

# X線CT画像に基づく個別別有限要素モデリング (形態を考慮したモデリング手法の評価)

Individual Finite Element Model Based on the X-ray CT Data  
(Evaluation of the Modeling Method based on the Bony Shape and the Bone Density)

上西 雅也 (東工大)      正 小関 道彦 (東工大)  
正 伊能 教夫 (東工大)      榎 宏太郎 (昭和大)

Masaya JONISHI, Michihiko KOSEKI and Norio INOU

Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Koutarou MAKI, Department of Orthodontics, Showa University, Ohta-ku, Tokyo

**Key Words:** Finite Element Method, Stress analysis, X-ray CT, Individual modeling, Automated mesh generation

## 1. 緒言

骨体の力学的特徴を十分に表現している有限要素モデルを非侵襲状態で生成することが可能となれば骨体の診断・治療に役立つと考えており、筆者らはX線CT画像から自動的に有限要素モデルを生成する手法を開発している<sup>1)</sup>。

前報では応力が高くなる傾向がある曲率の高い箇所や骨体が薄い箇所に対してボクセルデータから直接計算可能な「形状因子」の指標を提案し、形状に応じた要素サイズの制御手法を報告した<sup>2)</sup>。

本報ではボクセル手法、従来手法、提案手法を用いてモデリングしたブタ大腿骨の力学解析を行い、本手法の有効性を評価したので報告する。

## 2. 形状に応じたモデリング手法

形状に応じた要素サイズの制御は、筆者らが提案するモデリング手法<sup>1)</sup>における節点配置を行う際に以下の手順で実行する。

注目するボクセルの周辺  $n \times n \times n$  の空間にモデリングを行うべき物体(骨体)が存在するボクセル数  $N_v$  を算出する。

基準値を  $n^3/2$  とし、基準値と  $N_v$  との差を形状因子  $V_f$  とし、次式で算出する。

$$V_f = |n^3/2 - N_v|$$

形状因子  $V_f$  が大きい箇所には節点を密に、 $V_f$  が小さい箇所には節点を疎に配置する。

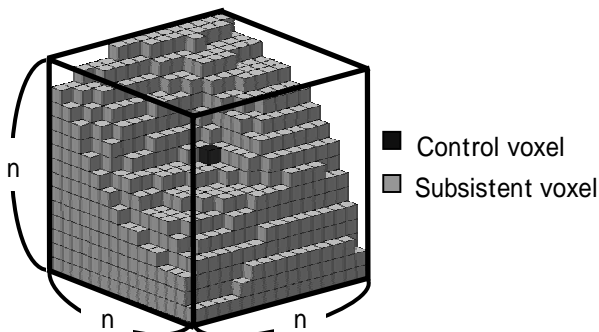


Fig 1 Exemplification of form factor for size control

## 3. モデリング

ブタ大腿骨の緻密骨と海綿骨が同時に存在するマルチスライス画像を用いて3通りのモデリング手法で有限要素モデルを作成した。1つめはボクセルから六面体要素を生成するボクセル手法、2つめは対象物全体をほぼ等しい要素サイズでモデリングする従来手法、3つめは形状に応じて要素サイズを制御する今回の提案手法である。

ボクセル手法によるモデリングでは1ボクセルから1要素を生成した場合、非常に大規模なモデルとなり解析が困難であるため8ボクセルから1要素を生成した。また、従来手法を用いたモデリングでは海綿骨形状を忠実にモデリングできる節点数を設定した。提案手法では最大要素サイズと最小要素サイズの比を8:1に設定した。骨体のヤング率およびポアソン比は一律16[GPa]および0.3とした。

## 4. 力学解析と評価

従来手法および提案手法を用いて生成した四面体モデルはプリポストプロセッサ FEMAP (Structural Dynamics Research Corporation 社) を用いて二次要素に変換し、解析には CAEFEM (Concurrent Analysis Corporation 社) を用いた。

境界条件は図2に示す通り下面を拘束し上面に総計  $0.1[N]$  の一様な面荷重を与えた。

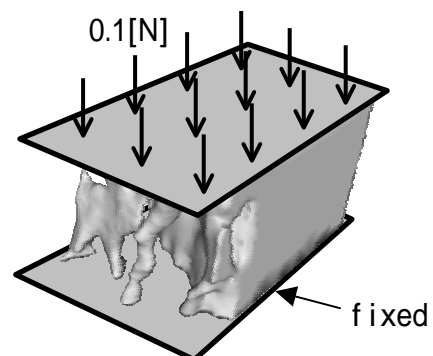


Fig 2 Boundary condition

各モデルにおける節点数，要素数，モデリングに要した時間，力学解析に要した時間，その両者の和である演算時間，解析で得られた最大相当応力を表 1 に示す．なお，モデリングおよび解析には Pentium4 1.9GHz を搭載した計算機を用いた．

Table 1 Comparison among three models

	(a)	(b)	(c)
Number of Nodes	238,675	570,956	67,879
Number of Elements	258,724	416,852	43,776
Modeling Time	50s	3h24m02s	8m06s
Analysis Time	28m11s	31m42s	1m34s
Total Time	29m01s	3h55m44s	9m40s
Max Stress [kPa]	633.3	582.8	679.5

