

筋肉を付着させた顎骨モデルの有限要素法解析
Finite Element Analysis of the jawbone model attached muscles

○小田垣政之*, 冨塚謙一*, 秋山孝夫*, 林峰*, 宇野貴紀*, 辻村雄希*, 深作達也*
○Masayuki Odagaki*, Kenichi Tomitsuka*, Takao Akiyama*, Takane Hayashi*
Takanori Uno*, Yuki Tsujimura*, Tatsuya Fukasaku*

*山形大学

* Yamagata University

キーワード: 咀嚼筋(muscle of mastication) 顎骨(Jawbone) 咬合(occlusion)
有限要素法解析(Finite element analysis)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16

山形大学 大学院 理工学研究科 機械システム工学専攻 秋山研究室

小田垣政之, Tel:(0238)26-3247, E-mail:tcm48085@st.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

近年, 顎関節症の患者数が増加傾向にあるとされている。顎関節症は, 顎関節や咀嚼筋の疼痛, 関節雑音, 開口障害または顎運動異常を主要症候とする慢性疾患である。そこで, 健康的な人の咀嚼時に顎の骨と関節や歯にどのような応力が働くかをみることにより, 疾患発症のメカニズム解明の一助とすることができればより健康的な生活, また長寿命社会において有意義なものとなると考えた。

われわれの研究室では, CT 画像から下顎骨・上顎骨モデルを作成し, それぞれで解析を行ってきた。本研究では, MRI 画像から咀嚼筋を作成し, 上

下顎骨及び咀嚼筋を組み合わせる。完成したモデルで応力解析を行うことで, 顎骨及び下顎頭に与える力学的影響について検討することを目的としている。

2. 研究方法

2.1 顎骨モデルの作成

顎骨モデルを作成するために, 正常咬合を有する健康な成人男性 22 歳ボランティアの頭部単純 X 線 CT 画像を 2.0mm 間隔で撮影した 116 枚, MRI 画像を 1.0mm 間隔で撮影した 234 枚を用いた。基準面は, 咬合平面である。

1) 座標抽出

CT 画像から骨面座標，MRI 画像から筋肉座標を得るために、「フリーソフト GIMP2」を用いて下顎骨，上顎骨，歯，筋肉の輪郭座標を抽出した．座標抽出例を Fig.1 に示す．

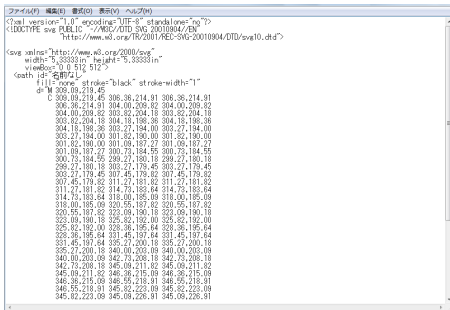
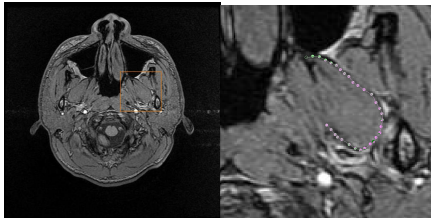


Fig.1 「GIMP2」座標抽出例

2) 三次元モデル作成

得られた座標を用いて，三次元設計ツール「Solid Works®」(ソリッドワークス・ジャパン株式会社)で各モデルを作成した．

まず，抽出した座標からスプライン曲線の作成を行い，それらスプライン曲線の上下を結合させることでソリッドモデルを作成した．この作業を繰り返し，モデルを組み合わせることで顎骨モデル及び筋肉モデルを作成した．

