

## 歯科生体材料の各種特性に関する研究—非う蝕性歯質欠損の実験的検討—

金沢大学 ○大浦 宙樹, 金沢大学 ◎古本達明, 松波宏幸, 橋本洋平, 小谷野智広, 細川晃

### 要旨

う蝕以外の原因で歯頸部が欠損する非う蝕性歯質欠損 (NCL) の存在が確認されている。本研究では、FEM 解析と咬合力試験装置による検討から、歯に荷重が加わった時に発生する応力を評価した。その結果、歯に対し垂直な荷重成分が大きいほど発生応力は大きくなり、歯肉が退縮することでさらに大きい応力が生じることが分かった。

### 1. 緒論

歯学では、歯と歯茎の境界部 (歯頸部) に楔形状の欠損が生じることが問題となっている。う蝕以外が要因で発生する欠損は、非う蝕性歯頸部歯質欠損 (Non-carious cervical lesion: NCL) と呼ばれている。NCL の発生要因は、噛み合わせによる咬合力や歯磨きによる摩擦、飲食物に含まれる酸によって歯が溶解する酸蝕等が先行研究によって示されている。これらの要因の中で、咬合力による欠損はアブフラクションと呼ばれ、咬合力が負荷された時、歯頸部に発生する引張応力が歯質の結晶構造を破壊すると考えられている。アブフラクションの発生原因について、Rees らは応力解析を行い、応力が歯頸部に集中してエナメル質の結晶構造を破壊する可能性があることを示唆している<sup>1)</sup>。しかしながら、アブフラクションの発生要件は未だ明確にされていないため、歯に負荷する荷重と応力の関係を調査する必要がある。本研究では、ヒトの前歯を CT スキャンで取り込み、有限要素法解析を行って咬合力負荷時に歯頸部及び歯の表面で生じる応力を評価したので、以下に報告する。

### 2. 評価内容

**2.1 荷重方向と歯頸部内部応力の関係** 図1に本研究で使用する解析モデルを示す。解析モデルはヒトの前歯抜去歯を CT 撮影して3次元 CAD データとして取り込んだ。モデルの物性値は、歯の表面物質であるエナメル質のヤング率及びポアソン比を定義し、座標は側歯方向を  $x$ 、唇-舌方向を  $y$ 、根本-先端方向を  $z$ 、前歯頭頂部中央を原点とした。表1に解析条件を示す。図2は荷重方向と応力評価位置を示す。付加重荷は  $XZ$  平面内で  $-90^\circ \sim 90^\circ$  間を  $30^\circ$  ピッチで角度を変え、原点に対して  $F = 300 \text{ N}$  の荷重を付加した時の歯頸部応力を評価した。評価位置は歯頸部上の  $X$  軸 ( $y = 0, z = -12$ ) とした。口腔内で歯は歯槽膜と歯根膜によって保持されている。そこで、歯モデルの歯頸部より下部の  $x, y, z$  方向の変位を拘束した。

**2.2 歯肉退縮の影響** 歯を保持する歯周組織は老化や歯周病等の原因から退縮することが知られ、保持力の低下が NCL の発生に起因する可能性がある。そこで、歯肉の退縮量が  $1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}$  の状態について拘束範囲を変化させることで再現した。原点に  $X$  軸方向に  $F = 300 \text{ N}$  の荷重を加え、各条件における拘束境界面及び、歯肉退縮前の歯頸部 ( $Z = -12 \text{ mm}$ ) での  $X$  軸上の応力を評価した。図3は各拘束境界面と荷重方向を示す。この時、応力が荷重位置から歯頸部にかけてどのように変化しているかを評価する。

評価位置は一般的な片持ち梁に同様の荷重を加えた際大きな引張応力が負荷する右側面の表面を選択する。

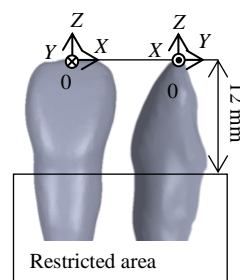


Fig.1 Analysis model

Tooth type	Front tooth
Material	Enamel
Poisson ratio	$\nu$ 0.3
Young's modulus [GPa]	$E$ 41.4
Analysis soft	Ansys 16.0
Restriction range	$Z \leq -12 \text{ mm}$
Load [N]	$F$ 300
Load position	Top center

