

# 学位論文内容の要約

愛知学院大学

甲 第 711 号	論文提出者 板倉 崇
論文題目  三次元有限要素法を用いた咬合面形態の機能的検討	

## I 緒言

天然歯の咬合面形態は非常に複雑である。人類が長い進化の過程で獲得したこの咬合面形態には何等かの意味があるのではないかと考えられるが、その各部の形態の持つ意義は未だ解明されていない。また、歯科補綴治療において、咬合面の形態的意義を把握することは、生物学的にもまた機能的にも合理的な形態を有する補綴装置を製作するにあたり必要不可欠な事項と考えられる。

これまで、ヒトの歯の咬合面形態に関する機能的評価はいくつか報告されている。しかしながら、咬頭傾斜角に着目した研究に関しては、研究者によって結論が大幅に異なっているのが現状である。咬頭傾斜角が大きな人工歯の方が食物粉碎能に優れているとの報告に対して、咬頭傾斜角が異なっても、食物粉碎能に差は生じないとする報告もある。また、咬頭傾斜角が  $20^{\circ}$  の人工歯は、咬頭傾斜角が  $30^{\circ}$  の人工歯と比較して、咀嚼能率、および、義歯の装着感に優れているとの報告もある。一方、各咬頭が嵌合する対合歯の咬頭展開角に関しては、咬合面形態の中でも咬頭傾斜角と同様に重要な役割を担っていると考えられるが、いまだその形態的意義の解明はなされていない。また、個々の被験者の口腔内の多様さに加え、特定の物性を有する試料を用いた咀嚼能率測定では、歯の咬合面の意義や価値を絶対的に判定することは不可能であると考えられる。

本研究は、このような現状を踏まえ、形態的評価が困難とされる咬合面

形態に対して、三次元有限要素法を用い、大臼歯咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討することを目的としたものである。

## II 材料と方法

### 1 モデル構築

本研究は、咬頭傾斜角と咬頭展開角における力学的影響の検討を目的としたものであるため、これらに関しては様々な角度における検討が必要である。そこで、本研究では、咬頭傾斜角および咬頭展開角の角度を変化させることが可能な単純モデルの構築を行った。さらに、複雑な咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の形態的評価を行うため、咬合面形態を忠実に再現した咬合面形態モデルの構築を行った。これらのモデル構築にはプリ・ポストソフトウェア (Patran2011 windows 64bit、MSC Software) を用いた。

本研究においては、上下顎第一大臼歯における食物咬合時を想定したため、解析モデルの構成要素としては、上顎第一大臼歯に相当する上顎大臼歯モデル、下顎第一大臼歯に相当する下顎大臼歯モデル、食物モデルの3種とした。

#### 1) 単純モデルの構築

上顎大臼歯モデルに用いる単純モデルは、近心舌側咬頭を模した左右対称な逆屋根型形態とし、近心舌側咬頭の内斜面における咬頭傾斜角を表す

形態とした。また、様々な角度における検討を行うため、咬頭傾斜角を  $45^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  まで、 $5^{\circ}$  おきに変化させた計 10 種のモデルを構築した。また、下顎大臼歯モデルに用いる単純モデルは、中心窩を模した左右対称な逆屋根型形態とし、中心窩における咬頭展開角を表す形態とした。また、様々な角度における検討を行うため、咬頭展開角を  $90^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  まで、 $10^{\circ}$  おきに変化させた計 10 種のモデルを構築した。

## 2) 咬合面形態モデルの構築

上下顎大臼歯モデルに用いる咬合面形態モデルは、咬合面形態を詳細に再現したモデルを構築するために、咬頭傾斜角が  $30^{\circ}$ 、咬頭展開角が  $120^{\circ}$  に定められた、解剖学的人工歯（リブデント FB30 ポーセレン 100 30M、ジーシー）と、咬頭傾斜角が  $20^{\circ}$ 、咬頭展開角が  $140^{\circ}$  に定められた準解剖学的人工歯（リブデント FB20 ポーセレン 100 30M、ジーシー）を参考にモデル構築を行った。上記人工歯の上下顎右側第一大臼歯を 3D レーザースキャナー（Dental Wings 3SERIES、Dental Wings）にてスキャンし、各々の人工歯咬合面形状データを STL フォーマットにて作成した。得られた STL データを点群・ポリゴン処理コンポーネントソフトウェア（Leios2010、データ・デザイン）を用いてデータ形状の修正を行い、Patran2011 windows 64bit にて有限要素モデルの構築を行った。上顎咬合面形態モデルにおいては、上顎近心舌側咬頭の内斜面における咬頭傾斜角を  $30^{\circ}$  としたモデルと  $20^{\circ}$  としたモデルの 2 種類とし、下顎咬合面形態モデルにおいては、下顎

