

## 歯科矯正器具の違いによる歯および歯周組織の応力解析

日大生産工 (院) ○川合庸介  
日大・歯学 中嶋 昭

日大生産工 西 恭一  
日大生産工 星野和義

日大生産工 村田 守  
日大生産工 坂井卓爾

### 1. 緒言

歯の矯正治療は審美性を改善し、咬合力を向上させ、歯周組織の健康維持し、歯の位置を安定させるために行われる。治療では様々な矯正装置から歯に矯正力を加えることにより、歯周組織に反応が生じ、その結果、歯の移動がおこる。その際、歯をよび歯周組織の部分には、移動しようとする歯から受ける力が生じているが、実際に口腔内にどのように応力が分布しているかを三次元的に把握することは非常に困難なことである。また、複数の矯正装置の併用による力学的複雑化、歯列形態の相違により矯正装置から生じる作用反作用の分布の変化、摩擦力等の原因により治療効果を予測することはさらに難しい問題である。当研究室では、口腔内に近い条件を再現し、歯の移動時に発生する歯周部の応力分布を三次元的に考察・把握するための歯根膜(PDL:periodontal ligament)、歯槽骨を含めた有限要素解析モデルを作成し、モデルの線形解析、非線形解析を行い、歯の解析に対する研究を進めている<sup>1)</sup>。

本報告では、矯正器具であるブラケット(金属線を連結するための止め金具)の有無による歯周組織の解析をし、応力分布の比較を報告する。

### 2. モデルの作製

本研究で対象とした犬歯は、寿命が長く、咬合の際に大きな荷重負荷に耐えられる歯であり、矯正治療においても移動を行う際重要な歯である。歯は、顎骨(歯槽骨)の歯槽という穴に埋まっており、歯槽のその形が歯根の形に相当しているが、厳密ではない。したがって、歯槽の内壁と歯根の表面との間にはわずかな隙間があり、ここに歯根膜が存在している。歯根膜は非常に薄く、0.15～0.38[mm]の厚さを持った軟部で、歯を歯槽に結合する役割をしている。また、ブラケットは歯に直接接着され、歯の移動を行う際重要な矯正装置の一部であり、実際の矯正治療を再現するに当たり重要な要素となっている。

したがって解析モデルは、歯(Tooth)、歯根膜(PDL)、歯槽骨(Bone)、ブラケット(Bracket)のモデルを作製する。

#### 2. 1 モデル

歯科用CTによるポイントデータ(日本大学歯学部提供)を基に構築した犬歯モデルにブラケットを付属した有限要素モデルを示す(Fig.1)。本モデルは抜歯状態の犬歯を歯科用CTで取り込み、そこで得られたポイントデータを基に汎用可視化ソフトウェア IRIS Explorer で歯の表面を作製し、汎用有限要素法解析ソフトウェア Ansys で取り扱うためにデータ変換を行い、Ansys で犬歯の表面を表している。この歯の適当な位置に歯頸線を仮定し、この線より下の歯根部を歯根膜の平均厚さ<sup>2)</sup>(0.2[mm])だけ太らせ、さらにその外側の適当な範囲に歯槽骨部を作製する。なお、治療で一般的に用いられているブラケットを採寸し、有限要素モデルの作製をする。

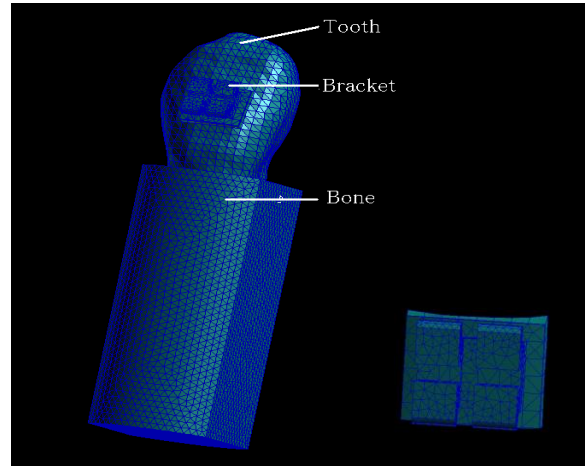


Fig. 1 Surface models

#### 2. 2 材料特性

Table 1 は解析に用いる各部の材料特性を示す。ブラケットの材質には、ステンレス鋼(SUS304)やプラスチック、セラミック等の様々な材質があるが、本研究では最も一般的に用いられる SUS304 の材料特性を用いる。

