

# 口腔インプラントの力学挙動の有限要素解析

東北大学  
東北大学  
東北大学

学生会員 ○青木尚也  
正会員 池田清宏  
非会員 田村崇

## 1. 研究背景と目的

近年、事故や加齢により歯列欠損してしまった患者に対して、人工歯根（インプラント）を埋め込み、治療を行うという症例が増加の傾向にあり、良好な臨床経過が報告されている。しかし、この手術方法は歯科医師の経験に頼っているのが現状である。この現状を改善すべく様々な研究がされているが、図-1左のような局所・簡易モデルが主流であり<sup>1)</sup>、また顎全体モデルに関しても図-1右のような簡易モデル<sup>2)</sup>での解析が主流である。そのため、インプラント周辺部における応力発生機構の解明が課題となっている。

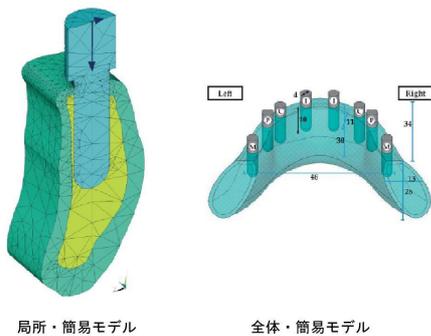


図-1 局所・簡易モデル，全体・簡易モデル<sup>1),2)</sup>

そこで、本研究では、東北大学大学院歯学研究科口腔システム補綴学分野との共同研究として、実際の患者のCTデータを基に顎骨モデルを製作し、同一被験者から測定されたインプラント支台の生体内実測荷重をモデル入力荷重として入力し、そのモデルの有限要素解析を行った。その際、顎骨内応力動態に影響を及ぼすとされる支台インプラントの本数やインプラントの直径の大きさが顎骨内応力分布様相にどのような影響を及ぼすかに注目した。

## 2. モデルの作成，解析方法

解析に用いる顎モデル（図-2左）は、東北大学歯学部との共同研究により<sup>3)</sup>、実際の被験者のCTデータを基に作成されたものである<sup>4)</sup>。材料特性が異なる顎骨内

の外側の硬い皮質骨と内側の柔らかい海綿骨もこのモデルでは明確に識別されている。

この顎モデルデータに汎用有限要素解析ソフトプリプロセッサ（PATRAN, MSC Software 日本）上においてインプラントを形状化し挿入することにより（図-2右）、インプラントを有する顎モデルを作成する。このように作成された顎モデルを四面体二次要素（Tet10）によりメッシュングし、線形弾性解析を行った。

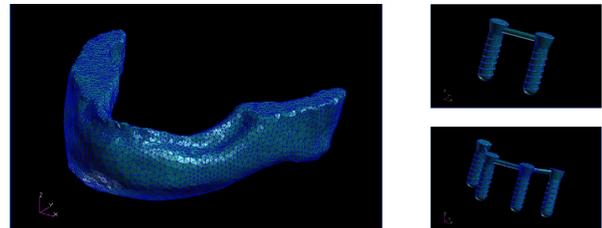


図-2 顎モデルとインプラント

東北大学歯学部で被験者から実際に測定された生体内実測荷重を解析に用いるモデル入力荷重とした。また、皮質骨および海綿骨は等方・均質とし、ヤング率、ポアソン比はそれぞれインプラント（チタン）は106330MPa, 0.34, 皮質骨は14400MPa, 0.34, 海綿骨は480MPa, 0.225とした<sup>4)</sup>。解析入力荷重は、インプラント上面に対して点荷重で載荷した。また境界条件は、顎骨モデル最上面の下顎枝後方の小領域を3自由度全て完全拘束する。

## 3. 簡易モデル

インプラントの太さが周辺応力分布に与える影響を調べるため、図-3のように1辺30mmの立方体の中に1辺20mmの立方体を重ね合わせた簡易モデルを作成した。この重ね合わせた立方体は歯の皮質骨と海綿骨とする。この立方体に長さ13.0mmの円柱を埋め込む。円柱の直径は、2.0mm, 2.5mm, 3.0mm, 3.5mm, 4.0mm, 5.0mmの計6パターンで行った。

このように作成した簡易モデルのFEM解析を行い、von Mises 応力について検証した結果をコンター図-4に示し、またインプラント周辺部の von Mises 応力の平均値とインプラント直径の関係性を平均応力曲線として図-4に示す。コンター図の赤い部分が応力集中域である。ただし、平均応力の算定の際のサンプリング領域は文献<sup>3)</sup>

