

〔原著〕 松本歯学 38 : 101~107, 2012

**key words** : 食物咀嚼, 上部構造物の変形, チタン, 3点曲げ試験

## 食物咀嚼を想定したインプラント支持ブリッジの変形 -肉厚・支台間距離の影響-

伊藤 賢<sup>1</sup>, 輿 秀利<sup>1</sup>, 中村 正和<sup>1</sup>, 永沢 栄<sup>2,3</sup>, 伊藤 充雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>総合インプラント研究センター

<sup>2</sup>松本歯科大学 歯科理工学講座

<sup>3</sup>松本歯科大学 大学院 硬組織疾患制御再建学講座

<sup>4</sup>バイオマテリアル研究所

Deformation of the implant support bridge which supposes food mastication  
-thickness of pontic and the distance between abutments-

KEN ITO<sup>1</sup>, HIDETOSHI KOSHI<sup>1</sup>, MASAKAZU NAKAMURA<sup>1</sup>,  
SAKAE NAGASAWA<sup>2,3</sup> and MITSUO ITO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*General Implant Research Center*

<sup>2</sup>*Department of Dental Materials, Matsumoto Dental University*

<sup>3</sup>*Department of Hard Tissue Research, School of Dentistry, Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University*

<sup>4</sup>*Institute for Biomaterials Co., LTD.*

### Summary

The cantilever condition occurring in implant bodies during food-mastication was evaluated using JIS type 2 titanium plates of 0.8 (T08), 1.0 (T10), and 2.0 (T20) mm in thickness, according to a method similar to the three-point bending test. A tablet was set in the intermediate area of each titanium plate. The distance between abutment teeth was changed from 10 to 45 mm, load was applied to the tablet using a universal testing machine, and the deflection volume of each plate at the time of tablet fracture was measured. The relationship between the thickness of titanium plates and deflection volume and that between the distance between abutment teeth and deflection volume were compared and evaluated.

As a result, during tablet mastication, plastic deformation of T08 occurred when the distance between abutment teeth was 15 mm, and that of T10 occurred when the distance between abutment teeth was 25 mm ; however, plastic deformation of T20 did not occur when the distance between abutment teeth was within 45 mm. Furthermore, when plastic defor-

mation occurred, the deflection volume of the JIS type 2 titanium plate rapidly increased, exceeding the calculated value in the three-point bending test. These results revealed that, when JIS type 2 titanium bridges with a long distance between abutment teeth are set to implant bodies, it is necessary to set their thickness to more than 2 mm. Furthermore, to avoid the cantilever condition in implant bodies, the minimum requirement was considered to be that plastic deformation of the superstructures does not develop during food mastication.

## 緒 言

インプラント体を植立後, 貴金属合金, 陶材, ジルコニア, チタンなどを用いて, 上部構造物を作製し, 咀嚼機能の回復を行う。咀嚼効率を良くすることは重要ではあるが, 咀嚼時の力がインプラント体のどの方向に負荷されるかが問題になる。

咀嚼力がインプラント体に対して斜めの方向であれば, 骨に対して応力が繰り返されることによって骨の吸収が生じる危険性があることや<sup>1)</sup>, インプラント体の破折<sup>2),3)</sup>につながると考えられる。

上部構造物の咬合面の幅とインプラント体の直径の関係からカンチレバー状態の発生が指摘されている<sup>4)</sup>。また, 連続した2個のポンテックを持つブリッジに咬合圧が付加されると1個のポンテックの場合より, 8倍のたわみが生じ, 連続した3個のポンテックでは27倍のたわみが生じることが報告されている<sup>4)</sup>。

天然歯を支台としたブリッジの場合, 充分な大きさを持った歯根と衝撃を吸収する歯根膜によって保護されているため, ブリッジの設計における許容範囲は比較的広くなる。しかしながら, インプラント体を支台としたブリッジの場合, 天然歯に比べてインプラントの直径は圧倒的に細く且つ骨と直接結合していることから, 咀嚼時の衝撃が骨やインプラントに伝わり易く, より厳密な設計が求められるものと予想される。また, 支台歯間距離の長短や構成する材料の機械的性質によって, ブリッジのたわみ量がことなり, インプラントに掛かるカンチレバーの大小もことなると考えられる。カンチレバー状態の発生によって, 骨やインプラント体のみならず, インプラント体上部構造物をねじ止めた場合のねじと, 上部構造物を接着した場合の接着材に対してもせん断応力