2.2 使用箇所

今研究では咬合時を考慮しているため，上下顎骨並びに咀嚼筋(咬筋，側頭筋，内側翼突筋)を使用した．作成したモデルを Fig.2-Fig.5 に示す．

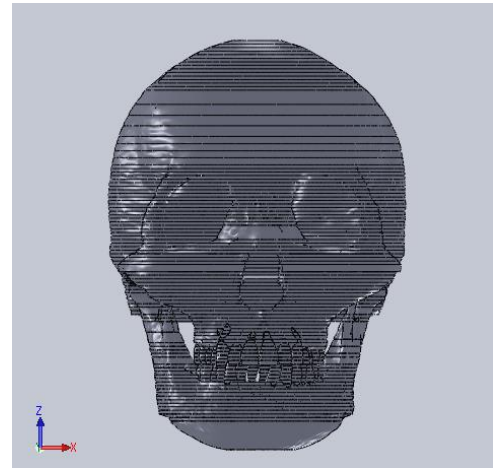


Fig.2 頭蓋骨モデル

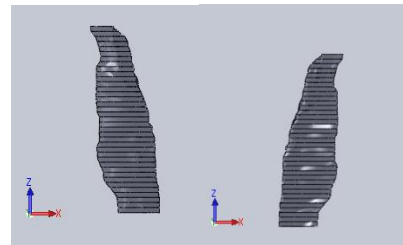


Fig.3 咬筋(左・右)モデル

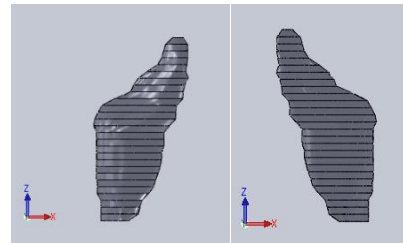


Fig.4 内側翼突筋(左・右)モデル

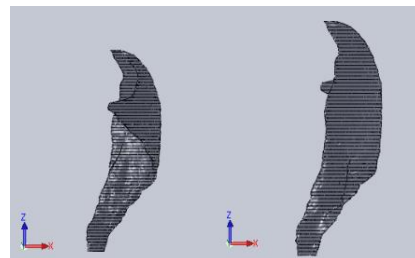


Fig.5 側頭筋(左・右)モデル

3. 境界条件及び解析条件

解析には、Solid Works Simulation を用いた。

3.1 境界条件

筋肉の付着箇所を Fig.6, Fig.7, Fig.8 に示す⁽¹⁾⁽²⁾。上下の歯の接触面を XY 座標平面と平行な面内で固定し、下顎頭を完全固定した。

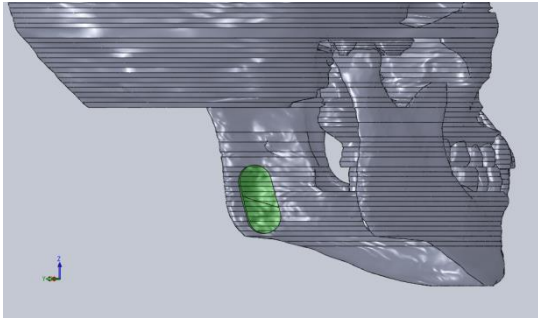


Fig.6 内側翼突筋付着部

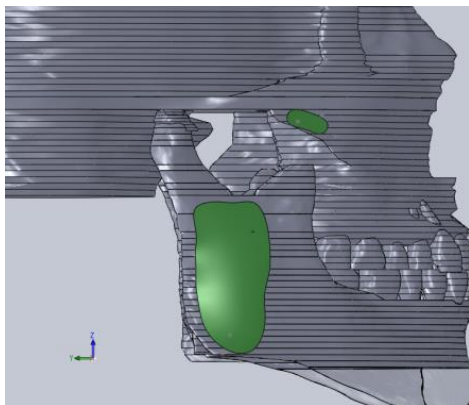


Fig.7 咬筋付着部

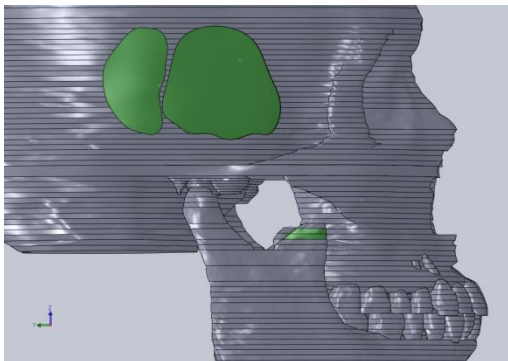


Fig.8 側頭筋付着部

3.2 解析条件

解析に使用した材料定数を Table1 に示す⁽³⁾。また、各咀嚼筋の応力の大きさ及び筋の方向を Table2 に示す⁽⁴⁾。また、Table3 にメッシュ情報を示す。

Table1 材料定数

Material	Young's modulus[MP]	Poisson's ratio
緻密骨	14000	0.3
海綿骨	8750	0.25
歯	130340	0.3
咀嚼筋	500	0.49

Table2 各咀嚼筋の応力及び筋の方向

Masticatory muscle	Force [N]	Direction
咬筋	49	$M_1: \mp 0.077i \mp 0.512j \pm 0.857k$ $M_2: \pm 0.150i \mp 0.523j \pm 0.841k$
側頭筋	68.6	$T_1: \mp 0.330i \pm 0.538j \pm 0.778k$ $T_2: \mp 0.157i \pm 0.308j \pm 0.940k$ $T_3: \pm 0.323i \pm 0.548j \pm 0.774k$ $T_4: \pm 0.149i \pm 0.311j \pm 0.940k$
内側翼突筋	34.3	$P_{m1}: \pm 0.366i \mp 0.343j \pm 0.867k$ $P_{m2}: \mp 0.248i \mp 0.368j \pm 0.897k$

Table3 メッシュ情報

メッシュタイプ:	固体メッシュ
使用メッシュ:	標準メッシュ
ヤコビアンチェック:	4 Points
要素サイズ:	2 mm
許容誤差:	0.1 mm
品質:	1 次オーダー要素
要素数:	846733
節点数:	178510

