

セル・オートマトン手法による下顎骨形状の考察

Study of Mandibular Shape by a Cellular Automaton Method

加藤 一郎 (東工大) 正 伊能 教夫 (東工大)
正 小関 道彦 (東工大) 榎 宏太郎 (昭和大)

Ichiro KATO, Norio INOU and Michihiko KOSEKI
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo
Koutarou MAKI, Department of Orthodontics, Showa University, Ohta-ku, Tokyo

Key Words: Cellular Automaton, Structural Formation, Mandible, Shape of Bone, Mastication

1. 緒言

顎骨は動物の種によって形状が異なり、咀嚼の仕方も異なっている。咀嚼時には種々の外力が顎骨に働くので、顎骨は構造力学的に合理的な形をしていると考えられる。この考察は、顎骨の有限要素モデルを作成し、それに咬合条件を与えて力学状態を調べる方法で行われているが、骨に加わる咬合条件がどの程度形を決定づけているのかという観点からの研究例はほとんどない。そこで筆者らは、セル・オートマトン法による構造生成シミュレーションにより、この問題を考察した。

2. 構造物生成アルゴリズム

本稿で用いた構造物生成手法⁽¹⁾の概要を以下に示す。素原形および力学条件を設定。

有限要素解析により各要素に発生する応力を計算。

で得られた応力値により各要素のヤング率を変更。(この際、特にヤング率が低い部位については消去し、応力が高くなった部位はセルを新たに付加する。)

に戻る。

図1は上記の手法を適用した計算例であり、得られた構造はヤング率、応力値共にほぼ均一になっている。

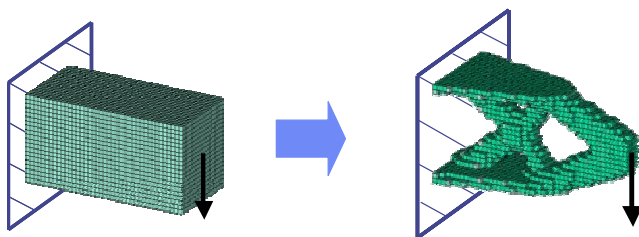


Fig 1: Example of Simulation

3. ラット下顎骨の構造生成シミュレーション

前述の構造物生成アルゴリズムを用い、ラットの咬合条件を設定し、シミュレーションを行った。初期形状は図2に示される直方体とした。咀嚼筋の荷重および歯牙荷重の値は文献及び解剖による観察から推定し、咬合状態として前歯噛み締めによる力学状態、両奥歯噛み締めによる力学状態、右奥歯噛み締めによる力学状態、左奥歯噛み締めによる力学状態の4つを想定した。から の力

学状態を図3.1から3.3に示す(は の左右を逆にした力学状態なので図は省略する)。

構造生成シミュレーションは各力学状態について応力解析を行い、各要素について4つの力学状態の中で最も高い応力値をその要素の参照すべき応力値として行った。図4はその計算結果である。