が発生すると考えられる。このせん断応力が原因してねじの破断や接着材の破壊が生じ上部構造物の脱落の原因になると考えられる。したがって, 食品を咀嚼するときの力を知ることは重要である。

森川<sup>5)</sup>は干しブドウ, 柿の種, ピーナッツ, さきイカを咀嚼するときの力を測定し, 干しブドウは平均10.7 kgf (104.9N), 柿の種は平均8.3 kgf (81.4N), ピーナッツは平均12.7 kgf (124.5N), さきイカは平均17.2 kgf (168.7N)であり, 実験に用いた食品中さきイカはもっとも大きな咀嚼力が必要であることを報告している。そのほかに, さきイカとピーナッツを用いて咀嚼力を測定した坂東<sup>6)</sup>, 岡崎<sup>7)</sup>, 三浦ら<sup>8)</sup>による結果によると, さきイカの咀嚼力の平均値は12.4から17.2 kgf, ピーナッツは8.5から30.0 kgfであった。研究者によって, 各食品の咀嚼力に差があるのは, 食品が同一品質でないためと測定方法の違いによるものと考えられる。したがって, 基準として実験に用いる咀嚼物は, 破壊強度の偏差の小さい食品を選定する必要がある。均一な強度で製造されている食品としてはラムネ, フリスクペパーミント等のタブレットが挙げられる。

本研究は, インプラント上部構造を設計する際の大まかな基準値を決定するために, 3種類の肉厚の異なるチタン板を用い, ブリッジの支台歯間の距離とチタン板の肉厚によって, 食品咀嚼時のブリッジのたわみがどのように異なるかについて模擬実験を行い検討することとした。

食品には, 森川<sup>5)</sup>らが示している咀嚼力13 kgf (127.5N) 付近で破壊するピーナッツと同等の値をしめすフリスクペパーミントのタブレットを用いた。タブレットをチタン板上の中間部にセットし, 万能試験機を用いてタブレットが破壊するまで荷重を負荷し, 破壊時のチタン板のたわみ量を測定した。たわみ量が小さい場合, インプラント

体はカンチレバー状態になりにくいものと考えられるため、たわみ量の大小とチタン板の厚さおよび支点間距離（以下、支台歯間距離と表示する）との関係について比較検討した。

### 材料および方法

実験は肉厚0.8 mm (T08), 1 mm (T10) と 2 mm (T20) で、幅 8 mm, 長さ 50 mm (愛知製鋼株式会社, 愛知, 日本) の JIS 2 種のチタン板を用いて行った。以下の文中には略号で記載する。

#### 1. 比例限のたわみ量と荷重の測定

チタン材料は、肉厚や試料により物性値に大きな違いが存在することが知られている<sup>9)</sup>。そこで、まず試験片の物性値を得るために、各肉厚のチタン板を用い、支点間距離 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm と 45 mm に設定し、万能試験機 (SV-301, 今田製作所, 豊橋, 日本) を用いて 3 点曲げ試験を行い、比例限の荷重とたわみ量をロードセルの移動量から測定した。測定は各条件 7 回 (N7) 行った。

#### 2. タブレットの咀嚼時のたわみ量の測定

咀嚼物には圧縮破壊強度約 13 kgf (127.5N) のフリスクペーパーミント (クラシエフーズ株式会社, 東京, 以下タブレットと記載する) を用いた。実験方法は図 1 に示す方法で、支台歯間距離は 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm と 45 mm に設定した。支台歯間のチタン板の中間部に咀嚼物としてタブレットをセットし、万能試験機を用い、荷重を負荷した。荷重負荷条件は 0.5 mm/min で行った。タブレットの変形量が極めて少ないことから、タブレット

が破壊した時点のチタン板のたわみ量をロードセルの移動量から測定した。測定は各条件 7 回 (N7) 行った。

#### 3. 統計処理

各測定値を統計ソフト (エクセル統計 2006, 社会情報サービス, 東京, 日本) を使用して、分散分析を行った。その結果, 95% の信頼限界については  $P < 0.05$  で文中に表示した。

