetrahedron model	Hexahedron model
Nodes (on surface)	602	572
Element	6827	1120

シードモデルの要素数をさらに低減して膨張充填を行った場合、脛骨プラトー部、大腿骨顆部など凹凸が激しい領域では表面輪郭と十分に接触しない場合が見られた。今後、輪郭形状を定量的に評価することとあわせ、シードモデルを複数配置した場合の充填法、ならびに領域に応じてモデル構築に必要な節点数および要素数を決定する手法を開発する必要がある。

4. まとめ

本研究では膝関節部分に六面体要素で充填することでモデルの要素数を四面体要素を構築する場合にくらべ大幅に要素数を低減することができた。本提案手法は、複雑な三次元形状に対して六面体メッシュによる有限要素モデルをおこなうための一手法として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) Harada T, et al : An Aesthetic Curve in the Field of Industrial Design, proc.IEEE symposium on visual Language, pp.38-47,1999.
- 2) 伊能、鈴木、宇治橋、植 : X線CTデータに基づく骨体の応力解析(Delaunay Triangulation)を利用した固体別モデリング, 第11回バイオエンジニアリング講演会講演論文集(No.01-16), pp.39-40,2001.
- 3) 村瀬ほか : 生体三次元有限要素モデルの形状忠実度評価法, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol24(掲載決定), 2003.
- 4) 村瀬、奥本、水谷 : 生体力学解析のための三次元有限要素モデルに関する基礎的研究, 第13回計算力学講演会論文集, pp.279,2001
- 5) K.Murese : Improvement of shape fidelity of three dimensional FEM model by multi-directional slice, 10th Int. Conf..Biomed.Eng. Singapore, pp .519,2000
- 6) 大村、坂本ほか : ペーススペクトル法による生体骨モデルの形状変換, 2003 年度年次大会講演論文集, 9-10, 2003.