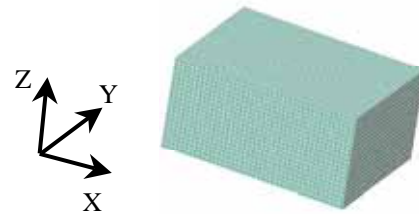


Fig 2: Initial Structure

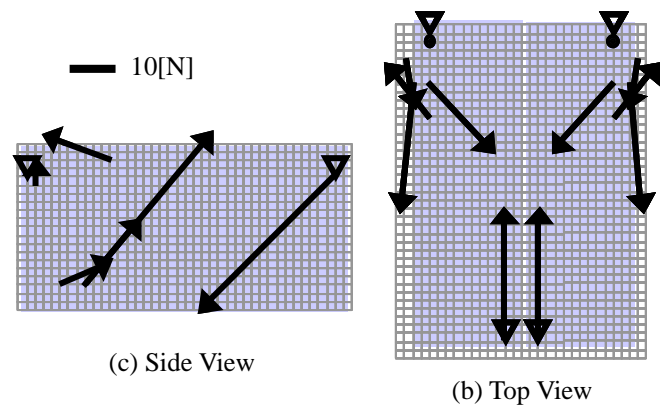


Fig 3.1: Mechanical Condition of Frontal Biting

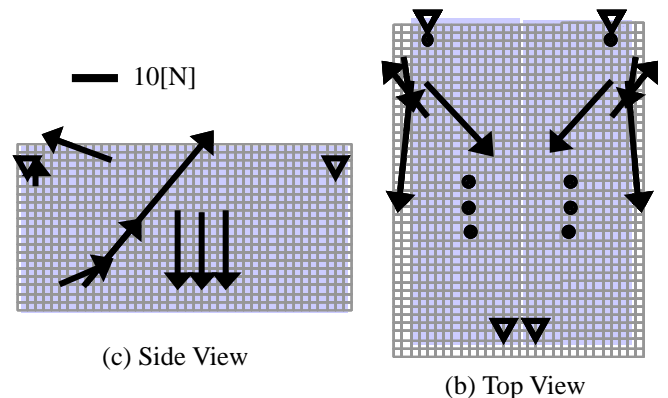


Fig 3.2: Mechanical Condition of Bilateral Biting

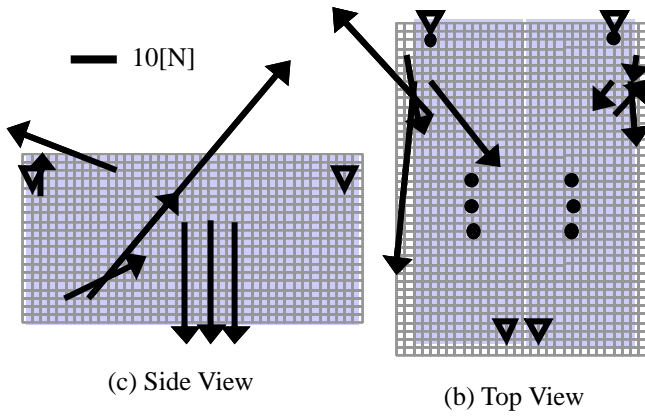


Fig 3.3: Mechanical Condition of Unilateral Biting

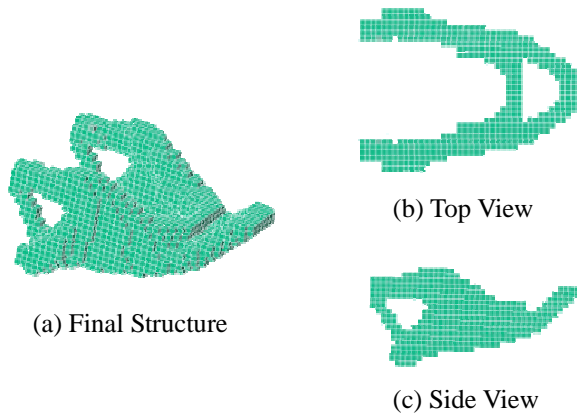


Fig 4: Simulation Result for Rat Mandible

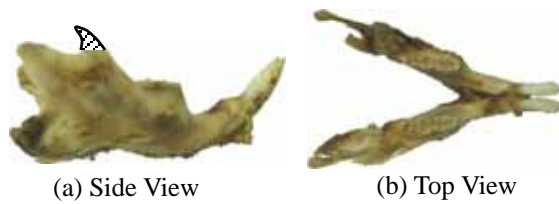


Fig 5: Real Shape of Rat Mandible

図4とラット下顎骨の実形状である図5を比較すると、全体的によく似た形状が生成されていることが分かる。このことから、咬合状態が形を決定している大きな要因であることが確かめられた。ただし、実形状と異なる点も多く見受けられる。特にラット下顎骨は前歯部で二つに分かれているが、図4を見ると歯牙部で橋梁構造が生成されている。これは、実際の顎骨では左右の骨体が独立して下顎頭におけるX、Y、Z軸周りのモーメントが釣り合うような咬合条件になっているためと考えられる。これに対し推定した咬合条件はこの事を考慮していない。そこで、設定した条件にできるだけ近い状態でモーメントが釣り合っている条件を探すために最大勾配法による筋力調整を行った。具体的には、評価関数 E を式(1)のように設定し、式(2)より各筋力の値 FX_i 、 FY_i 、 FZ_i を更新し、 $-E < 10^{-20}$ を満たすまで計算を行った。なお、 M_x 、 M_y 、 M_z は下顎頭におけるX、Y、Z軸まわりのモーメントを表している。表1は前歯噛み締め条件におけるモーメント調整前後の各荷重の値である。表1を見ると、荷重量を大きく変化させずにモーメント調整を実現していることが分かる。

$$E = -(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} FX_i^{j+1} &= FX_i^j - \lambda \frac{\partial(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)}{\partial(FX_i)} \\ FY_i^{j+1} &= FY_i^j - \lambda \frac{\partial(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)}{\partial(FY_i)} \\ FZ_i^{j+1} &= FZ_i^j - \lambda \frac{\partial(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)}{\partial(FZ_i)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Table 1: Estimated Force before and after Adjustment

	Force(before) [N]	Force(after) [N]
Masseter(superficial)	13.5	13.4
Masseter(deep)	44.9	43.4
M . Pterygoid	22.4	23.9
L . Pterygoid	6.73	6.71
Temporalis	22.4	24.0
Front Tooth	42.4	41.0

図6は調整後の力学条件を設定した計算結果である。橋梁構造は生成されず、より実際の形状に近い構造物になっている。つまり、モーメント調整を行うことによって適切な力学条件によるシミュレーションを実行できたと言える。

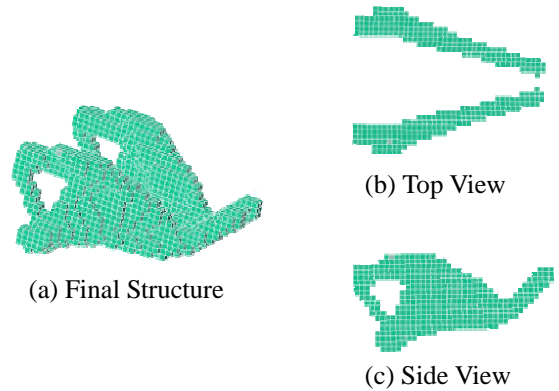


Fig 6: Simulation Result after Moment Adjustment

4. 結言

ラットを対象として下顎骨の力学条件を設定した構造生成シミュレーションを行い、咬合条件が顎骨の形を決定づけている強い要因であることを示した。また、最大勾配法を用いたモーメント調整で適切と考えられる力学条件を探索可能なことを示した。

謝辞

筋力推定を行うにあたり、有益な情報を提供して頂いた昭和大学歯学部助手の中納治久氏に感謝致します。

参考文献

(1)伊能・ほか 2 名; 力学構造物を自己組織化するセル・オートマトン(ローカルルールによって生じるシステム全体の挙動), 機論 A, 61-586, (1995), 1416-1422