## 結 果

#### 1. チタン板の機械的性質

チタン板 T08, T10 と T20 の曲げ強さと、最大荷重時のひずみ量の測定結果を表 1 に示す。T08 の曲げ強さは  $921.6 \pm 16.8$  MPa, T10 は  $911.6 \pm 17.7$  MPa そして T20 は  $921.6 \pm 16.8$  MPa であった。一元配置分散分析の結果, 素材間に有意な差は認められなかった。なお, T08 では支台歯間距離 30 mm 以上, T10 では支台歯間距離 35 mm 以上においてはたわみが大きく, 治具の寸法上の制限から曲げ強さの測定は不可能であった。このため, 以後 T08 で支台歯間距離 30 mm 以上, T10 で支台歯間距離 35 mm 以上の測定は割愛した。

#### 2. 比例限の荷重とたわみ量

図 2 と 3 は比例限における荷重とたわみ量を示す。支台歯間距離 10 mm における T08 の比例限の荷重は  $135.4 \pm 10.2$  N, T10 は  $343.7 \pm 10.8$  N そ

表 1 : チタン板の曲げ強さとひずみ量

| 肉厚     | 曲げ強さ                 | ひずみ量            |
|--------|----------------------|-----------------|
| 0.8 mm | $921.6 \pm 16.8$ MPa | $5.8 \pm 0.3\%$ |
| 1.0 mm | $911.6 \pm 17.7$ MPa | $6.1 \pm 0.6\%$ |
| 2.0 mm | $921.6 \pm 16.8$ MPa | $4.5 \pm 0.2\%$ |