Table 1 Material data of Models

Model	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio
Tooth	19600	0.3
PDL	0.45	0.49
Bone	13700	0.3
Bracket	197000	0.3

#### 2. 3 非線形解析

歯根膜の材料の非線形性を考慮するために、応力-ひずみ曲線を Fig.2 のように折線で近似する。

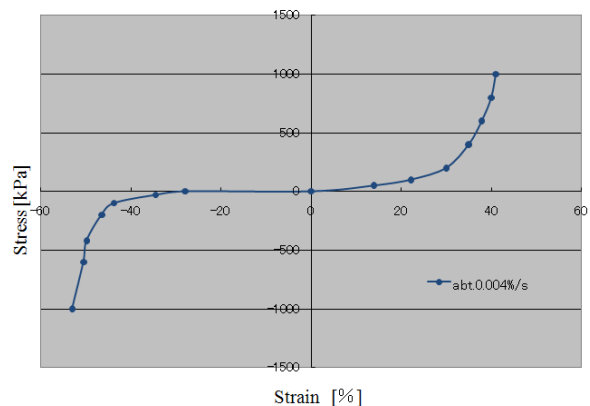


Fig.2 Stress-Strain curve of PDL

### Stress analysis of tooth and periodontal tissue during orthodontic tooth movement

Yousuke KAWAI, Yasukazu NISHI, Mamoru MURATA, Akira NAKAJIMA, Kazuyoshi HOSHINO and Takuji SAKAI

### 3. 解析および結果

#### 3. 1 解析条件

解析には、汎用有限要素法解析ソフトウェア Nastran を用いる。歯槽骨の上端以外の側面と底面を全固定し、矯正力を歯冠部の頬側面の中心付近にブラケットを取り付ける際の底面の位置 (4[mm]×3[mm]) を想定し、歯表面に対して垂直方向に 1[N]の矯正力を加えた場合と、実際にブラケットを取り付け、ブラケットとワイヤーが接する面から垂直方向に 1[N]の矯正力を加えた場合を解析する。

#### 3. 2 結果

Fig.3 における Path1 は歯と歯根膜の境界部を沿う応力出力経路であり、Path1 に発生する応力について非線形解析の結果を Fig.4 にまとめる。グラフの中心に行くほど応力が小さくなっていくことから、歯根部にはあまり応力が発生していないことがわかる。大きな力が生じているのは両端であり、矯正力方向の力が作用し、舌側部により大きな力が加わっていることが見られる。ブラケットの有無にかかわらず発生する応力の挙動は似ており、全体的にブラケットがある方が大きな応力が生じることがわかる。

Fig.3 における Path2 は歯根膜と歯槽骨の境界部を沿う応力出力経路であり、Path1 から歯根膜の厚さと等しい 0.2[mm]離れている。Fig.5 は両Path に生じる応力を示したグラフであり Path1 と比較すると Path2 に生じる応力は小さいことがわかる。歯根膜は粘弾性の材料特性があり、応力緩和が起こり応力を減少させていると考えられる。

Fig.6(a)(b)はブラケットの有無による歯表面の応力分布の違いを比較した図である。ブラケットを装着していない(a)では歯の舌側部に最大応力 7.3[kPa]が発生しており、図(b)の舌側部にはほぼ同程度の 7.13[kPa]の応力が生じている。このことから、ブラケットの装着は成功しているといえる。(b)ではブラケット装着部に最大応力 26.7[kPa]が加わっており、ブラケットを装着させたことにより集中応力が発生し全体的に生じる応力が大きくなったと考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、実際の歯の CT データを使用した有限要素モデルを用いて、汎用有限要素法構造解析ソフトウェアによる非線形解析を行った。実際の矯正治療時の口腔内を再現するために、ブラケットを追加しての解析を行った結果、矯正器具を取り付ける事により矯正時の力を再現することができるようになり、本来の矯正治療を解明するに当たり重要な要素を追加することが可能になった。