の咬頭展開角を  $120^{\circ}$  としたモデルと  $140^{\circ}$  としたモデルの 2 種類とした。

### 3) 食物モデルの構築

食物モデルは、正 6 面体要素を用い、過去の論文で用いられたラバー片の寸法を参考にし、また、予備実験の結果に基づき、厚さ 2mm、奥行き 10mm、幅 60mm の直方体として構築し、解析対象として合理的なものとした。

## 2 実験項目

本研究では、以下に示す実験 1 ～ 3 において大臼歯咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討した。

1) 実験 1 : 上下顎単純モデルを用いた上顎咬頭傾斜角の影響について咬頭傾斜角と咬頭展開角の基本的な形態的評価を行う目的で、まず、上下顎大臼歯モデルに単純モデルを用い、下顎咬頭展開角に対する上顎咬頭傾斜角の影響を検討した。

### (1) 解析モデル

上顎大臼歯モデルには単純モデルを用い、下顎大臼歯モデルには単純モデルの中で、平均的な咬頭展開角に近似した  $120^{\circ}$  のモデルを用いた。単純モデルの奥行きは食物モデルの奥行きより長く設定した。

上下顎大臼歯モデルおよび食物モデルの配置は、上顎大臼歯モデルの咬頭頂に相当する部位と、食物モデルの中心、および下顎大臼歯モデルの中心窩に相当する部位が、同一直線上に並ぶ位置関係とした。

### (2) 解析項目

咬頭展開角が  $120^\circ$  の下顎単純モデルに対して、咬頭傾斜角が  $45^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $0^\circ$  である上顎単純モデルを組み合わせた、計 10 種とした。

### (3) 荷重条件

本研究における荷重条件は、上下顎大臼歯モデル間に介在する食物モデルに対して、上顎大臼歯モデルを垂直方向に沈下させることにより、食物咬合時を想定した条件設定とした。上顎大臼歯モデルの沈下量については、予備実験により、最適な沈下量を模索し、実験 1 においては、上顎大臼歯モデルを食物モデルに対して垂直方向に  $1.2\text{mm}$  沈下させる条件設定とした。

2) 実験 2 : 上顎咬合面形態モデルと下顎単純モデルを用いた下顎咬頭展開角の影響について

### (1) 解析モデル

上顎大臼歯モデルには咬頭傾斜角  $30^\circ$  および  $20^\circ$  の上顎咬合面形態モデルを用い、下顎大臼歯モデルには図 2 に示す単純モデルを用いた。

### (2) 解析項目

咬頭傾斜角  $30^\circ$  および  $20^\circ$  の 2 種の上顎咬合面形態モデルに対して、下顎の咬頭展開角が  $90^\circ$ 、 $100^\circ$ 、 $110^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $130^\circ$ 、 $140^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $160^\circ$ 、 $170^\circ$ 、 $180^\circ$  である下顎単純モデルを、それぞれ組み合わせた計 20 種とした。

### (3) 荷重条件

上顎大臼歯モデルを食物モデルに対して垂直方向に 1.4mm 沈下させる条件設定とした。

3) 実験 3 : 上下顎咬合面形態モデルを用いた上顎咬頭傾斜角と下顎咬頭展開角の影響について

(1) 解析モデル

上下顎大臼歯モデルには上下顎咬合面形態モデルを用いた。

(2) 解析項目

上下顎大臼歯モデルの組み合わせ (咬頭傾斜角 - 咬頭展開角) を、 $30^{\circ}$  -  $120^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$  -  $140^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$  -  $120^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$  -  $140^{\circ}$  の計 4 種とした。

(3) 荷重条件

上顎近心舌側咬頭頂と下顎中心窩との間の食物モデルの厚みが 1mm になるまで、上顎大臼歯モデルを食物モデルに対して垂直方向に沈下させる条件設定とした。

3 材料設定

今回は各種咬合面形態間に食物を介在させた場合に限定した解析を目的としたため、実験 1 ~ 3 において、上顎大臼歯モデルと下顎大臼歯モデルは、いずれも応力の発生しない剛体に設定した。