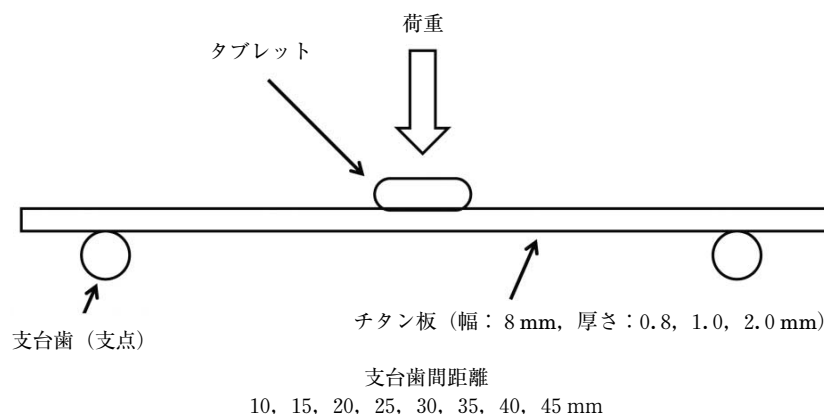


図 1 : 実験方法

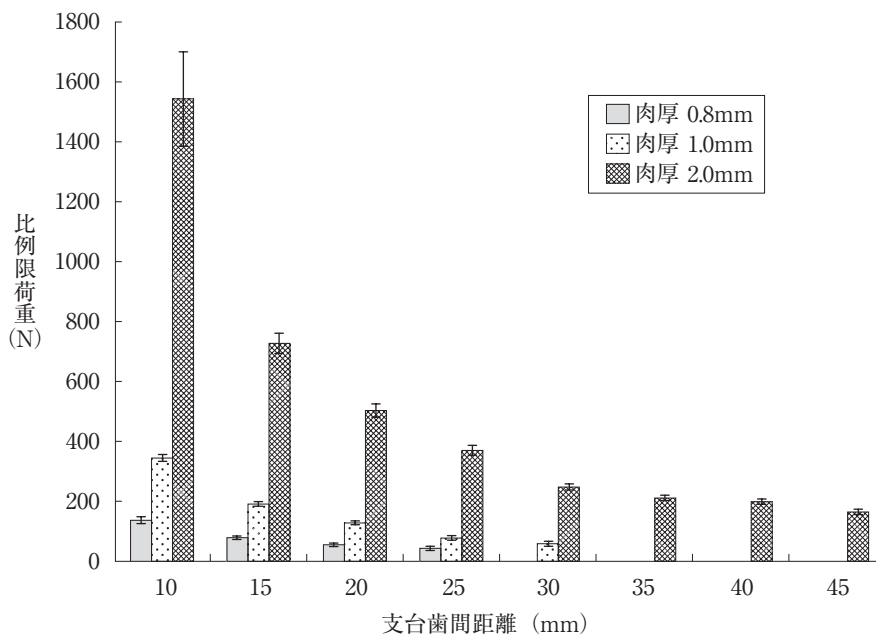


図2: 3点曲げ試験によるチタン板の比例限荷重

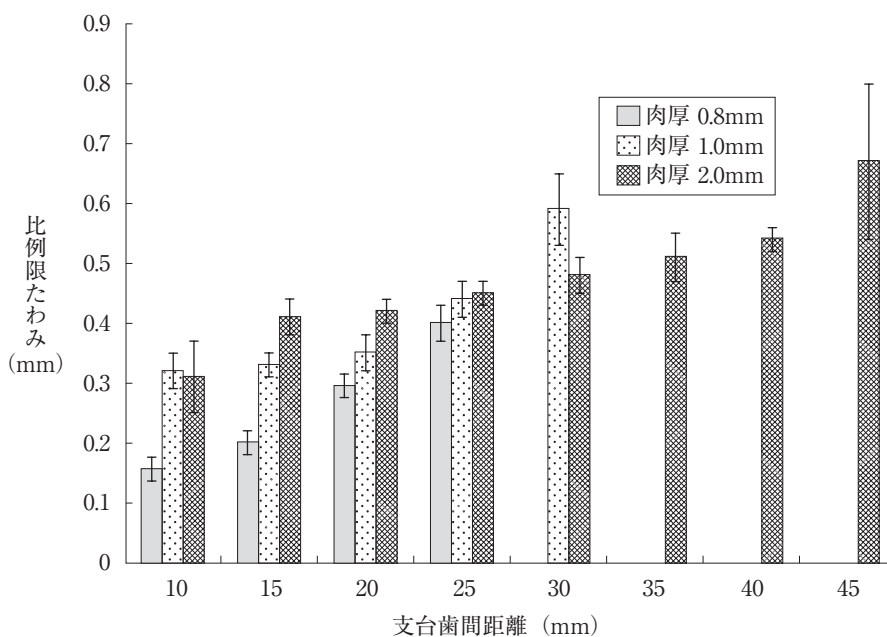


図3: 3点曲げ試験によるチタン板の比例限におけるたわみ量

してT20は $1544.1 \pm 158.0\text{N}$ であった。支台歯間15 mmにおけるT08の比例限の荷重は $78.6 \pm 3.9\text{N}$ , T10は $190.9 \pm 8.5\text{N}$ そしてT20は $727.7 \pm 32.8\text{N}$ であった。支台歯間距離20 mmにおけるT08の比例限の荷重は $55.9 \pm 4.3\text{N}$ , T10は $128.1 \pm 3.3\text{N}$ そしてT20は $503.1 \pm 22.8\text{N}$ であった。支台歯間距離25 mmにおけるT08の比例限の荷重は $43.0 \pm 3.5\text{N}$ , T10は $77.1 \pm 9.4\text{N}$ そしてT20は $371.1 \pm 16.8\text{N}$ であった。支台歯間30 mmにお

けるT10の荷重は $58.1 \pm 5.8\text{N}$ そしてT20は $247.3 \pm 11.7\text{N}$ であった。支台歯間距離35 mmにおけるT20の比例限の荷重は $212.1 \pm 8.9\text{N}$ であった。支台歯間距離40 mmのT20の荷重は $198.1 \pm 6.3\text{N}$ であった。支台歯間距離45 mmのT20の荷重は $165.0 \pm 7.6\text{N}$ であった。

支台歯間距離10 mmにおけるT08の比例限のたわみ量は $0.16 \pm 0.02\text{ mm}$ , T10は $0.32 \pm 0.03\text{ mm}$ そしてT20は $0.31 \pm 0.06\text{ mm}$ であった。支

台歯間15 mm における T08の比例限のたわみ量は0.20±0.02 mm, T10は0.33±0.02 mm そして T20は0.41±0.03 mm であった. 支台歯間距離20 mm における T08の比例限のたわみ量は0.3±0.02 mm, T10は0.37±0.03 mm そして T20は0.42±0.02 mm であった. 支台歯間距離25 mm における T08の比例限のたわみ量は0.40±0.03 mm, T10は0.44±0.03 mm そして T20は0.45±0.02 mm であった. 支台歯間30 mm における T10のたわみ量は0.59±0.06そして T20は0.48±0.03 mm であった. 支台歯間距離35 mm における T20の比例限のたわみ量は0.51±0.04 mm であった. 支台歯間距離40 mm の T20のたわみ量は0.54±0.02 mm であった. 支台歯間距離45 mm の T20のたわみ量は0.67±0.13 mm であった. 一元ならびに二元配置分散分析の結果, 当然ではあるが, 支台間距離, 肉厚, その交互作用において有意差 (P<0.05) が認められた.