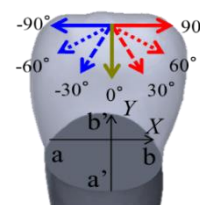


Fig.2 Definition of the load and evaluation axis

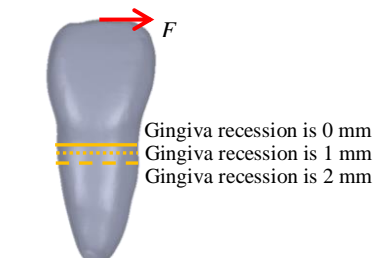


Fig.3 Definition of the load and evaluation

### 3. 解析結果及び考察

**3.1 荷重方向と歯頸部内部応力の関係** 図6は、原点に対して側歯方向に荷重を加えた時の  $X$  軸上の応力を示している。(3-a) は  $X$  方向、(3-b) は  $Y$  方向、(3-c) は  $Z$  方向の応力を示す。ただし、拘束位置の表面は特異点となっており応力を正確に測れないため、 $X$  軸の端におけるデータは省いている。 $X, Y, Z$  いずれの方向の応力も歯頸部表面に近づくほど増加し、荷重の角度が増加することでさらに大きくなった。また、荷重方向には圧縮、反対方向には引張の応力が発生した。解析モデルを片持ち梁とみなした場合、一般的に断面に負荷する最大応力は次式で表される。

$$(\text{最大応力}) = (\text{曲げモーメント}) / (\text{断面係数})$$

ここで、断面係数は断面形状に依存する定数であり、一般的に面積が小さい断面では小さくなる。曲げモーメントは荷重位置からの距離と軸に垂直な力の成分に依存する。 $Z$  軸に対し垂直な荷重を加えた場合、軸に垂直な力の成分が大きくなるため最大応力が大きくなったと考えられる。また、 $Z$  軸が曲げにおける軸となっているために  $Z$  方向応力が他方向の応力に比べて大きい。そのため、以降  $Z$  方向応力に注目して評価する。

3.2 歯肉退縮の影響 図5はX軸方向荷重(90°)を加えた際の拘束境界位置におけるZ方向応力を示している。各データは図(4-c)の90°と同様の傾向を示し、歯肉退縮量が多いほど応力の大きさは大きくなった。歯肉が退縮することで荷重位置からより遠い位置に曲げモーメントが作用し、歯頸部により大きな最大応力が負荷したと考えられる。図6はX軸方向荷重を加えた際の歯肉退縮前の歯頸部(Z=-12mm)でのX軸上の垂直応力を示す。歯肉退縮量が1,2mmの時、評価位置は拘束境界位置ではないが、条件を統一するため軸の端におけるデータは省いている。歯肉退縮量が0mmの時は図4,5と同様の傾向を示すが、歯肉が退縮することでグラフは直線に近づいている。そこで、各条件における内部応力の大きさの平均をとったところ、退縮量0mmの時は約29.2MPa, 退縮量1mmの時は約45.1MPa, 退縮量2mmの時は約47.8MPaとなり、歯肉の退縮により歯内部の負担が大きくなっていることが分かった。ここで、内部応力とはX軸の端、すなわち歯の表面における応力を除く応力を指し、負の応力は絶対値を取り計算した。評価位置が拘束境界位置となる退縮量0mmの時に特に内部応力が小さくなっているのは、変位拘束によりひずみが生じにくくなっているために、ひずみと比例関係にある応力が小さくなっていると考えられる。続いて、荷重位置から歯頸部にかけての表面応力を評価する。図8は荷重方向と応力評価位置(Y=0, -13.5 ≤ Z ≤ -0.5の範囲でZ=0.5mmごとにXが最小となる位置を選択した)、歯肉退縮前の歯頸部からのZ方向変異に対する表面Z方向応力変化を示す。ただし、荷重位置と拘束境界位置におけるデータは省く。荷重位置付近では歯肉退縮の影響はほとんどないが、拘束境界位置手前1mm付近から急激に応力が大きくなった。その結果、表面応力は内部応力とは異なり歯肉退縮前の歯頸部付近では退縮量が小さいほど大きくなっている。拘束境界面で表面応力が大きくなるのは、内部に応力が生じにくくなっている分、拘束の少ない表面に応力が集中しているのだと考えられる。また、幅が大きい歯頸部から8mmの位置付近に比べて、幅が狭い歯頸部から3mmの位置付近のグラフの傾きが大きくなっていることから、幅が狭い位置は断面係数が小さくなり、応力が大きくなりやすいことが分かる。このことから、欠損が生じ断面積が小さくなると、断面に負荷する応力は大きくなると考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、有限要素法解析によって歯の頭頂部に加えた荷重と歯頸部に生じる内部応力の関係を調べた。得られた結果を以下に要約する。

