

# CT 画像に基づき作成された有限要素モデルを使った歯の非線形応力解析

日大生産工(院) ○大木 文仁 日大生産工 村田 守  
日大生産工 西 恭一 日大生産工 坂井 卓爾  
日大・歯 中島 昭

## 1 緒言

歯の矯正治療は審美性を改善し、噛む力を向上させ、歯の周りの歯周組織を健康に維持し、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事により、歯周組織に反応が生じ、その結果、歯の移動が行なわれる。その際、歯が埋まっている部分および周辺には、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な力分布が発生しているかを三次元的に把握するのは非常に難しいことである。また、複数の矯正装置の併用により力系の複雑化、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事は更に難しい問題である。以前、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、歯槽骨を含めた有限要素解析モデルを作製し、モデルの線形解析を報告したが、今回は前回検討しなかった非線形解析の結果を報告する。解析ソフトは汎用有限要素法解析ソフト PATRAN を使用した。

## 2 モデルの作成

歯は、顎骨（歯槽骨）の歯槽という穴に埋まっている。歯槽はその形が歯根の形に相当しているが、厳密ではない。ゆえに歯槽の内壁と歯根の表面との間にはわずかな隙間があって、ここに歯根膜が存在している。歯根膜は非常に薄く、0.15～0.38mm の厚さを持った軟部で、歯を歯槽に結合する役目をしている。よって、解析モデルは、歯( Tooth )、歯根膜( PDL )、歯槽骨( Bone ) の三つからなるモデルを作製することにした。

### 2.1 モデル

Fig.1に歯科用CTによるポイントデータを基に描かれた臼歯モデルを示す。ポイントデータは、日本大学歯学部から提供された。Fig.1は、抜歯状態の臼歯を歯科用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 ANSYS で取り扱うためにデータ変換を行い、ANSYS で臼歯の表面を表したものである。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(0.2mm)だけ太らせ、更にその外側の適当な範囲に歯槽

骨部を作成した。犬歯についても同様に作成した。

今回は、汎用有限要素法解析ソフト PATRAN で解析を行うため、ANSYS 上で作ったすべてのモデルを PATRAN に移行して解析を行った。

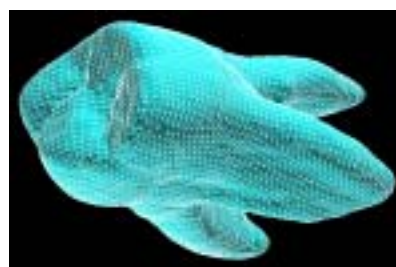


Fig.1 Surface model based on modified CT data

### 2.2 材料特性

#### 2.2.1 線形解析時

Table.1 に線形解析に用いる各部の材料特性を示す。

Table.1 Material Data of Models

|       | Young's modulus [MPa] | Poisson's ratio |
|-------|-----------------------|-----------------|
| Tooth | 19600                 | 0.3             |
| PDL   | 0.357                 | 0.49            |
| Bone  | 13700                 | 0.3             |

#### 2.2.2 非線形解析時

歯根膜の非線形性を考慮する場合は、応力歪曲線 Fig.2 のように折線で近似した。

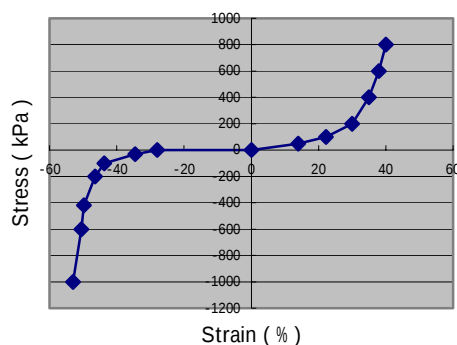


Fig.2 Multilinear expression of PDL

Non-linear finite element analysis using model constructed by cone beam

CT image for tooth movement

Fumihito OKI , Mamoru MURATA , Yasukazu NISHI, Takuji SAKAI and Akira NAKAJIMA

### 3 解析

解析では、歯槽骨の外周を固定し、歯冠のブラケット（金属線を連結するための止め金具）を取り付ける位置を想定して、そこに矯正力を加えた。

### 4 結果および考察

Fig.3 は Fig.6 に示されるように歯頸線から始まって歯根尖を通して歯根分岐部に戻る path2 に沿って、歯根膜と歯槽骨の境界部に発生する応力について、線形解析と非線形解析とを比較し示したものである。全体的な挙動は似ているものの、非線形解析の方が大きな応力が発生しているのが見られた。