3. タブレットを咀嚼時のたわみ量

図4はタブレットを咀嚼するときの支台歯間距離と各チタン板のたわみ量を測定した結果である. 支台歯間距離10 mm における T08の咀嚼時のたわみ量は0.147±0.030 mm, T10は0.114±0.020 mm そして T20は0.015±0.006 mm であった. 支台歯間15 mm における T08の咀嚼時のた

わみ量は0.445±0.040 mm, T10は0.146±0.026 mm そして T20は0.021±0.009 mm であった. 支台歯間距離20 mm における T08の咀嚼時のたわみ量は1.381±0.151 mm, T10は0.399±0.047 mm そして T20は0.053±0.011 mm であった. 支台歯間距離25 mm における T08の咀嚼時のたわみ量は4.890±0.362 mm, T10は0.666±0.059 mm そして T20は0.078±0.010 mm であった. 支台歯間30 mm における T10のたわみ量は1.379±0.166そして T20は0.124±0.008 mm であった. 支台歯間距離35 mm における T20の比例限のたわみ量は0.227±0.036 mm であった. 支台歯間距離40 mm の T20のたわみ量は0.306±0.028 mm であった. 支台歯間距離45 mm の T20のたわみ量は0.427±0.059 mm であった.

一元ならびに二元配置分散分析の結果, 支台間距離, 肉厚, その交互作用において有意差 (P<0.05) が認められた.

表2はタブレットの咀嚼時におけるチタン板の肉厚および支台歯間距離と塑性変形の関係を示す. T08は支台歯間距離15 mm から塑性変形が認められた. T10は支台歯間距離25 mm から塑性変形が認められた. T20に関しては塑性変形を認めなかった.

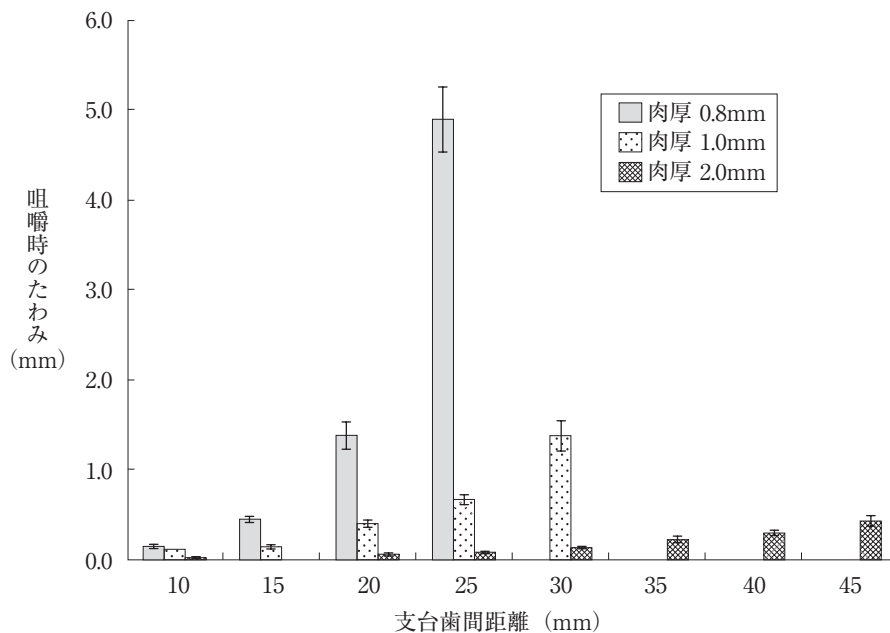


図4：タブレット咀嚼（食品破壊）時のたわみ量

表2: タブレット破碎時のチタン板厚み・支台歯間距離別の塑性変形の有無

| 支台歯間距離(mm) | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T 08       | ◎  | ×  | ×  | ×  | -  | -  | -  | -  |
| T 10       | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ×  | -  | -  | -  |
| T 20       | ◎  | ◎  | ◎  | ◎  | ◎  | ◎  | ◎  | ◎  |

