

# 個別別モデリング手法による下顎骨の力学シミュレーション

{ 複数の咬合条件による応力解析 {

Mechanical Simulation of the Human Mandible  
under the Several Biting Conditions

正 伊能 教夫 (東工大)      正 小関 道彦 (東工大)  
谷崎 博之 (東工大)      槇 宏太郎 (昭和大)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI, Hiroyuki TANIZAKI:

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

Koutarou MAKI: Showa University

Keywords : Individual modeling, X-ray CT, Finite element model, Stress analysis  
Analytical results synthesizing

## 1 はじめに

骨体に生じる力学状態を探るために CT や MRI から得られる画像データを用いて個別別の有限要素モデルを作成し、応力解析する手法が研究されている。応力解析には、骨体に作用する力学条件を設定する必要がある。これまでの研究では、一種類の力学状態を設定して解析を行う場合が多かった。生体内の骨体に働く筋力を的確に設定することは難しい作業であるが、可能性のありそうな力学状態を複数設定し、これらの結果を総合することによって骨形態に関する新たな力学的解釈が可能になると考えられる。筆者らは、下顎骨を対象として、これまで両側かみしめの応力解析を行ってきた。今回は、片側噛みしめの咬合条件を追加設定して、総合的な咬合状態の評価を試みたので報告する。

## 2 応力解析の手順と結果

下顎骨の応力解析は次の 5 つのステップで行っている。

ステップ 1: CT 画像から骨体の画像領域の抽出

ステップ 2: 個別別有限要素モデルの作成

ステップ 3: CT 値を基に骨体の物性の設定

ステップ 4: 骨体に働く筋力と境界条件の設定

ステップ 5: 応力解析と評価

ここで、ステップ 2 では、次の 4 つのプロセスにより有限要素モデルを自動生成している<sup>(1)</sup>。

- ・CT 画像から骨体のボクセルスペースを作成する。
- ・ボクセルスペースに節点群を配置する。
- ・節点群から有限要素を生成する。
- ・骨体の領域外の不要な要素を取り除く。

ステップ 3 では、CT 画像データから CT 値を基に骨体の物性の設定を行う。ここでは、CT 値に対して Fig. 1 に示すようなヤング率を設定した。すなわち、海綿骨に相当する CT 値の小さい部分では 3 乗則を適用し、緻密骨に相当する部分では 16GPa になるように設定した。緻密骨を一定値にした理由は、断層間で形状が大きく変化する部分ではヤング率の値が適切に設定されないおそれ

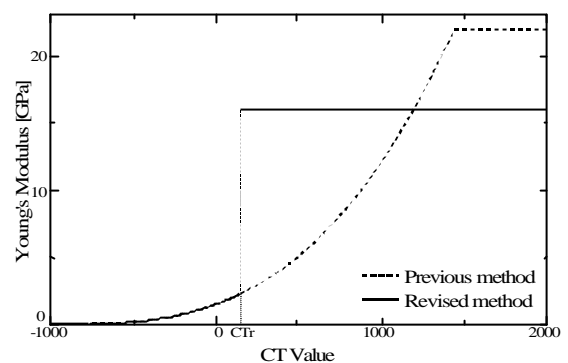


Fig. 1: Profile of Young's modulus for CT values

があるためである<sup>(2)</sup>。

ステップ 4 は、骨体に働く筋力と境界条件の設定である。筋力は、咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋、側頭筋の 4 種類の筋肉からの作用を考えた。筋力の方向は CT 画像の 3 次元再構築像から割り出し、筋力は断面積に比例すると仮定した。また、歯列に生じる力は感圧シートから算出した。

境界条件は、下顎頭の部分にモーメントが生じないように左右の下顎頭に回転自由の拘束点を設定している。また、関節頭は両関節頭を結んだ関節軸方向に移動可能とした。さらにモデル全体が関節軸周りに回転しないように切歯部の一点に Z 方向の拘束を与えた (Fig. 2 参照)。

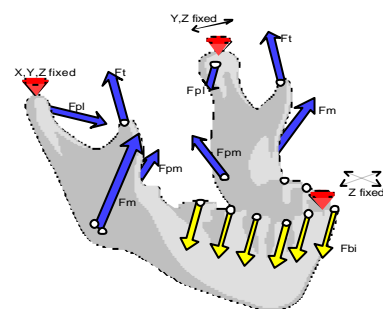


Fig. 2: Supporting system of mandible for stress analysis

また、拘束を与えた下顎頭の一節点に応力が集中するのをさけるため、下顎頭に加わる反力を計算して求め、近接の節点に分散荷重として与えている。以上の条件下で関節軸周りのモーメントが咬合力によるモーメントと釣り合うように設定した。

ステップ5の応力解析は、両側噛みしめの他に片側噛みしめの咬合条件で行った。Fig. 3 に両側および右側噛みしめの筋力と歯列に加わる反力を示す。今回解析に用いた下顎骨はほぼ左右対称のため、左側噛みしめの咬合条件は右側噛みしめの条件と対称的に設定した。これらの咬合条件で計算された相当応力分布を Fig. 4 に示す。それぞれの咬合条件下で応力の高い箇所が異なることがわかる。