実験 1 ~ 3 における食物モデルは、大変形領域での解析を可能とするため、Mooney - Rivlin 式を用いて超弾性体として設定した。Mooney - Rivlin 式は、三次元有限要素法解析において多く用いられている超弾性体の構成

則であり、ひずみ関数エネルギー (W) は、ひずみ不変量 (I)、材料物性値 (C10、C1) を用いて以下のように表される。

$$W = C10 (I1 - 3) + C1 (I2 - 3)$$

本研究では、過去の報告に基づいて  $C10=3.6731$ 、 $C1=0.1473$  の材料物性値を採用した。

#### 4 拘束条件

実験 1 ～ 3 に設定した拘束条件として、食物モデルの頬舌側両端および下顎大臼歯モデルを xyz 方向に完全拘束した。

#### 5 解析環境

本研究に使用した解析コンピュータは DELL PRECISION T7500 (DELL) であり、応力解析に用いた解析ソルバーは、汎用非線形構造解析ソルバー (marc2011、MSC Software) である。

### III 結果

#### 1 実験 1

##### 1) 応力分布

上顎大臼歯モデル直下の食物モデル横断面における応力分布図にて評価を行った。応力の評価は最大主応力とした。咬頭傾斜角  $45^\circ$  から  $30^\circ$  では、咬頭傾斜角が鋭角になるにつれ、食物モデル下面の中央部への応力の集中が観察され、 $25^\circ$  から  $10^\circ$  にかけては集中した応力が小さくなる様相が観



察された。また、 $5^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$  では、食物モデルの下顎大臼歯モデル辺縁部、すなわち下顎大臼歯の咬頭頂に相当する部位への応力の集中と、食物モデル下面の中央部への応力の集中が観察された。

## 2) 最大主応力値

咬頭傾斜角  $45^{\circ}$  から  $0^{\circ}$  における、食物モデル下面の中心部における最大主応力値にて評価を行った。咬頭傾斜角  $45^{\circ}$  から  $30^{\circ}$  にかけて、応力値の増加が見られ、 $30^{\circ}$  で最大値を示し、 $25^{\circ}$  から  $10^{\circ}$  にかけて応力値の減少が見られ、 $5^{\circ}$ 、 $0^{\circ}$  では再び応力値の増加が見られた。

## 2 実験 2

### 1) 応力分布

上顎大臼歯モデル近心舌側咬頭直下の食物モデル横断面における応力分布図にて評価を行った。咬頭傾斜角  $30^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$  のいずれにおいても、咬頭展開角  $90^{\circ}$  から  $150^{\circ}$  にかけて、食物モデル下面の中央部への応力の集中が観察された。また、 $160^{\circ}$  から  $180^{\circ}$  においては、食物モデル下面の中央部に集中していた応力が上部に移行している様相が観察された。

咬頭傾斜角  $30^{\circ}$  と比較して、咬頭傾斜角  $20^{\circ}$  では、食物モデル下面の中央部に集中した応力が、頬側に移動している様相が観察された。

## 2) 最大主応力値

食物モデル下面中心部における、最大主応力値にて評価を行った。全ての咬頭展開角において、咬頭傾斜角  $30^{\circ}$  は、咬頭傾斜角  $20^{\circ}$  と比較して、

高い最大主応力値を示した。咬頭傾斜角  $30^\circ$  においては、咬頭展開角  $90^\circ$  から  $130^\circ$  にかけて応力値の増加が見られ、 $130^\circ$  から  $150^\circ$  では、同等の応力値を示し、 $160^\circ$  から  $180^\circ$  にかけて応力値の減少が見られた。また、咬頭傾斜角  $20^\circ$  においては、咬頭展開角  $90^\circ$  から  $140^\circ$  にかけて応力値の増加が見られ、 $150^\circ$  から  $180^\circ$  にかけて応力値の減少が見られた。