◎塑性変形なし, ×塑性変形あり

## 考 察

本研究は3種類の肉厚の異なるチタン板を用い、ブリッジの支台歯間距離がインプラント体のカンチレバー状態の発生に及ぼす影響について模擬実験を行った。

3点曲げの状態では、チタン板上のタブレットに荷重を負荷し、タブレットが破断した時点のチタン板のたわみを測定した。インプラント体に対するカンチレバー状態の発生が少ない場合は、チタン板のたわみ量が少なく、逆にカンチレバー状態の発生が大きい場合は、たわみが大きくなる現象を比較して検討を行った。

実験に用いた3種類のチタンの曲げ強さ、ひずみ量ともに差が認められず、ほぼ同一の材質と考えられた。

チタン板の肉厚と支台歯間距離を変化させ比例限について測定を行った結果、チタン板の肉厚が大きくなるほどたわみ量は小さくなり、支台歯間距離が長くなると、比例限のたわみ量は大きくなる傾向であった。また、比例限の荷重を測定した結果、チタン板の肉厚が増加するほど大きくなり、支台歯間距離が増加するほど荷重は減少する傾向であった。

タブレットを咀嚼するときのチタン板のたわみ量はチタン板の肉厚が増加するほど少ない傾向であった。また、支台歯間距離が増加するほどたわみ量は大きくなる傾向であった。塑性変形はチタン板の肉厚が小さく、支台歯間距離が長いほど生じやすい傾向であった。T20に関しては支台歯間距離45 mmまで塑性変形は認められなかった。

ミッシュ<sup>4)</sup>はポンテックの数が増加するとたわみ量が増加することを報告している。本実験のチタン板では、肉厚0.8 mmにおいて、支台歯間距離10 mmのタブレット咀嚼時におけるたわみ量は、0.147 mm、支台歯間距離20 mmでは1.381

mmであった。支台歯間距離20 mmのたわみ量は同10 mmのたわみ量と比較して約9倍であった。支台歯間距離25 mmでは同10 mmの約33倍、4.890 mmのたわみ量であった。

チタン板の肉厚1.0 mmにおいては、支台歯間距離10 mmのタブレット咀嚼時におけるたわみ量は0.114 mmであり、支台歯間距離20 mmでは同10 mmの約3.5倍、0.399 mmであった。支台歯間距離30 mmでは同10 mmの約12倍、1.379 mmであった。

チタン板の肉厚2.0 mmの支台歯間距離10 mmのタブレット咀嚼時におけるたわみ量は0.015 mmであり、支台歯間距離20 mmでは同10 mmの約3.5倍、0.053 mmであった。支台歯間距離30 mmでは同10 mmの約8倍、0.124 mm、支台歯間距離40 mmでは同10 mmの約20倍、0.306 mm、支台歯間距離45 mmでは同10 mmの約28倍、0.427 mmであった。

図5はタブレットを咀嚼するときのたわみ量を、図2と図3の値を用いて求めた3点曲げ試験の計算値<sup>10)</sup>と比較したものである。たわみは、塑性変形が生じると計算値より急激に大きくなり、支台となるインプラント体に大きな捩転力が生じるものと考えられた。また、タブレット程度の大きさの食品では、塑性変形の可能性やたわみ量を、3点曲げ試験によって近似可能であると考えられた。

以上の結果から、インプラント植立後、支台歯間距離が長いJIS 2種チタン製ブリッジをセットする場合は肉厚を2 mm以上にする必要があると考えられた。また、支台歯間の距離が長くなるに従い、咀嚼時のたわみ量が大きくなる傾向があり、たわみ量が大きくなるとインプラント体に対してカンチレバー状態が発生し、接着材の破壊、骨の吸収やインプラント体の疲労破壊に対する原因になる可能性があると考えられた。

