

ヒト下顎骨に作用する力の材料力学的解析
—平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合の変動の影響—

**Analysis of internal and external forces of a human mandible invested by strength of materials:
Influence of variation of bearing ratio of balancing side to working side in masticatory muscle force**

草野雅章, 山本一彦, 池田悦子, 村上和宏, 桐田忠昭

Masaaki KUSANO, Kazuhiko YAMAMOTO, Etsuko IKEDA, Kazuhiro MURAKAMI, Tadaaki KIRITA

Abstract

Using a human mandibular model with whole premolar and molar zone oblique to sagittal plane(the angle: $\theta = \tan^{-1}(3/4)$), influence of variation of bearing ratio of balancing side to working side(the ratio: α) in masticatory muscle force as to internal forces produced by masticatory muscle forces, temporomandibular joint reaction forces and bite forces with teeth was analyzed by strength of materials. The result obtained is as follows:

- (1) The value of shearing force was decreased according to an increase of α . The largest value of shearing force was +640N in the molar zone in $\alpha=0$ biting with the right first molar.
- (2) At masticatory site, the value of bending moment increased according to an increase of α . On the other hand, at balancing side, the value of bending moment decreased according to an increase of α . The largest absolute value of bending moment was +14040N \cdot mm in the molar zone at balancing side in $\alpha=1.5$ biting with the right first molar.
- (3) The value of torsion moment increased according to an increase of α in both anterior and posterior zone. The largest value of torsion moment was +860N \cdot mm at working side, +6240N \cdot mm in the anterior zone and +2550N \cdot mm at balancing side in $\alpha=1.5$ biting with the right first molar.
- (4) The method presented in this study is useful for analysis of influence of bearing ratio of balancing side to working side in masticatory muscle force with respect to internal forces of a human mandible with whole premolar and molar zone oblique to sagittal plane invested by strength of materials.

Key words: Analysis of forces, A human mandible, Strength of materials, Variation of bearing ratio of balancing side to working side, Masticatory muscle force, Premolar and molar zone oblique to sagittal plane.

1. 緒言

顎顔面領域の臨床において、骨接合プレートとスクリューが受ける力の解析は重要であり、特に下顎骨に作用する力の解析は必須である。しかし、それに関する研究は少ない。著者は、咀嚼筋力、顎関節部における反力、咬合力によって下顎骨に発生する内力のうち剪断力、曲げモーメント、ねじりモーメントに関して材料力学的に解析する方法を開発した¹⁾。本研究では、この方法と下顎骨の臼歯部と正中矢状面が傾斜しているモデルの解析方法を用いて、平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合の変動の影響を検討した結果、興味ある知見が得られたので報告する。

2. 研究方法

(1) 平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合

本研究では咀嚼筋として下顎挙上筋を考えた。平衡側と作業側の下顎挙上筋の合力の比 α を 0、

0.5、1.0、1.5と変動させた。

(2) 解析モデル

下顎骨の形状と寸法は、下顎骨のドライ・スカルをもとにして計測したデータをベースとした。下顎骨の形状はビームを連結したものとした。下顎骨の臼歯部と正中矢状面とのなす角 θ は、下顎骨のドライ・スカルを実測した角度に近い角度として $\theta = \tan^{-1}(3/4) \approx 37^\circ$ とした。以下の左右方向および前後方向の距離も下顎骨のドライ・スカルを実測したデータを参照しながら設定した。実際の生体の場合は、必ずしも有限小数ではなく無限小数になる場合もあるが、その場合も対応可能である。左右方向の距離としては、左右中切歯の間接点と犬歯までの距離を12.5mm、左右中切歯の間接点と側切歯までの距離を7.5mmとした。左右方向の距離として、犬歯と第二大臼歯までを24mm、第二大臼歯から下顎枝の midpoint までを10mm、下顎枝の midpoint から下顎頭までを10mmとした。臼歯部方向の距離としては、犬歯と小臼歯間距離を16mm、小臼歯と第一大臼歯間距離を8mm、小臼歯と下顎枝前端までの距離を24mm、第一大臼歯と下顎枝の前端までの距離を16mmとした。前後方向の距離として、

第二大臼歯から下顎枝の midpoint までを20mm、下顎枝の midpoint から下顎頭までを20mmとした(Fig.1)。数値は外力および内力の剪断力・曲げモーメント・ねじりモーメントの数値に揃えるため小数点下2桁まで記載した。小数点下1桁、2桁がゼロとなる場合はそのゼロを記載しないこととした。