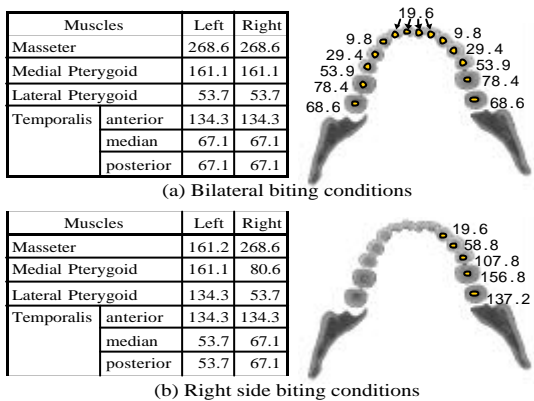


Fig. 3: Bilateral and right side biting conditions

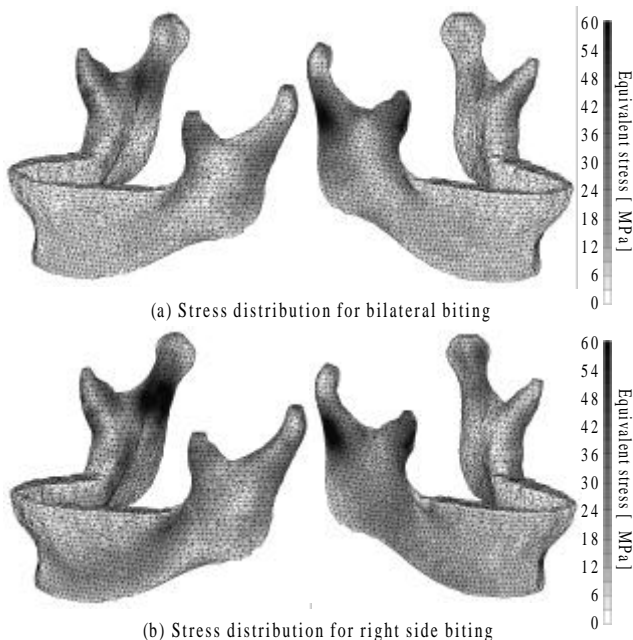


Fig. 4: Stress distributions for bilateral and right side biting conditions

そこで、3組の咬合条件下の応力値を節点毎に比較し、値の大きい方を選択して応力分布を作成してみた。結果

を Fig. 5 に示す。単独の咬合条件の場合よりも広い範囲で骨体に応力が発生している分布となった。

この合成した応力分布と被験者の骨密度分布を比較してみると (Fig. 6 参照)、両側噛みしめの解析結果よりも高い相関関係が見られる。生体内の骨体が種々の外力を受けていることを考えれば、この結果は妥当であり、骨体は種々の荷重条件に対して頑健な構造形態になっていることが示唆される。

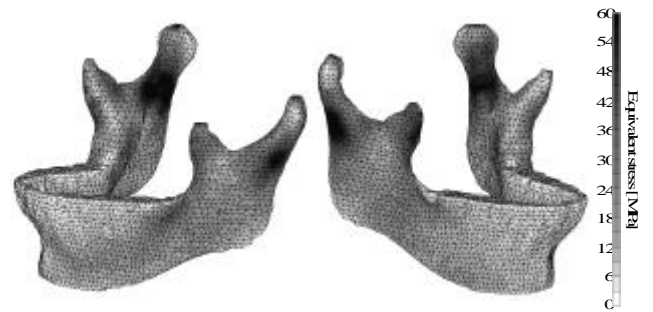


Fig. 5: Synthesized stress distribution for three kinds of biting conditions

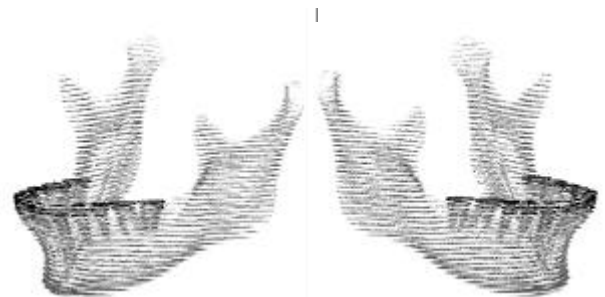


Fig. 6: Bone density distribution

### 3 結言

下顎骨を対象として、複数の咬合状態を設定し応力解析を行い、これらの応力分布を総合する評価法を試みた。下顎骨では様々な咬合状態が考えられ、それらを的確な境界条件として解析モデルに与える方法について今後吟味する必要があるが、この評価法によって骨体の力学的特徴を新たな視点で考察できると考えられる。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 B (11558105) の補助を得て遂行している。

### 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
- (2) 伊能, 小関, 岩崎, 横: X線 CT 画像に基づく個別有限要素モデリング (骨体のヤング率の算出), 平成 13 年度材料力学部門講演会講演論文集 (No.01-16), pp.39-40, 2001