

X線CT画像に基づく個別別有限要素モデリング

{ 骨体のヤング率の算出 {

Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data

{ Estimation of Young's Modulus of the Bone {

正 伊能 教夫 (東工大)

正 小関 道彦 (東工大)

岩崎 光宏 (三菱電機)

槇 宏太郎 (昭和大)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI: Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Mitsuhiro IWASAKI: Mitsubishi Electric Corporation

Koutaro MAKI: Showa University

Keywords : Individual modeling, Mandible, X-ray CT, Young's modulus, Finite element model, Stress analysis

1 緒言

筆者らは、骨体の力学的特徴を非侵襲で探る目的でCTやMRIから得られるスライス画像を基にして個別別の有限要素モデルを生成する手法について検討している。個別別の有限要素モデルを生成する際に重要となるのは、忠実なモデル化である。これには形状の正確さとともに、有限要素に適切な材料定数が設定されることが要点となる。

本稿では、有限要素にヤング率を設定する際の問題点を指摘し、その便宜的な解決法を提案する。

2 医用画像をもとにしたヤング率の設定

X線CT画像から骨体の有限要素モデルを生成する手法については、これまでにいくつかの研究報告が行われている。しかし、各要素に与えるべきヤング率の設定方法については十分な検討が行われていないようである。

筆者らは、有限要素のヤング率を自動的に割り当てるために、Carterらが示した骨密度とヤング率との実験的な関係式¹⁾を利用している。骨密度はCT値に比例関係があるので、実験式が与えられれば有限要素のヤング率は自動的に設定することが可能となる。しかし、医療現場で得られる画像情報を使用する場合、ヤング率の設定に関して問題となる点が二つある。

一つは、CT撮影時に生じる部分体積効果(Partial Volume Effect)と呼ばれる現象である。これは、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データが適切に与えられるが、傾斜している部分では画素データが分散してしまう現象である(Fig.1参照)。骨体の画像データでは境界が緻密骨と軟組織であるため、斜面の部分ではこの効果が大きく現れるので、応力解析結果にも無視できなくなると予想される。

もう一つは、撮影時のスライス画像の間隔である。臨床で用いられる画像は0.35mm=pixel程度の解像度があるが、スライス間隔は患者への被曝量や時間的負担を考慮して2~5mm程度と画像解像度に比して大きい。そのため、個別別モデリングの際にはスライス画像間はデータ補間を行う必要があり、筆者らはFig.2に示すような

