

X線CT画像に基づく個別有限要素モデリング { 部分体積効果のモデリングへの影響 { Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data { Influence of partial volume effect on the modeling {

正 伊能 教夫 (東工大) 正 小関 道彦 (東工大)
北川 祐介 (東工大) 槇 宏太郎 (昭和大)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI, Yusuke KITAGAWA:
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo
Koutarou MAKI: Showa University

Keywords : Individual modeling, X-ray CT, Partial volume effect, Finite element model, Stress analysis

1 緒言

現在、臨床での診断や治療に役立てることを目指し、個別モデルによるシミュレーション手法の研究が進められている。個別モデリングでは、CT や MRI から得られるスライス画像をもとに個別に有限要素モデルを作成する手法が一般的に用いられている。しかし、入力情報として用いるスライス画像のCT値がモデル形状に与える影響についてはほとんど議論されていないようである。

そこで、筆者らはX線CTスライス画像を個別モデリングに用いる際に問題となる点について検討を行なった。

2 部分体積効果

X線CT装置の場合、スライス画像を撮影する際に用いるX線は無視できない厚みを持っている。そのため、物体の境界面がスライス画像の面と直角に近い部分では、画素内で異なる材質が混在する箇所が少ないため、適切なCT値が与えられる。しかし、傾斜している部分では、異なる材質が画素内で混在する箇所が増えるためCT値が分散してしまう (Fig.1)。この現象はスライス画像の部分体積効果 (Partial volume effect) と呼ばれている。

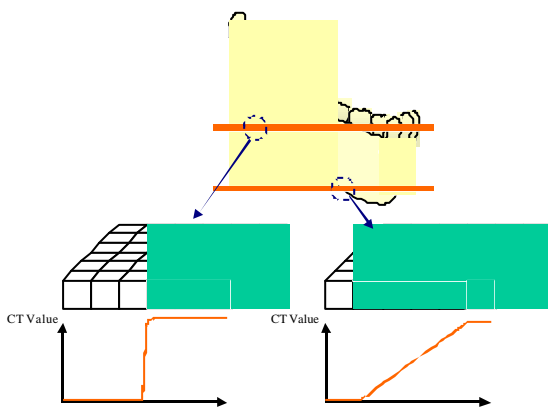


Fig. 1: Partial volume effect

部分体積効果は、画素内に占める複数の材質の体積比率によって決定されると考えられる。そこで、部分体積効果がモデリングに与える影響を試算してみた。

スライス画像を撮影する際のX線の厚みを2mm、画像解像度を0.35mm=pixelとし、撮影対象として直径50mmの円柱を想定した。そして、円柱のCT値を100%、周囲のCT値を0%とし、境界部については画素内に占める2種の材質の体積比がCT値として得られるものとして、閾値以上の値を持つ画素からなる体積を計算した。