### 3 実験3

#### 1) 応力分布

上顎大臼歯モデル近心舌側咬頭直下の食物モデル横断面における応力分布図にて評価を行った。応力の評価は最大主応力とした。全てのモデルにおいて、食物モデルの下顎中心窩相当部に高い応力集中がみられた。咬頭傾斜角に関しては、下顎の咬頭展開角が  $120^\circ$  である  $20^\circ$  - $120^\circ$  と  $30^\circ$  - $120^\circ$  とを比較すると、 $30^\circ$  - $120^\circ$  の方が、食物モデル上面に高い応力集中が見られた。また、下顎の咬頭展開角が  $140^\circ$  である  $30^\circ$  - $140^\circ$  と  $20^\circ$  - $140^\circ$  においても同様に、 $30^\circ$  - $140^\circ$  の方が、食物モデル上面に高い応力集中が見られた。咬頭展開角に関しては、上顎の咬頭傾斜角が  $30^\circ$  である  $30^\circ$  - $120^\circ$  と  $30^\circ$  - $140^\circ$  を比較すると、 $30^\circ$  - $140^\circ$  の方が、食物モデルの下顎中心窩相当部から、頬側咬頭の内斜面相当部にかけて高い応力集中が見られ、また、上顎の咬頭傾斜角  $20^\circ$  である  $20^\circ$  - $120^\circ$  と  $20^\circ$  - $140^\circ$  を比較すると、 $20^\circ$  - $140^\circ$  の方が、頬側咬頭の内斜面相当部に、高い応力集中が見られた。

次に、食物モデル上面から観察した応力分布図にて評価を行った。上顎の咬頭傾斜角が  $20^\circ$  である  $20^\circ - 120^\circ$ 、 $20^\circ - 140^\circ$  と比較して、上顎の咬頭傾斜角が  $30^\circ$  である  $30^\circ - 120^\circ$ 、 $30^\circ - 140^\circ$  では、食物モデル中心窩相当部において近遠心的に広い応力分布が観察された。

## 2) 最大主応力値

食物モデルの上顎近心舌側咬頭頂直下に位置する食物モデル下面中央部に発生した最大主応力値にて評価を行った。咬頭傾斜角  $30^\circ$  では、咬頭傾斜角  $20^\circ$  と比較して、いずれの咬頭展開角に対しても高い応力値が得られた。また、咬頭展開角  $140^\circ$  では、咬頭展開角  $120^\circ$  と比較して、咬頭傾斜角  $30^\circ$  で同等であり、咬頭傾斜角  $20^\circ$  では高い応力値が得られた。

## IV 考察

### 1 本研究における意義について

有限要素法とは、物体における物理的諸課題に対して、微分方程式を連立一次方程式に変換して近似解を求める方法であり、解析対象に対して客観的に評価を行うことが可能な方法である。この方法は、古くから工業、機械分野において広く用いられ、近年では、医療分野でも活用される様になったが、特に整形外科分野においては手術のシミュレーションにも活用されている。

これまで行われてきた咬合面形態に関する研究は、実際の臨床に即した

ものが多いが、被験者の主観的な評価が重視されている報告も多い。これらの報告に対し、本研究に用いた有限要素法は、咬合面形態に関して評価を行うにあたり、客観的な評価が可能な方法であり、得られた結果についても信憑性の高いものだと考えられる。

本研究の解析対象である歯の咬合面形態は非常に複雑な形態を有し、その再現精度が解析結果に多大な影響を与えることも事実である。今回用いた上下顎大臼歯モデルについては、3D レーザースキャナーを用い、実際の人工歯形状の詳細なデジタルデータからモデル構築を行ったため、人工歯に付与された隆線、裂溝、窩等の詳細な形態を可及的に忠実に再現できたモデルであると考えられる。そのため、本研究で構築した上下顎大臼歯モデルについては、歯の咬合面における形態的評価を行うにあたり、合理的なモデルであると考えられる。

## 2 本研究における解析方法について

### 1) 実験 1 について

本研究のように、食物を介在させた有限要素解析は少なく、複雑な咬合面形態を用いた解析は評価自体が困難なことが予想されたため、合理的な解析方法を検討する必要がある。そのため、単純な形態のモデルを用いた解析を行った。単純モデルは、咬合面形態として最も重要と考えられる咬頭傾斜角と咬頭展開角の角度を明確に規定できる形態とした。

### 2) 実験 2 について

実験 1 において、咬頭傾斜角が  $30^\circ$  である単純モデルで最大主応力値が最大値を示し、 $40^\circ$  から  $20^\circ$  において高い応力値が得られた。そのため、実験 2 においては、咬頭傾斜角が  $30^\circ$  である咬合面形態モデルと咬頭傾斜角が  $20^\circ$  である咬合面形態モデルを選定し、それらに対する対合歯の咬頭展開角の影響を検討した。また、咬頭傾斜角  $30^\circ$  と  $20^\circ$  の比較を行うことで、咬頭傾斜角と咬頭展開角における力学的影響を検討した。