(3) 解析した状態

片側臼歯部で噛む2種類の場合(右側小臼歯、右側第一大臼歯)を設定した。

(4) 座標軸の設定方法

材料力学的解析は、下顎の右側下顎頭部 A_R を出発点として、第二大臼歯部C、右側小臼歯部D、右側犬歯部E、中切歯部F、左側犬歯部G、左側小臼歯部H、左側第二大臼歯部Iの順番に行い左側下顎頭部 A_L を終点とした。座標軸は右手系を採用した。すなわち右側をy軸の正方向に、下側をz軸の正方向に設定し、解析の対象を視る方向とx軸の方向と一致させるために紙面の裏側方向をx軸の正方向に設定した。この座標系を解析する対象とともに移動させた。y軸の正方向は、 A_R -C間には下顎骨の前側、C-D-E間にはCからEに向かう方向、E-F-G間には下顎骨の左側、G-H-I間にはGからIに向かう方向、I- A_L 間には下顎骨の後側である(Fig.1)。

(5) 咀嚼筋による力の方向と作用点

下顎を挙上させる咀嚼筋として、咬筋、内側翼突筋、側頭筋を採用し、各筋の方向と咀嚼活動における負担割合を考慮して、それらの合力は垂直上方とした。合力の作用点は、下顎枝の midpoint とした。

(6) 咬合力

臼歯は480N、大臼歯は660Nとした²⁾ (Table 1)。

Table 1 Magnitude of bite forces.

Point of application	Premolar	Molar
Value (N)	480	660

(7) 支点反力と咀嚼筋力の決定方法

平衡側と作業側との下顎挙上筋の合力の比 α を4種類設定したので、作業側の咀嚼筋の合力が決まれば平衡側の咀嚼筋の合力は決まる。それゆえ未知量は両側顎関節反力と咀嚼筋の合力の3個である。したがって決定方程式としては、両側顎関節部を回転支点として、左右方向の軸回りと、前後方向の軸回りのモーメントの釣り合い、および、上下垂直方向の軸方向の力の釣り合いの3式で十分である。

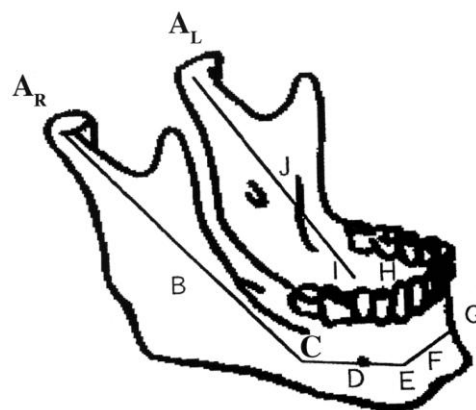


Fig.1 Analysis model of a human mandible.

- A_R : Right condylar head.
- B: Middle point of right ramus.
- C: Lower right second molar.
- D: Lower right premolar.
- E: Lower right canine.
- F: Central incisor.
- G: Lower left canine.
- H: Lower left premolar.
- I: Lower left second molar.
- J: Middle point of left ramus.
- A_L : Left condylar head.

(8) 解析した力の種類

下顎骨に発生する力として、剪断力、曲げモーメントおよびねじりモーメントを求めた。

(9) 力およびモーメントの正負の規約

移動座標系においてy軸の正側をz軸の正側に動かそうとする剪断力を正と規約した。曲げモーメントは、z軸の正側に引張応力が生じるように変形させる曲げモーメントを正と規約した。ねじりモーメントは、y軸の正側が時計方向に回転するようなねじりモーメントを正と規約した(Fig. 2)。垂直力は上向きを正、下向きを負とした。

(10) 曲げモーメントとねじりモーメントの決定方法

C-D-Eと正中矢状面のなす角を θ とする。 A_R -B-C間に関してC点の回りのモーメントの釣り合いを考えC点に作用するモーメント M_x' と M_y' を求める。C-D-Eにはそれらの反力 $-M_x'$ 、 $-M_y'$ が作用する。 $-M_x' = M_x$ 、 $-M_y' = M_y$ とおく。それをC-D-Eに垂直な成分と平行な成分に分解するとそれぞれ $M_x \cos \theta$ 、 $M_x \sin \theta$ 、 $-M_y \sin \theta$ 、 $M_y \cos \theta$ となる。それらを合成するとC-D-Eに垂直な成分は $M_x = M_x \cos \theta - M_y \sin \theta$ となり、C-D-EのC端に作用する曲げモー