今後は様々な上部構造用材料を用い、カンチレバー状態が発生しない材料の選定を行う必要があることが示唆された。

## 結 論

食品咀嚼時にインプラント体に生じるカンチレバー状態について検討するために、3点曲げ試験と同様の方式に従い、肉厚0.8 mm、1.0 mmと

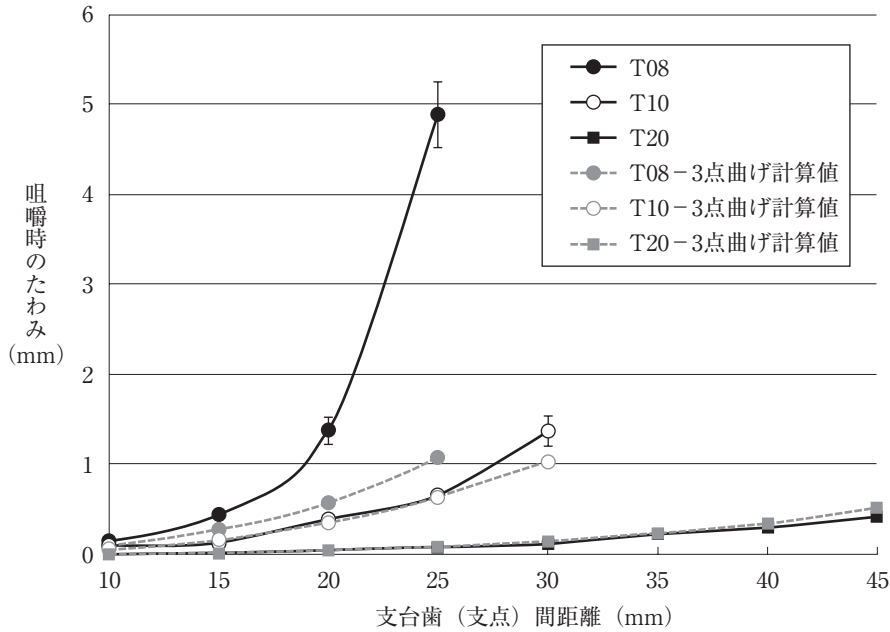


図5：タブレット咀嚼（食品破壊）時のたわみ量と，3点曲げ試験におけるたわみの計算値

2.0 mm の JIS 2 種チタン板について検討した。支台歯間距離を10～45 mm まで変化させ，チタン板の中間部分にタブレットをセットし，万能試験機でタブレットに荷重を負荷し，タブレットが破断した時点のたわみ量をそれぞれに測定した。タブレット破壊時におけるチタン板の厚さとたわみの関係と支台歯間距離との関係について比較検討を行った。その結果，タブレット咀嚼時において以下の結論が得られた。

1. 肉厚0.8 mm の JIS 2 種チタン板は，支台歯間距離15 mm において塑性変形が発生する。
2. 肉厚1.0 mm の JIS 2 種チタン板は，支台歯間距離25 mm において塑性変形が発生する。
3. 肉厚2.0 mm の JIS 2 種チタン板は，45 mm までの支台歯間距離では塑性変形が生じない。
4. JIS 2 種チタン板のたわみ量は，塑性変形が生じると，3点曲げ試験の計算値より急激に大きくなる。
5. 支台歯間距離が長い JIS 2 種チタン製ブリッジをインプラント体にセットする場合には，肉厚を 2 mm 以上にする必要がある。
6. インプラント体をカンチレバー状態にしないためには，食品咀嚼時に上部構造物が塑性変

形しないことが最低条件と考えられた。

#### 文 献

- 1) Carl EM (前田芳信, 他訳, 2007) インプラント補綴, 1 版, 79, 永末書店, 京都.
- 2) Nagasawa S, Hayano K, Niino T, Yamakura K, Yoshida T, Mizoguchi T, Terashima N, Tamura K, Ito M, Yagasaki H, Kubota O and Yoshimura M (2008) Nonlinear stress analysis of titanium implants by finite element method. *Dent Mater J* 27: 633-9.
- 3) 早野圭吾 (2009) インプラント体の構造と強度に関する研究. *松本歯学* 35: 249-60.
- 4) Carl EM (2008) *Contemporary Implant Dentistry*, 3rd ed, 150, Mosby Elsevier, St. Louis.
- 5) 森川昭彦 (1994) 下顎第一大臼歯における機能時の咬合力に関する研究. *口病誌* 61: 250-74.
- 6) 坂東永一 (1969) 口顎機能のテレメータリング. *ME 誌* 7: 281-8.
- 7) 岡崎正史 (1988) 咀嚼力の三次元的回析に関する研究. *歯科学報* 88: 1643-66.
- 8) 三浦不二夫, 角田正明 (1954) 咬合圧 (咀嚼圧) に関する研究. *日歯医師会誌* 7: 293-8.
- 9) 高橋恭彦, 寺島伸佳, 吉田貴光, 出口雄之, 伊藤充雄 (2005) チタン棒材の直径と機械的性質の関係について. *松本歯学* 31: 155-9.
- 10) 長谷川二郎, 平澤 忠, 高橋重雄 (編) (1996) *現代歯科理工学*, 1 版, 38, 医歯薬出版, 東京.