今後の課題として、ブラケットの材質の違いによる矯正治療に与える影響や、ワイヤーによる引張り力を仮定する矯正力の負荷について検討をしていく。また、本研究では、歯根膜の厚さを解剖学的平均値の 0.2[mm]としているが、歯根膜の厚さは人により異なるので、厚さを変えて、その影響を調べる予定である。更に、単独ではなく、実際の口腔内を再現するために歯列の有限要素法解析モデルを構築し、応力解析を行う事を考えている。

#### 参考文献

- 1)川合庸介, 西 恭一, 村田 守, 中嶋 昭 他, 歯科矯正治療における歯および歯周組織の応力解析, 日本機械学会九州支部宮崎講演会講演論文集 No.118-3, (2011), pp.149~150.
- 2)リープゴット, 歯科学のための解剖学, 西村書店, (2006), p.274.

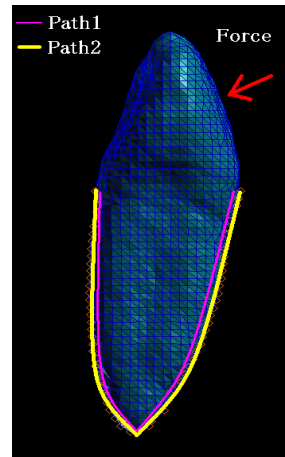


Fig.3 Path for Stress distribution

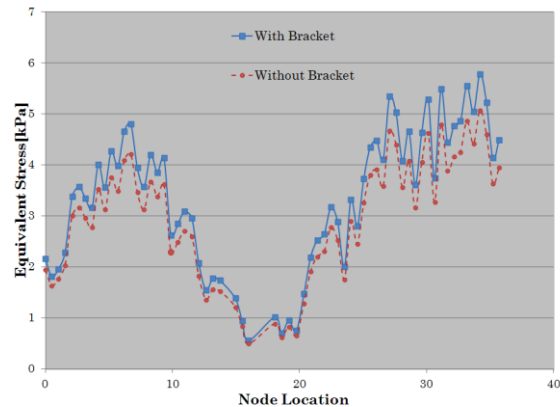


Fig.4 Comparison of Stress along Path1 between Tooth and PDL

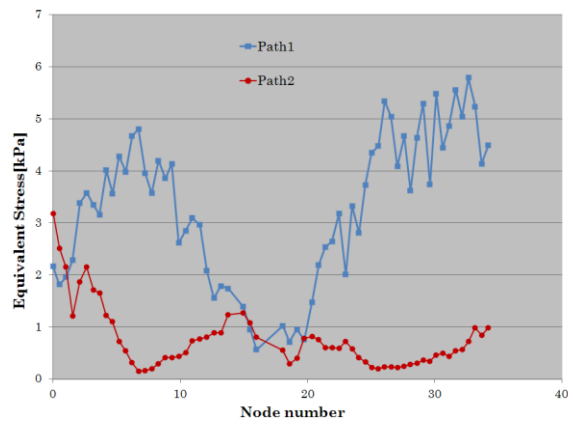


Fig.5 Comparison of Stress along Path1 and Path2

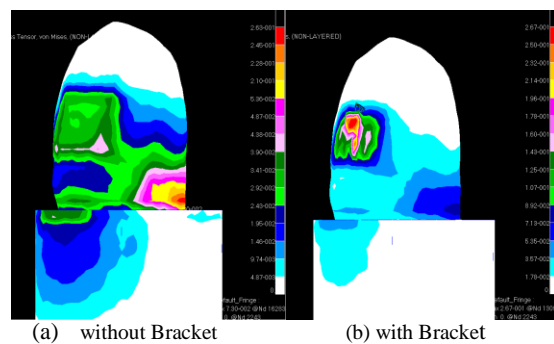


Fig.6 Stress distribution around Tooth