メントとなり、平行な成分は $M_y = M_x \sin \theta + M_z \cos \theta$ となり、C-D-EのC端に作用するねじりモーメントとなる。同様に考えて点Eと点Gにおいては $M_x = M_x \sin \theta - M_z \cos \theta$, $M_y = M_x \cos \theta + M_z \sin \theta$ となる。

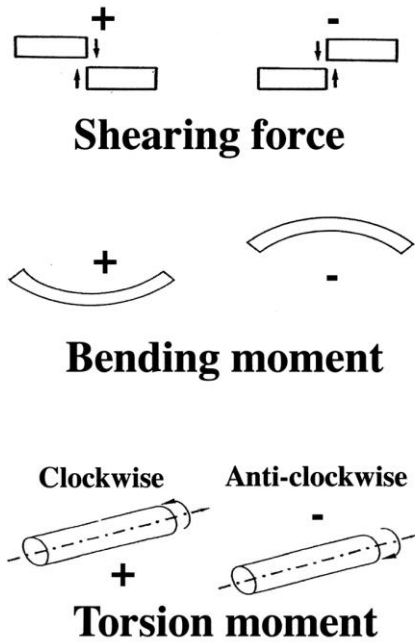


Fig.2 Sign of direction of shearing force, bending moment and torsion moment.

3. 研究結果

(1) 右側第一大臼歯で噛む場合の解析結果 ($\alpha = 0.5$, $\theta = \tan^{-1}(3/4)$ の場合)

(a) 右側顎関節には $R_1 = -623.09\text{N}$ (下向き)、左側顎関節には $R_2 = -459.31\text{N}$ (下向き)、右側の咀嚼筋力の合力は、 $W_1 = +1161.6\text{N}$ (上向き)、左側の咀嚼筋力の合力は、 $W_2 = +580.8\text{N}$ (上向き)、咬合力は、研究方法(6)および Table1 記載のとおり $W_3 = -660\text{N}$ (下向き)とした(Fig.3)。ただし、説明上、数値が無限小数になる場合は小数点下3桁目を四捨五入してある。

(b) 右側顎関節部 A_R から第二大臼歯部 C までのビームを抜き出し、 A_R -C 間に作用する力を考える。 A_R 点には $R_1 = -623.09\text{N}$ (下向き)、右側下顎枝の中点 B には $W_1 = +1161.6\text{N}$ (上向き)、C 点には下向きに $+538.51\text{N}$ の剪断力が作用した。C 点の周りのモーメントの釣り合いを考えると C 点に作用するモーメントは $M_x(C) = -1691.47\text{N} \cdot \text{mm}$, $M_y(C) = +845.73\text{N} \cdot \text{mm}$ であった(Fig.3)。座標系の回転移動後の $M_x(C) = -1860.62\text{N} \cdot \text{mm}$, $M_y(C) = -338.29\text{N} \cdot \text{mm}$ であった。

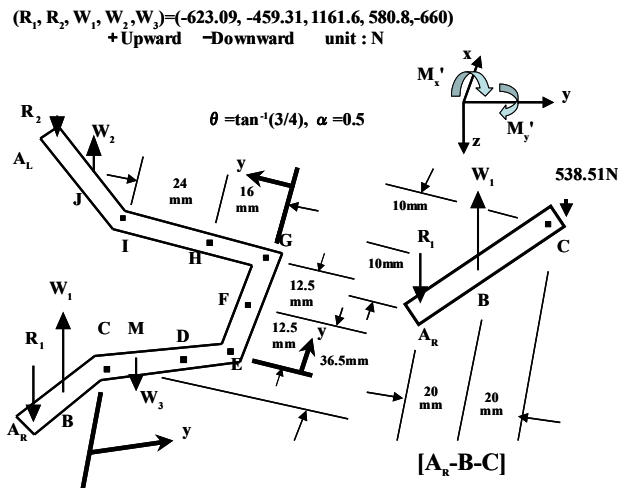


Fig.3 Forces acting upon a human mandible biting with the lower right first molar ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$, $\alpha = 0.5$).

Left: External forces.