線形的な補間を採用している。

しかし、この方法では物体形状が斜めの部分では画像があいまいになるため、ヤング率の設定にも大きく影響すると予想される。

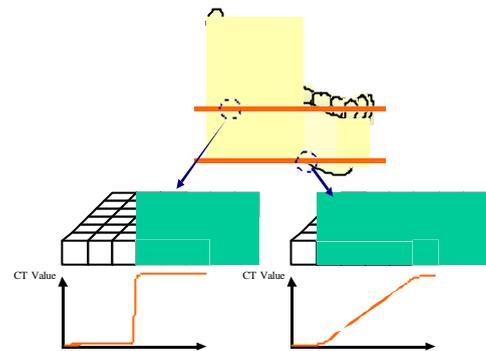


Fig. 1: Partial Volume Effect

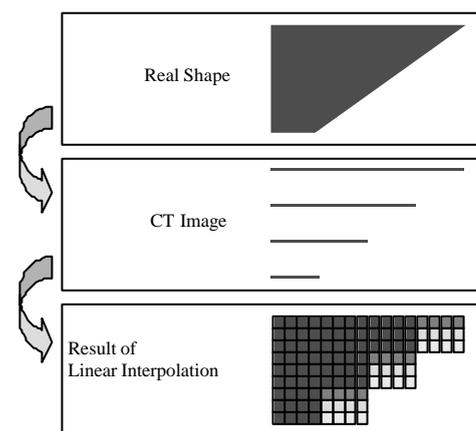


Fig. 2: Linear interpolation

3 実験的検証

以上述べたCT画像に含まれる問題点が力学解析へ与える影響を調べるため、乾燥下顎骨を用いた実験を行なった。ここでは、乾燥下顎骨の左右の下顎頭間を圧縮し、下

顎体に生じるひずみを歪ゲージを用いて測定した。実験装置の概要を Fig.3 に示す。

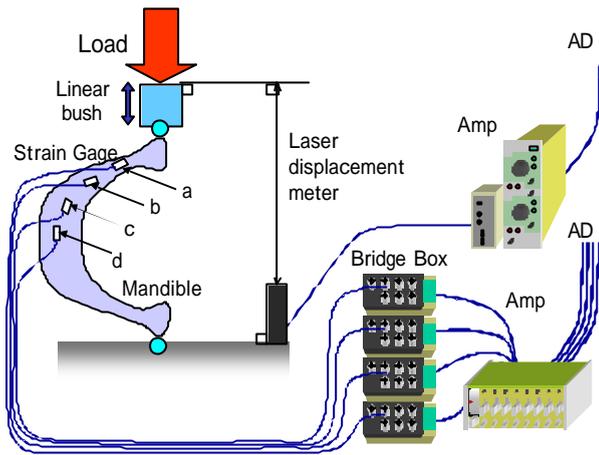


Fig. 3: Overview of test system

次に、実験に用いた乾燥下顎骨を X 線 CT 撮影し、その画像を基に筆者らが提案している手法²⁾に従い有限要素モデルの生成とヤング率の設定を行なった。

下顎骨表面は骨密度の高い緻密骨で被われているので、ヤング率も相応に高い値となっていなければならない。しかし、生成されたモデルの表面は Fig.5 (a) に示すように、緻密骨のヤング率 (16GPa) よりも大幅に低い値が設定されている。

そこで、この問題を解決する便宜的な方法を考案した。すなわち、Fig.4 に示すように CT 値がある値 (CTr) 以上ではヤング率を一律 16GPa とする補正を行なった。この CTr の値は下顎頭間の変位が実験値と等しくなるように選んだ。補正後のヤング率分布を Fig.5 (b) に示す。

このヤング率の違いが力学解析に与える影響を調べるためにそれぞれのモデルについて荷重試験と同様の力学条件を与え、有限要素解析を行なった。実験時に配置した歪ゲージの部位について計測実験と補正前後の有限要素解析から得られた最大主ひずみを Table 1 に示す。

この結果から、下顎枝に近い a 点と b 点での最大主ひずみは本補正手法を用いることによって実験結果と近い値になることがわかる。歯牙に近い c 点と d 点については実験結果の半分程度になっているが、これは、現在の手法では歯牙部分が接合してモデリングされているために変形しにくくなっていることが原因と考えられる。

Table 1: Maximum principle strain

	Maximum principle strain (E0:001)			
	a	b	c	d
Experiment	0.0834	0.0736	0.156	0.198
FEM (a)	0.1967	0.1350	0.203	0.292
FEM (b)	0.1046	0.0875	0.077	0.114

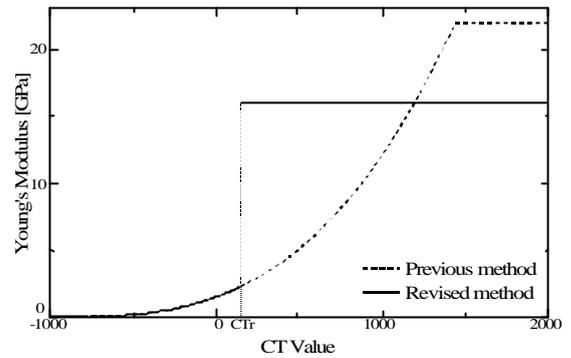


Fig. 4: Relationship between CT value and Young's modulus

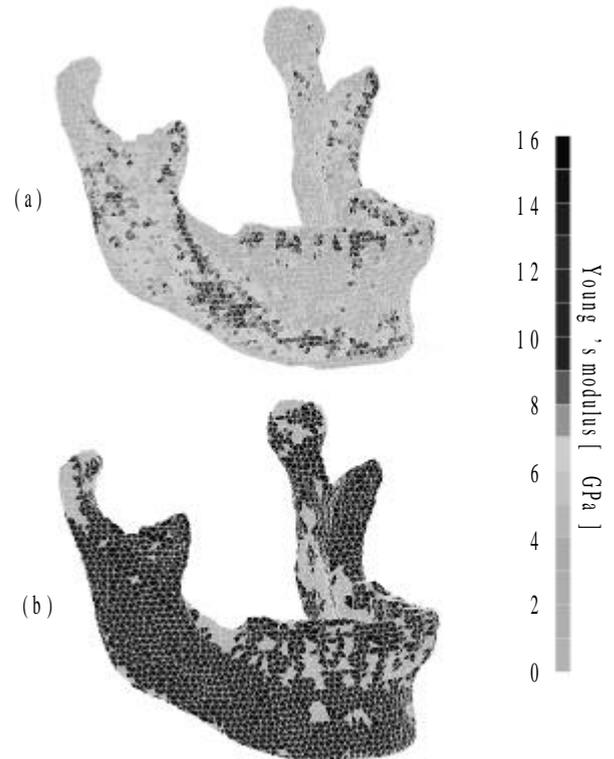


Fig. 5: Distribution of Young's modulus

4 結言

解析モデルの作成時にモデルに与えるヤング率が解析結果に大きく影響を与えることを指摘し、これを補正するための一つの手法を提案し、その有効性を示した。今回はヤング率を一律に変更する便宜的な手法を提案したが、形状を考慮した補正方法についても検討を行なっている。これについては別報で報告したい。

参考文献

- (1) D.R.Carter and W.C.Hayes: Bone Compressive Strength: The Influence of Density and Strain Rate, Science, 194, pp.1174-1976, 1976
- (2) 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