円柱の軸方向に垂直となる面をスライスの基準面として、角度を変えながら設定した閾値と体積誤差の関係をFig.2に示す。

これより、スライス面の角度が大きくなるに従い、体積誤差が拡大すること、また、閾値として設定する値によっても誤差が生じることがわかる。

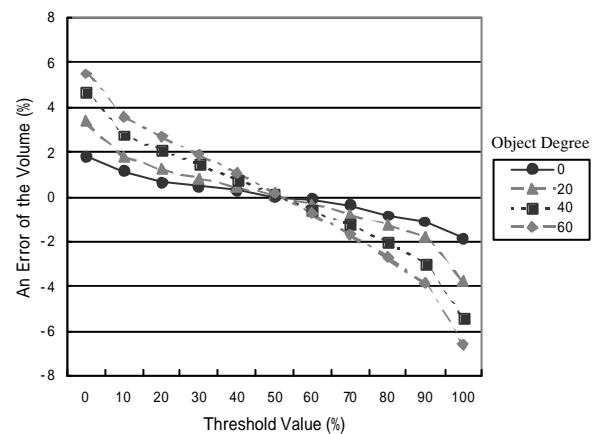


Fig. 2: An error of the volume by partial volume effect

3 モデリングへの影響

次に、部分体積効果が骨体の個別モデリングに影響を与える可能性について調べてみた。ここでは形状を議論するため、エポキシ樹脂で作成したヒトの下顎骨模型

を使用した。X線CT装置により撮影したスライス画像を Fig.3 に示す。

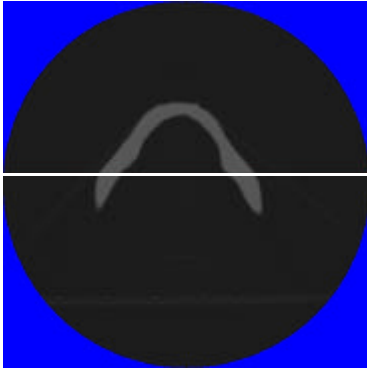


Fig. 3: CT image of the epoxy model

樹脂模型の場合、材質が均一であることから、撮影されるスライス画像は空気を示す-1000付近と、エポキシ樹脂を示す0付近でCT値が二値化されることが期待される。しかし、画像を詳細に調べるため、Fig.3における白線部について各pixel毎のCT値についてグラフを作成したところ、空気のCT値と樹脂のCT値の間の値を持つ画素が境界部に数pixelにわたって存在することがわかった (Fig.4)。

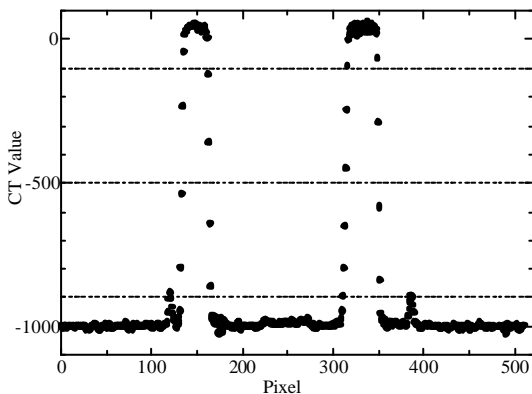


Fig. 4: Profile graph of the CT value

つまり、実際の骨体のX線CTスライス画像にも同程度の部分体積効果が発生していると考えられる。

筆者らは、画像データから骨体の有限要素モデルを自動生成する手法を開発しているが、部分体積効果のためCT値の閾値の設定によってモデルの形状に影響が出ると予想される。そこで、閾値は-100から-900の間で5種類を設定し、それぞれについて個別モデルを作成して検討を行なった。モデリングの例として、閾値が-500の場合の有限要素モデルを Fig.5 に示す。

それぞれのモデルについて体積比較を行なったものを Table 1 に示す。ここで、樹脂模型の体積は模型の重量とエポキシ樹脂の比重から求めたものである。

Table 1: Comparison with the volume

		Volume (cm ³)
Epoxy Model		61.8
FEM Model	Threshold CT Value	
	-100	48.891
	-300	55.550
	-500	60.979
	-700	66.714
	-900	75.074

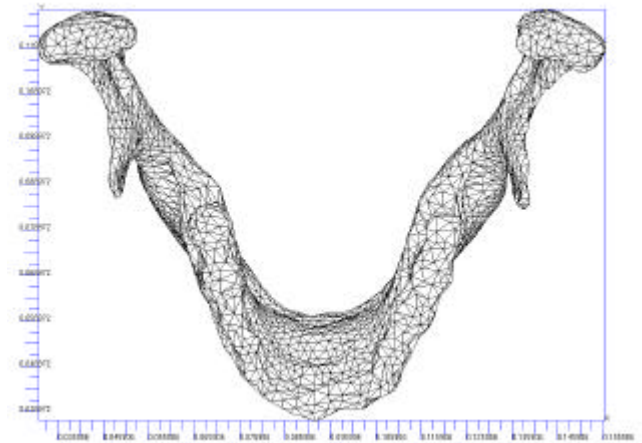


Fig. 5: Generated FEM model in case of the threshold CT value = -500

この結果からわかるように、閾値の選び方によって体積には50%を越える差が生じていた。モデルの形状差は、力学解析で大きな影響を与えるものと考えられ、解析の信頼性のためには閾値の選定を慎重に行なわなければならない。

4 結言

本稿では、X線CTスライス画像が持つ部分体積効果が個別モデリングに与える影響を調べるため、下顎骨の樹脂模型を用いた検証を行なった。その結果、閾値とするCT値の選び方によって個別モデルの形状に大きく影響を与えることを示した。

今回、数値計算を行なった円柱形状について実際にCT撮影することにより、部分体積効果について詳細な検討を行なうことを計画している。また、部分体積効果が力学解析に与える影響についても考察する予定である。

参考文献

- (1) 伊能, 鈴木, 宇治橋, 横: X線CTデータに基づく骨体の応力解析 (Delaunay Triangulationを利用した個別モデリング), 第11回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 (No.99-3), pp.294-295,1999