Right: Forces from the right condylar head to the lower right second molar. Following calculation leads $M_x(C)$ and $M_y(C)$. Unit is $\text{N} \cdot \text{mm}$.

$$\begin{aligned} M_x'(C) + R_1 \times 40 + W_1 \times 20 &= 0 \\ \therefore M_x(C) &= -M_x'(C) \\ M_y'(C) - R_1 \times 20 - W_1 \times 10 &= 0 \\ \therefore M_y(C) &= -M_y'(C) \end{aligned}$$

Where R_1 is a temporomandibular joint force on the right side and W_1 is a resultant force of all mandibular elevator muscles taken together on the right side.

(c) 右側第二大臼歯部 C, 右側第一大臼歯部 M, 小臼歯部 D, 右側犬歯部 E 間を抜きだし、 A_R -B-C 間と同様に、材料力学の手法を用いて、モーメントの釣り合いを考えると、C-M 間では曲げモーメント $= M_x = 538.51y - 1860.62$ 、剪断力 $= dM_x/dy = +538.51$ 、ねじりモーメント $= M_y = -338.29$ (Fig. 4)、M-E 間では曲げモーメント $= M_x = -121.49y + 8699.38$ 、剪断力 $= dM_x/dy = -121.49$ 、ねじりモーメント $= M_y = -338.29$ であった (Fig. 4)。ただし、説明上、数値が無限小数になる場合は小数点下3桁目を四捨五入して示してある。単位は、剪断力については N、曲げモーメントとねじりモーメントについては $\text{N} \cdot \text{mm}$ である。

(d) C-D-E 間に作用する力の剪断力図、曲げモーメント図、ねじりモーメント図を描いた (Fig. 5)。

(e) C-D-E に連結するビームについても同様の計算をした。

(2) 剪断力図、曲げモーメント図、ねじりモーメント図

(a) 剪断力図

解析した状態について、剪断力の分布を一つの図にまとめた (Fig. 6)。横軸は歯牙の種類を示し、

0 は下顎左側第二大臼歯、1 は下顎左側第一大臼歯、2 は下顎左側小臼歯、3 は下顎左側犬歯、4 は下顎左側側切歯、5 は中切歯部を示す。6 から 10 は下顎右側の歯牙の種類を示す。縦軸は、剪断力の大きさを示す。単位は N で、上方が正、下方が負である。剪断力は α が大きくなるに従い、しだいに負の方向に移動した。剪断力図は α が大きくなるに従い、下方に移動した。剪断力の最大値は、 $\alpha=0$ の場合に発生し、右側小臼歯、右側第一大臼歯部で噛む場合の値はそれぞれ +460N、+640N、発生部位はそれぞれ下顎右側臼歯部、下顎右側犬歯部であった。

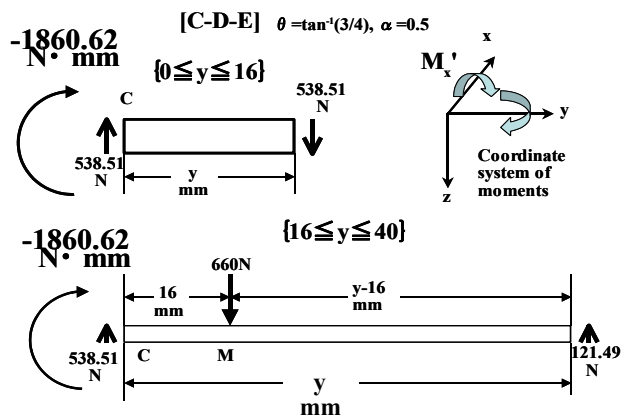


Fig. 4 Forces acting upon a human mandible from the lower right second molar to the lower right canine biting with the lower right first molar ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$, $\alpha = 0.5$).

Following calculation leads shearing force, bending moment and torsion moment. Unit is: N, shearing force; N·mm, bending moment; N·mm, torsion moment.

$$0 \leq y \leq 16$$

$$M_x' - 1860.62 + 538.51y = 0$$

$$\therefore M_x' = -538.51y + 1860.62$$

$$\text{Bending moment} = M_x = 538.51y - 1860.62$$

$$M_x(y=16) = 6755.60$$

$$\text{Shearing force} = dM_x/dy = 538.51$$

$$\text{Torsion moment} = M_y = -338.29$$

$$16 \leq y \leq 40$$

$$M_x' - 1860.62 + 538.51y - 660(y-16) = 0$$

$$\therefore M_x' = 121.49y - 8699.38$$

$$\text{Bending moment} = M_x = -121.49y + 8699.38$$

$$M_x(y=40) = 3839.92$$

$$\text{Shearing force} = dM_x/dy = -121.49$$

$$\text{Torsion moment} = M_y = -338.29$$

In case where figures include infinite decimal, the fractions are rounded off to three decimal places.