### 3) 実験 3 について

実験 1、2 で得られた結果から、咬頭傾斜角は  $40^\circ$  から  $20^\circ$  の範囲で、咬頭展開角は  $120^\circ$  から  $150^\circ$  の範囲で、食物モデルに応力を発生させることに関して有効に働くことが示唆された。そのため、より実態に則した検討を行うため、咬頭傾斜角がそれぞれ  $30^\circ$  と  $20^\circ$  である上顎咬合面形態モデルと、咬頭展開角がそれぞれ  $120^\circ$  と  $140^\circ$  である下顎咬合面形態モデルを組み合わせるにより、複雑な咬合面形態における、咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討した。

## 3 本研究における解析条件の設定について

### 1) 超弾性特性の導入について

解析モデルを用いて食物咬合時をシミュレートするにあたっては、可及的に実際の事象と近似した条件下での解析を可能とする条件設定が必要とされる。そのため、解析時における上下顎大臼歯モデルの位置関係については両者を可能な限り近接させ、さらに両者間に介在させる食物モデルに

については、大臼歯モデル間で実際の咬合状況に準じた十分な大変形を可能とする条件設定が要求される。食物モデルの材料設定については、これまで、三次元有限要素法解析において一般的とされている弾性体による材料定義を行い、様々な材料定数を用いた解析を試みてきた。しかしながら、これらの条件設定では食物モデルの変形量が食物咬合時をシミュレートする上で不十分であり、弾性定義の限界でもあった。そこで本研究では、食物モデルの材料特性に超弾性特性を導入することにより、従来の弾性定義では不可能であった、食物咬合時を想定した大変形領域でのシミュレーションを行うことを可能とし、咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討することができた。

今回用いた超弾性 Mooney - Rivlin は、有限要素解析において超弾性体を表現する構成則の一つで、要素の密度が変化しない非圧縮性超弾性体の構成則である。非圧縮性超弾性体を用いることでゴムのように大きく伸びて変形する材料が再現でき、咬合の評価を行う上での解析対象としての要件を満たすものであったと考えられる。

## 2) 荷重条件について

食物咬合時を想定した力学的解析を行うためには、食物モデルが上顎大臼歯モデルによって可能な限り押し潰される荷重条件が求められる。そのため、実験 1、2 においては、予備実験にて、上顎大臼歯モデルの沈下量を 0.1mm ずつ変化させ、全ての解析項目で解析が可能であり、食物モデル

が最大限押し潰される条件を検討し、沈下量の設定を行った。また、実験 3 では、上下顎大臼歯モデルとして咬合面形態を詳細に再現したモデルを用いたため、食物咬合時を想定し、可能な限り上下顎大臼歯モデルを中心咬合位に近づける沈下量の設定を行った。そのため、上顎大臼歯モデルの沈下量については、実験 1、2 とは異なり、上顎近心舌側咬頭頂と下顎中心窩との距離を中心咬合位から垂直的に 0.1mm ずつ増加させ、4 種の解析項目において解析が可能であり、上顎近心舌側咬頭頂と下顎中心窩が中心咬合位に最も近接する条件を検討し、沈下量の設定を行った。

### 3) 拘束条件について

拘束条件の設定については、下顎大臼歯モデルを xyz 方向に完全拘束し、さらに食物モデルのみの評価を簡便にするため、食物モデルの頬舌側両端を xyz 方向に完全拘束した。拘束部位については、過去の報告を参考に、拘束部位が解析結果に影響を与えないよう、予備実験を行い、食物モデルの幅を長くした。

## 4 本研究における解析結果について

### 1) 応力の評価方法について

解析結果については、最大主応力を用いた応力の評価を行った。最大主応力は、三次元有限要素法において材料の破壊の評価に利用されており、整形外科分野においても骨折リスクの評価に用いられている。荷重点である食物モデル上面の中心部に対して、食物モデル下面の中心部には、引張

応力が発生し、食物モデルの破壊の起点となることが考えられる。そこで、各実験項目において、食物モデル下面の中心部に発生する最大主応力を評価した。発生応力の評価方法としては、他にも von Mises 相当応力や、最小主応力も存在するが、この様な理由から、本研究のような、咬合面形態を評価する応力解析に関しては、最大主応力を用いた評価が妥当であると考えられる。