ボクセル手法を用いたモデルは応力が高い傾向にある海綿骨領域において要素が密であるため解析精度が高いと予想される．そこで，ボクセル手法を用いたモデルの応力分布を基準として考察を行う．

従来手法および提案手法を用いたモデルにおける応力分布は基準となるボクセル手法を用いたモデルにおける応力分布と定性的かつ定量的によく一致した．そして提案手法を用いたモデルはボクセル手法や従来手法を用いたモデルと比較して圧倒的に規模が小さく演算時間も数分の一しか要さないため，高速かつ高精度に力学解析を行うことが可能であった．

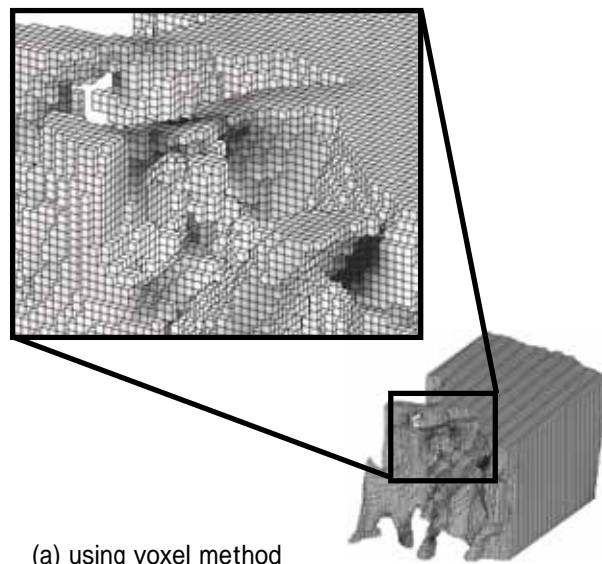
### 5. 結言

ブタ大腿骨の力学解析を行い，本モデリング手法が力学解析に与える影響を評価した．

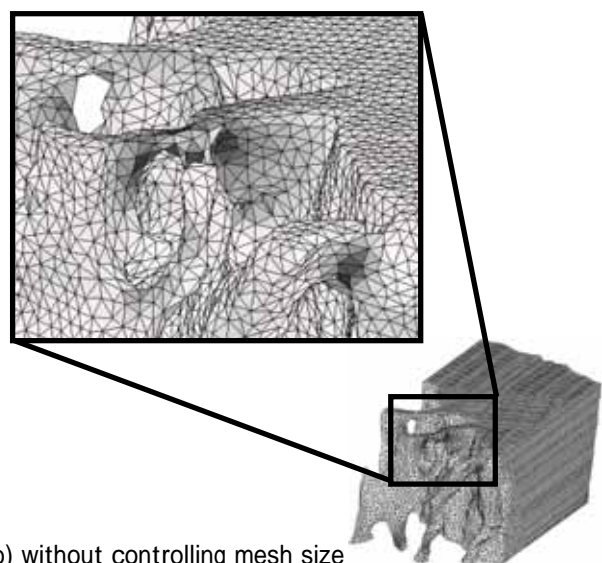
緻密骨および海綿骨を同時に対象とする場合は体積が大きく形状も単純な緻密骨領域を粗に，体積が小さく形状が複雑な海綿骨領域を密にモデリングすることが可能であることを示した．またボクセル手法や従来手法と比較してモデルの規模が圧倒的に小さいにもかかわらず十分な解析結果を得られたため，本モデリング手法を用いることで高速かつ高精度に力学解析を行うことが可能であることを示した．

### 参考文献

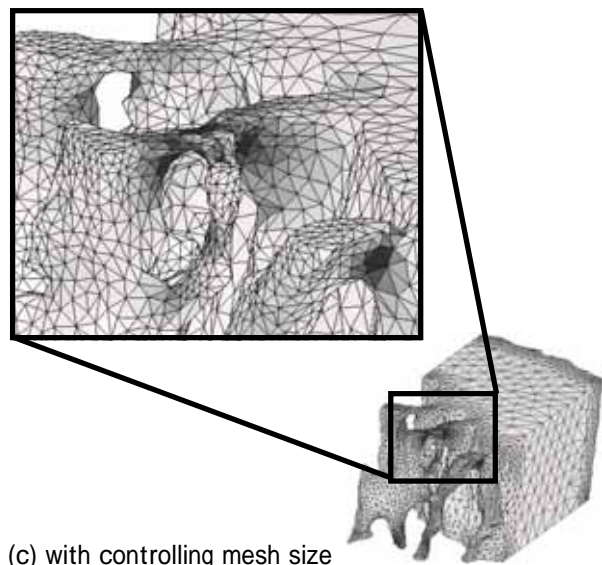
1) 伊能教夫，鈴木知，榎宏太郎，宇治橋貞治：X 線 CT データに基づく骨体の自動モデリング手法(デラウニー分割を利用した有限要素モデルの生成)；日本機械学会論文集 C 編，Vol.68，No.669，pp.1481-1486，2002  
 2) 上西雅也，小関道彦，伊能教夫，榎宏太郎：X 線 CT 画像に基づく個体別有限要素モデリング(骨体の形態を考慮した要素分割手法の考察)；第 15 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集 [No.02-35]，pp.391-392，2003



(a) using voxel method



(b) without controlling mesh size



(c) with controlling mesh size



Fig 3 Finite element models and the stress distributions