(b) 曲げモーメント図

解析した状態について、曲げモーメントの分布を一つの図にまとめた (Fig. 7)。横軸は、剪断力図と同様、歯牙の種類を示す。縦軸はモーメントの大きさを示す。単位は N·mm で、符号は上方が正、下方が負である。曲げモーメントは、 α が大きくなるに従い、しだいに、咀嚼側では正の方向に、平衡側では負の方向に移動することがわかる。曲げモーメント図は α が大きくなるに従い、時計回りに回転した。曲げモーメントの最大値は $\alpha=1.5$ の場合に発生し、右側小臼歯、右側第一大臼歯で噛む場合の値はそれぞれ +8490 N·mm、+12040 N·mm、発生部位はそれぞれ右側小臼歯、右側第一大臼歯、曲げモーメントの最小値は $\alpha=1.5$ の場合に発生し、右側小臼歯、右側第一大臼歯で噛む場合の値はそれぞれ -11130 N·mm、-14040 N·mm、発生部位はそれぞれ下顎の左側または右側第二大臼歯部であった。

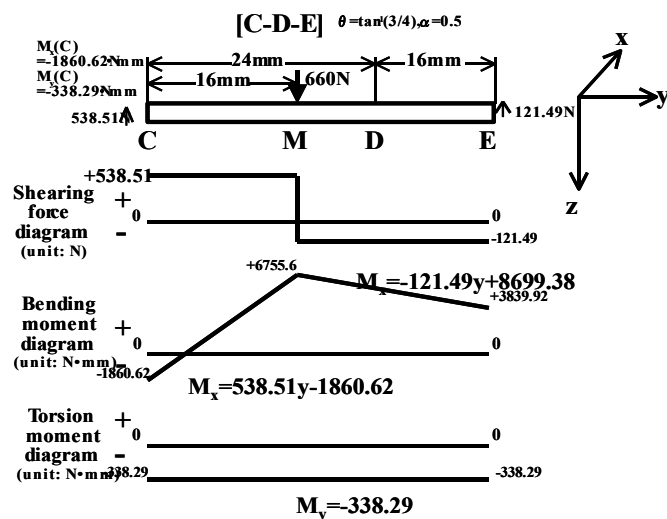


Fig. 5 Shearing force diagram, bending moment diagram and torsion moment diagram of a human mandible from the lower right second molar to the lower right canine biting with the lower right first molar ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$, $\alpha = 0.5$).

(c) ねじりモーメント図

解析した状態について、ねじりモーメントの分布を一つの図にまとめた (Fig. 8)。横軸、縦軸、単位、符号のとり方は曲げモーメント図と同様である。ねじりモーメントの値は、 α が大きくなるに従い、前歯部、臼歯部ともにしだいに正の方向に移動した。ねじりモーメント図は α が大きくなるに従い、上方に移動した。ねじりモーメントの最大値は右側第一大臼歯で噛む場合でかつ $\alpha=1.5$ の場合に発生し、作業側では +860N·mm、前歯部では +6240N·mm、平衡側では +2550N·mm であった。

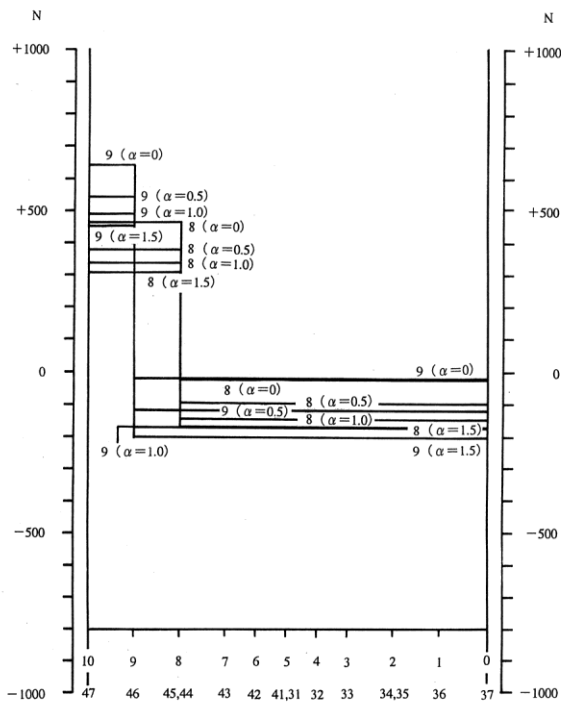


Fig. 6 Shearing force diagram ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$).