## 2) 咬頭傾斜角について

咬頭傾斜角が  $30^\circ$  の場合、食物モデル下面の中心部に最大主応力が集中し、最も高い応力値が得られた。また、いずれの咬頭展開角に対しても、咬頭傾斜角は  $20^\circ$  と比較して  $30^\circ$  の方が食物モデルに強く広域な応力集中が観察された。咬頭傾斜角は  $30^\circ$  の方が、 $20^\circ$  と比較して食物モデルに発生する最大主応力値が高くなることが力学的に示された。これらのことから、 $30^\circ$  の咬頭傾斜角は咬頭展開角にかかわらず、食物モデルに力学的に効率よく作用するのではないかと考えられる。

## 3) 咬頭展開角について

咬頭展開角は、咬合時に食物モデルに効率的に高い応力を発生させる角度の範囲が存在し、その範囲よりも鋭角過ぎても、鈍角過ぎても、発生応力は小さくなることが示された。また、いずれの咬頭傾斜角に対しても、咬頭展開角は  $120^\circ$  と比較して、 $140^\circ$  の方が下顎の頬側咬頭内斜面相当部に強い応力集中が観察された。過去の報告には、咬頭傾斜角  $30^\circ$  の人工歯



と比較して、咬頭傾斜角  $20^\circ$  の人工歯の方が、中心咬合位において下顎義歯床下粘膜への負担圧が頬側部に広範囲に分布することにより下顎全部床義歯が安定するとあるが、本実験での下顎大臼歯咬合面形態モデルにおいても、咬頭展開角  $120^\circ$  と比較して、 $140^\circ$  の方が下顎頬側咬頭内斜面部に負担域の増加がみられ、食物モデル相当部へ大きな応力が発生したと考えられる。

#### 4) 上下顎大臼歯モデルの組み合わせについて

上下顎大臼歯モデルの組み合わせについては、 $30^\circ -140^\circ$ 、 $30^\circ -120^\circ$ 、 $20^\circ -140^\circ$  において、食物モデルに高い応力値が得られた。

$30^\circ -140^\circ$  については、咬頭傾斜角に関しては  $20^\circ$  と比較して  $30^\circ$  の方が高い応力値が得られた。また、咬頭展開角に関しては、 $120^\circ$  と比較して  $140^\circ$  の方が高い応力値が得られたことから、咬頭傾斜角と咬頭展開角の組み合わせとして最適であり、その結果、高い応力値が得られたものと考えられる。 $20^\circ -120^\circ$  において、他の組み合わせと比較して、最大主応力値が低値であったことについては、上顎の咬頭傾斜角と下顎の咬頭展開角の組み合わせが食物モデルに応力を発生させる上で、有効に働かなかったためと考えられる。 $30^\circ -120^\circ$  と  $20^\circ -140^\circ$  については、 $30^\circ -140^\circ$  と同様に高い応力値が得られた。機能咬頭の内斜面が対合する面と近接した形態であることが咀嚼能力の向上につながると報告されているが、 $30^\circ -120^\circ$  は上下顎ともにリブデント FB30 を、また、 $20^\circ -140^\circ$  は上下顎ともにリブ

デント FB20 を参考に構築したモデルであるため、上下顎の咬合面形態が近接した形態であることが、高い応力値の発現の一因であることが示唆された。

## V 結論

本研究は、三次元有限要素法を用いて、上下顎第一大臼歯咬合面形態を忠実に再現した解析モデルを構築し、さらに評価対象とする食物モデルに超弾性特性を導入することにより、弾性変形では不可能であった大変形領域における応力解析が可能となり、第一大臼歯咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的検討方法を開発した結果、以下の結論を得た。

1 咬頭傾斜角および咬頭展開角には、食物咬合時に効率的に高い応力を発生させる角度が存在し、咬頭傾斜角については  $30^\circ$  付近、咬頭展開角については  $120^\circ$  から  $150^\circ$  の範囲が望ましいことが力学的に示された。

2 咬頭傾斜角が  $30^\circ$  である上顎第一大臼歯咬合面形態と咬頭展開角が  $140^\circ$  である下顎第一大臼歯咬合面形態の組み合わせが、食物咬合時に高い応力を発生させることが力学的に示された。