Keywords: 口腔インプラント, 有限要素解析, 生体内実測荷重, X線CT

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

Phone: 022-795-7420; FAX: 022-795-7418

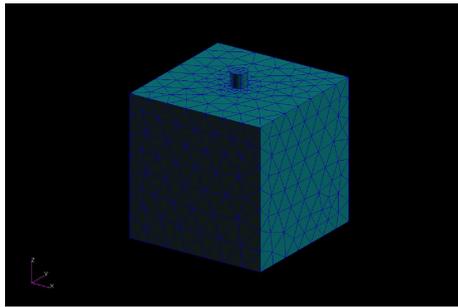


図-3 簡易モデル図

に従い定義した。

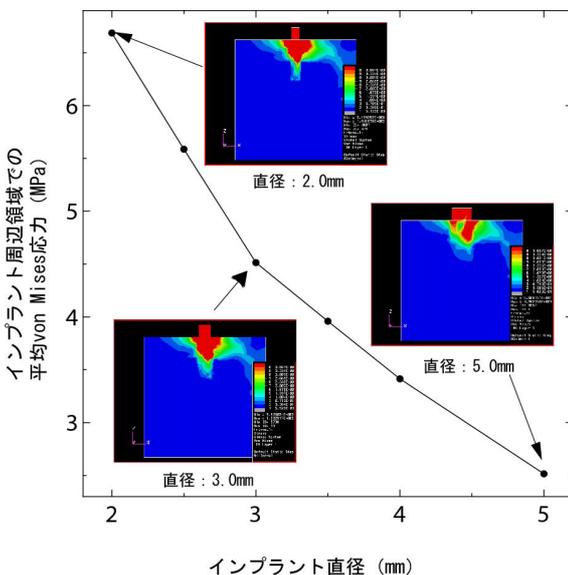


図-4 簡易モデルにおける解析結果

図 - 4 のコンター図，平均応力曲線から，インプラント直径を大きくするに伴い，応力集中が緩和されていくことがわかる．特に，インプラント埋め込み部の根元付近での応力緩和が著しい．また，この時の平均応力は約 63.2%緩和されている．このように，インプラント直径は応力に大きな影響を与えている．

#### 4. 顎骨モデル

第 3 章で検証した簡易モデルでのインプラントの太さの影響について，実際の顎骨モデルではインプラントの太さがどのような影響を与えるかを検証する．ここで，2 本支台と 4 本支台の解析結果を図 - 5 に示した．ただし，コンター図は 4 本支台のものは 2 本支台のものと類似するので省略した．

実際の顎骨モデルでも第 3 章と同様に，直径を大きくすると図 - 5 のコンター図，平均応力曲線から応力集中

が緩和されていることが示せた．簡易モデルと同様に，インプラント埋め込み部の根元付近での応力緩和が見られた．また，顎骨モデルでの平均応力は 2 本支台のモデルでは約 34.0%，4 本支台のモデルでは約 35.9%緩和されている．この結果から，インプラント直径の増加が応力緩和に寄与することが示せた．また，4 本支台の方が平均応力ははるかに小さく，その優秀性が示せた．

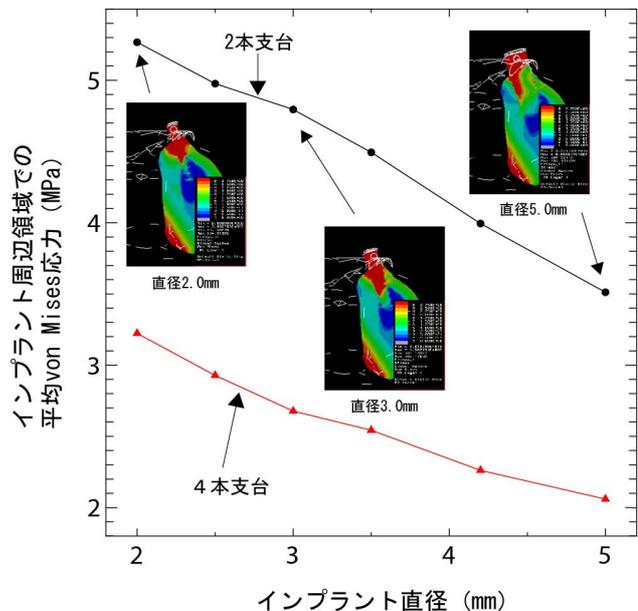


図-5 顎骨モデルにおける解析結果

#### 5. 結論

本研究における解析結果は，インプラント直径を大きくすることによりインプラント周辺の応力は軽減することが出来るという歯学における知見と整合しており，この知見を定量化出来たことが本研究の成果である．今後の課題として，皮質骨と海綿骨の内部の骨密度の厳密性，またインプラントの長さが顎骨内応力分布様相にどの程度影響を与えるかを検証することが挙げられる．

#### 参考文献

- 1) Cynthia S. Petrie, John L. Williams: Comparative evaluation of implant designs: influence of diameter, length, and, taper on strains in the alveolar crest—A three-dimensional finite-element analysis *Clin. Oral Impl Res.* 16, 2005/486-494.
- 2) S. Yokoyama, N. Wakabayashi, M. Shiota, T. Ohyama: Stress Analysis in Edentulous Mandibular Bone Supporting Implant-Retained 1-piece or Multiple Superstructures. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, Volume 20, Number 4, 2005.
- 3) 田村 崇: インプラント義歯の有限要素解析システムの構築と力学挙動の解明，東北大学大学院工学研究科平成 19 年度，修士学位論文，2008．
- 4) 重光 竜二: 三次元有限要素法を用いたインプラントオーバーデンチャーにおける顎骨内応力動態の解析，東北大学大学院歯学研究科平成 19 年度，博士学位論文，2008．