4. 結果及び考察

4.1 結果

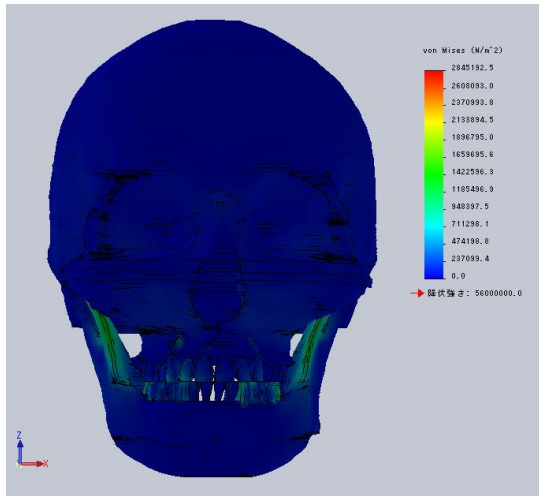


Fig.9 FEM 解析正面

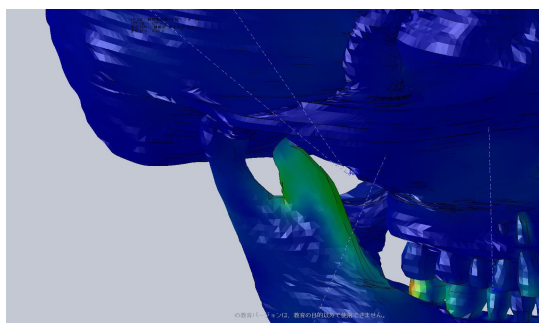


Fig.10 筋突起拡大図

FEM 解析後の図を Fig.9, Fig.10 に示す。Fig.11 のように下顎の歯に記号をつけ、Table4 に下顎の歯にかかる力の大きさを示し、Fig.12 に Table4 のグラフを示す。

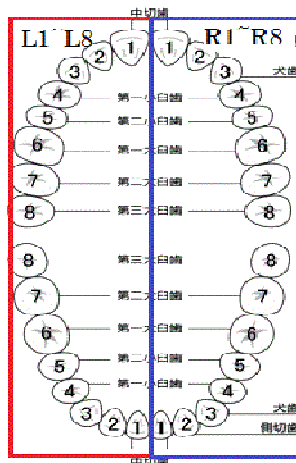


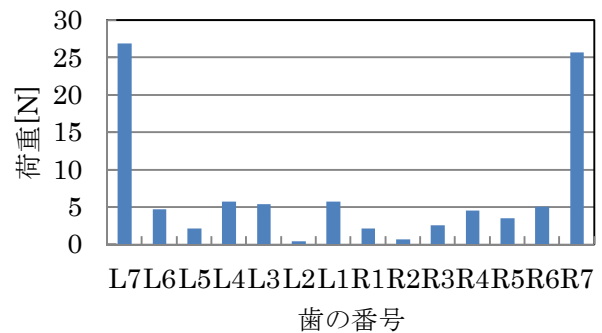
Fig.11 永久歯の簡略図

Table4 歯に働く力の結果

歯の番号	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1
力[N]	26.9	4.77	2.16	5.78	5.46	0.45	5.74

歯の番号	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
力[N]	2.22	0.69	2.62	4.59	3.57	5.06	25.7

Fig.12 歯に働く力



4.2 考察

Fig.9 から筋突起と奥歯に応力集中が発生していることがわかる。筋突起には筋突起骨折が起こる可能性があることが臨床的に分かっている⁶⁾。また、Table4 から第三大臼歯に集中的に応力が分布していることがわかる。臨床的に歯にかかる力は大臼歯が大きいことが分かっている⁶⁾。よってこのモデルは正常な咬合時の応力解析として使用できるといえる。

5. 結言

本研究では、正常な咬合時の応力解析を顎骨及び筋肉モデルを使用し行った。その結果、実際に疾患が起こりうる箇所の応力分布を確認することができた。今後は不正咬合時を考慮し、条件を付けた応力解析による比較をしていきたいと考えている。

6. 参考文献

- (1) 多田信平,尾尻博也,酒井修,頭頸部の CT・MRI, 2012, pp290-310
- (2) 木村勝子,島原政司,有吉靖則,顎口腔領域における MRI, 2010, pp2-52
- (3) Hiroyuki Abe, Kozaburo Hayashi, Masaaki Sato , Date Book on Mechanical Properties of Living Cells, Tissues, and Organs, 1996, pp115-192
- (4) 伊能教夫, 藤原宏, 梅谷陽二, 顎骨の生物工学的研究力学モデルの構成と応力解析, バイオメカニズム学会誌, 1988, pp185-191
- (5) 泉廣次ほか: 顎骨の外傷 (顎骨骨折). 口腔外科学 第 3-版 上, 学建書院, 東京, 2003, pp142-157
- (6) 山根雅之ほか: 歯の外傷の臨床的検討. 日口外誌 1995, pp726-728