The value of shearing force was decreased according to an increase of α . The largest value of shearing force was +640N in the molar zone in $\alpha = 0$ biting with the right first molar.

4. 考察

窪木らは片側咀嚼の進行に伴う咀嚼筋活動について、咀嚼開始直後には左右の筋活動量の差は小さいが咀嚼進行に伴い、非咀嚼側の筋活動量が減少し咀嚼側優勢の筋活動パターンを示す、すなわち咀嚼開始時にはすべての筋活動量は高いが、咀嚼筋活動がリズムカルになると、非咀嚼側の咬筋、内側翼突筋の筋活動量が低下し、咀嚼側の咬筋、内側翼突筋、両側の側頭筋前部の筋活動が優位となるとのべている^{3,4)}。本研究では平衡側と作業側の下顎挙上筋の合力の比を 0~1.5 まで変動させた。剪断力、曲げモーメント、ねじりモーメントの変化は作業側と平衡側の閉口筋（下顎挙上筋）と下顎頭に作用する力の変化に基づく。本研究では平衡側の閉口筋力が増加するにしたがい平衡側の下顎頭に作用する力は増加した。その変化が反映されたものと思われる。

剪断力については、作業側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の減少と平衡側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の増加によってしだいに負の方向に移動したものと思われる。

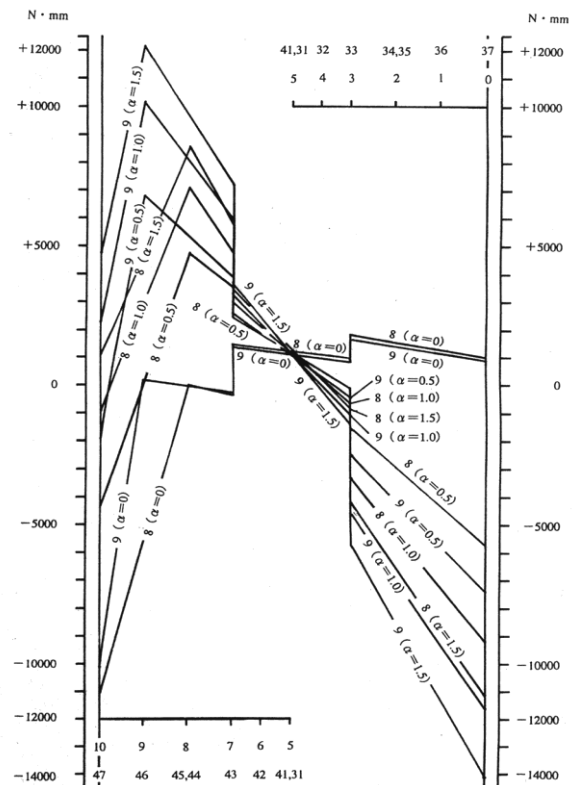


Fig. 7 Bending moment diagram ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$).

At masticatory site, the value of bending moment increased according to an increase of α . On the other hand, at balancing side, the value of bending moment decreased according to an increase of α . The largest absolute value of bending moment was +14040N·mm in the molar zone at balancing side in $\alpha = 1.5$ biting with the right first molar.