- (1) 歯に対して垂直な力の成分が大きいほど歯頸部に生じる応力は大きくなる。
- (2) 歯肉の退縮によって生じる最大応力は大きくなる。
- (3) 歯肉の退縮によって退縮前の歯頸部の位置における内部応力が大きくなる。
- (3) 断面積が小さいと応力が大きくなる。

#### 参考文献

- (1) Rees JS, Jagger. DC : Abfraction lessons : myth or reality?, J Esthet Restor Dent, 15,5(2003)263-271.

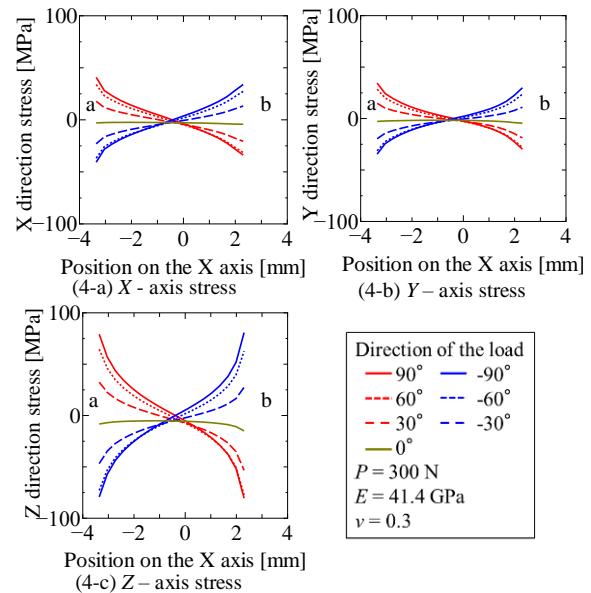


Fig.4 Valuation of stress with the loading axis

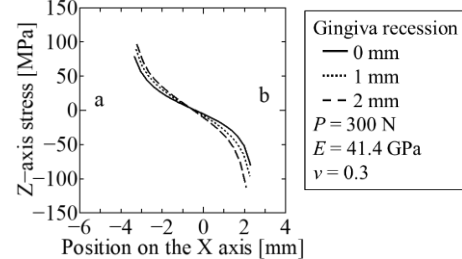


Fig.5 Valuation of Z-axis stress with the gingiva recession

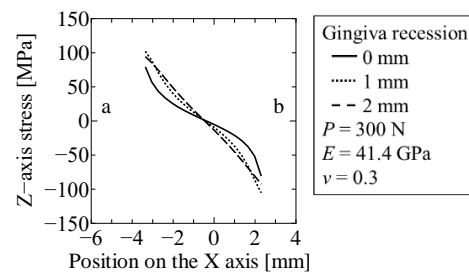


Fig.6 Valuation of Z-axis stress with the gingiva recession

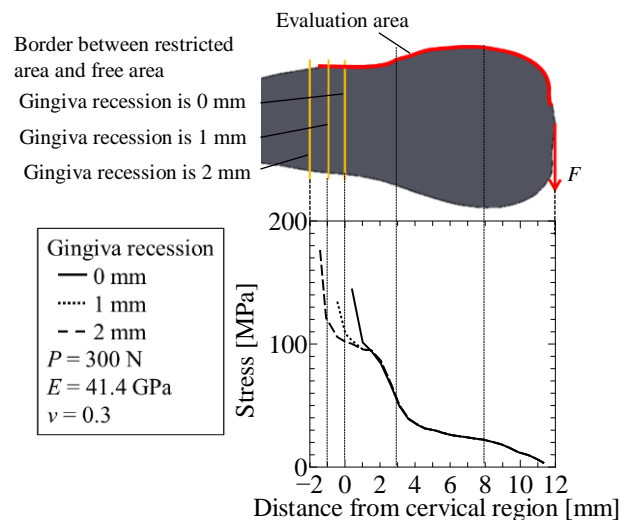


Fig.7 Valuation of Z-axis stress with the gingiva recession