Fig.4 は同様に path2 に沿って、歯根膜と歯の境界に発生する応力について比較したものである。この図では線形、非線形の差は見られない。

Fig.5 は歯槽骨部分について、線形解析と非線形解析での応力の分布を比較して示したものである。圧縮応力が発生する箇所では非線形解析と線形解析での差が大きくなっていることが分かる。これは、Fig.2 で示すように圧縮側での膜の弾性率が引っ張り側に比べて非常に軟らかいので、力が加わり圧縮される部分では応力が分散され、応力度が小さくなるものと思われる。

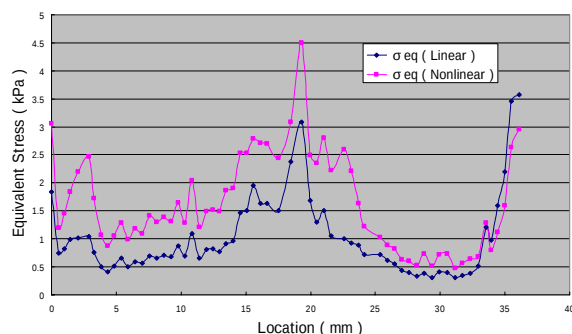


Fig. 3 Comparison of Stress along the Path 2 between PDL and Bone

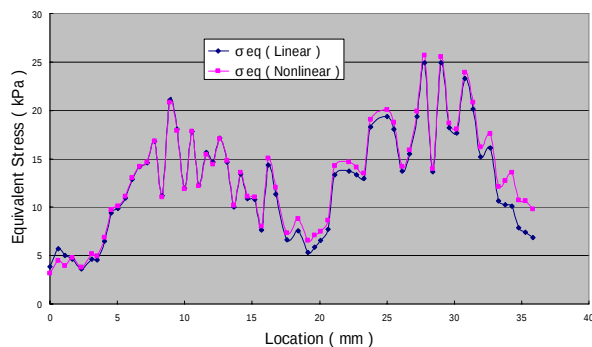


Fig.4 Comparison of Stress along the Path 2 tooth and PDL

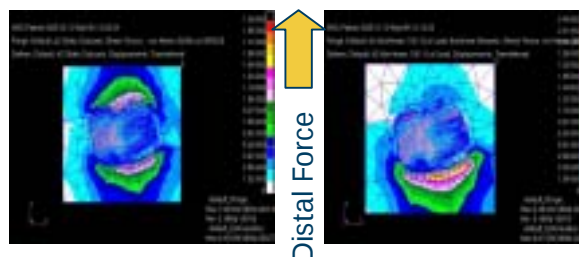


Fig . 5 Stress near cervical line of bone ( Left:Linear, Right:Non-linear )

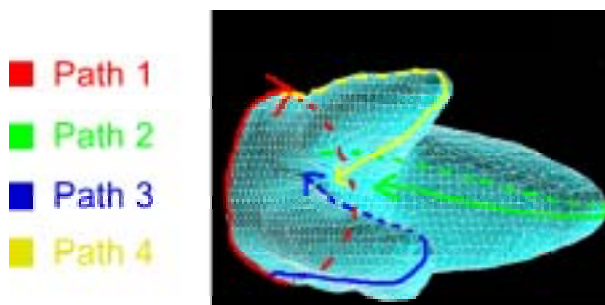


Fig.6 path for stress distribution

### 5 結言

本研究では、実際の歯の CT データを用いて有限要素モデルを作成し、汎用有限要素法構造解析プログラムを用いて線形解析と非線形解析を行った。その結果、歯根膜と歯槽骨との境界部分で発生する応力に差異が生じてくることがわかった。

今後の課題として、歯根膜の材料特性は速度依存性があるためその影響について検討するつもりである。また、本研究では、歯根膜の厚さを解剖学的平均値 0.2mm としているが、歯根膜の厚さは人によって異なるので、厚さを変えて、その影響を調べる予定である。更に、単独の歯のみではなく、歯列としての有限要素解析モデルを構築し、応力解析を行うことを考えている。

### 6 参考文献

- 1) 藤田ほか, “ 歯の解剖学 ” , 金原出版, (1995)
- 2) 下野正基, “ 歯科医療の最前線 ” . 講談社, (1995), pp.158-182