曲げモーメントについては、作業側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の減少と平衡側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の増加によって、作業側の曲げモーメントが正の方向に移動し、平衡側の曲げモーメントが負の方向に移動したものと思われる。曲げモーメント図において曲げモーメントを示す直線の傾きは剪断力の値に等しいので、立ち上がりは急上昇し、極大点に達した後、急降下したのである。

ねじりモーメントについては、作業側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の減少と平衡側の閉口筋力と下顎頭に作用する力の増加によって、作業側および平衡側で正の方向に移動したものと思われる。これは α が大きくなると作業側の咀嚼筋力の負担割合が減少するが顎関節部の反力の減少度がそれを上回るためである。

次に、Champy らの報告²⁾と本研究の結果を右側小臼歯・第一大臼歯で咬合する場合で定量的に比

較してみる。前者の場合は、曲げモーメントは前歯部では $-100\sim-50\text{kgf}\cdot\text{mm}=-980\sim-490\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 1)、大臼歯部では $+1,700\sim+800\text{kgf}\cdot\text{mm}=+16660\sim+7840\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 2)、ねじりモーメントは前歯部では $+40\sim+25\text{kgf}\cdot\text{mm}=+392\sim+245\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 3)、小臼歯部、大臼歯部では $0\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 4) であった。

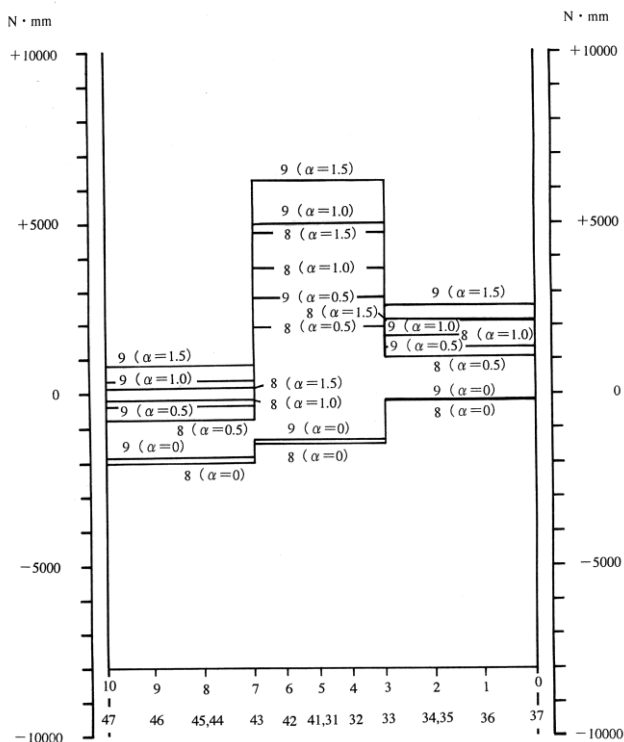


Fig. 8 Torsion moment diagram ($\theta = \tan^{-1}(3/4)$).

The value of torsion moment increased according to an increase of α in both anterior and posterior zone. The largest value of torsion moment was $+860\text{N}\cdot\text{mm}$ at working side, $+6240\text{N}\cdot\text{mm}$ in the anterior zone and $+2550\text{N}\cdot\text{mm}$ at balancing side in $\alpha=1.5$ biting with the right first molar.

本研究の解析結果を示す。前者が小臼歯、後者が第一大臼歯で噛む場合である。絶対値が最大となる曲げモーメントの値は前歯部では $+3430(\alpha=1.5)\sim+3600(\alpha=1.5)\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 5)、大臼歯部では $-11130(\alpha=1.5)\sim-14040(\alpha=1.5)\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 6)、ねじりモーメントの値は前歯部では、右側小臼歯で噛む場合 $-1470(\alpha=0)$ 、 $+1970(\alpha=0.5)$ 、 $+3690(\alpha=1.0)$ 、 $+4720(\alpha=1.5)\text{N}\cdot\text{mm}$ 、右側第一大臼歯で噛む場合 $-1350(\alpha=0)$ 、 $+2870(\alpha=0.5)$ 、 $+4980(\alpha=1.0)$ 、 $+6240(\alpha=1.5)\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 7)、小臼歯部、大臼歯部では $+2150(\alpha=1.5)\sim$

$+2550(\alpha=1.5)\text{N}\cdot\text{mm}$ (条件 8) であった。条件 2 の場合は、曲げモーメントのプラスの場合を上凸に、マイナスの場合を上凹としている。従って、条件 6 とほぼ同じとみてよい。条件 1 と条件 5 を絶対値で比較すると、条件 5 は条件 1 の 3.5 ~ 7.3 倍である。条件 3 と条件 7 を比較すると、条件 7 は、右側小臼歯で噛む場合、条件 3 の $-3.8(\alpha=0)$ 、 $+5.0(\alpha=0.5)$ 、 $+9.4(\alpha=1.0)$ 、 $+12.0(\alpha=1.5)$ 倍、右側第一大臼歯で噛む場合、条件 3 の $-5.5(\alpha=0)$ 、 $+11.7(\alpha=0.5)$ 、 $+20.3(\alpha=1.0)$ 、 $+25.5(\alpha=1.5)$ 倍である。 α が大きいときは咀嚼活動前期の値を、 α が小さいときは咀嚼活動後期の値を示しているの、咀嚼活動後期の値が Champy らの報告²⁾に近いと考えられる。本研究では α を4種類設定したので解析可能なモデルが拡大した。条件 4 と条件 8 を比較すると条件 4 では全く作用しないとしているのに対して、条件 8 では臼歯部においてもねじりモーメントが作用する結果となった。生体では臼歯部にもねじりモーメントが作用していると思われる。次に、Champy らの報告²⁾と本研究の結果を定性的に比較してみる。両者ともに、片側第一大臼歯、片側小臼歯で噛む場合に、前歯部において左右対称にねじりモーメントが作用している。この点では両者はほぼ同じ傾向を示している。本研究では下顎骨の臼歯部が正中矢状面と傾斜しているモデルを用いて、平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合を変動させてその影響を解析する方法を新たに考案した。これによって解析可能な対象がさらに拡大した。特定の個人について下顎骨に作用する力を解析するためには解析対象となる個人のデータが確定すればよい。それを用いて、いかなるモデルについても解析することが可能である。したがって本研究で開発した解析方法は応用性が大きな方法であると考えられる。

5. 結論

本研究では生体に近いモデル・ケースとして、下顎骨の臼歯部と正中矢状面が傾斜しているモデルの解析方法を用いて、平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合の変動の影響を検討した結果、咀嚼筋力、顎関節部における反力、咬合力によって下顎骨に発生する内力のうち剪断力、曲げモーメント、ねじりモーメントに関して解析し以下の結論を得た。 α は平衡側と作業側との下顎挙上筋の合力の比を表わす。

(1) 剪断力は α が大きくなるに従いしだいに負の方向に移動した。剪断力図は α が大きくなるに従い、下方に移動した。

(2) 曲げモーメントは、 α が大きくなるに従い、しだいに咀嚼側では正の方向に、平衡側では負の方向に移動した。曲げモーメント図は α が大きくなるに従い、上方に移動した。

なるに従い、時計回りに回転した。

(3) ねじりモーメントの値は、 α が大きくなるに従い、前歯部、臼歯部ともにしだいに正の方向に移動した。ねじりモーメント図は α が大きくなるに従い、上方に移動した。

(4) 本研究では下顎骨の臼歯部が正中矢状面と傾斜しているモデルを用いて、平衡側と作業側の咀嚼筋力の負担割合を変動させて、下顎骨に発生する内力のうち剪断力、曲げモーメント、ねじりモーメントに与える影響を解析する方法を新たに考案した。これによって解析可能な対象がさらに拡大した。特定の個人について下顎骨に作用する力を解析するためには解析対象となる個人のデータが確定すればよい。それを用いて、いかなるモデルについても解析することが可能である。本研究で開発した解析方法は応用性が大きな方法であると考えられる。

本論文の要旨は平成 15 年度秋期第 42 回日本歯科理工学会学術講演会（2003 年 9 月、岩手県盛岡市）および第 12 回顎顔面バイオメカニクス学会大会（2004 年 11 月、東京）において発表した。

参考文献

- 1) 草野雅章, 瀧岡 渡, 池田悦子, 熨斗利光, 村上和宏, 山本一彦, 杉村正仁: 人下顎骨に作用する力の材料力学的解析, 顎顔面バイオメカニクス学会誌, 7(1), 48-57, 2001.
- 2) Champy M, Loddè JP, Schmitt R, Jaeger JH, Muster D, Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach, J Maxillofac Surg, 6, 14-21, 1978.
- 3) 窪木拓男: 顎関節部負荷ならびに顎関節構造の対負荷特性に関する生物力学的研究 第 2 編片側噛みしめ時ならびに片側咀嚼時における顎関節部負荷の導出およびその検証, 岡山歯誌, 9, 197-217, 1990.
- 4) 窪木拓男, 木尾正人, 矢谷博文, 山下敦: 片側咀嚼時咬合相のバイオメカニクス, 日顎誌, 3(2), 66-78, 1991.

