原 著 論 文

義歯構造の相違がねじり強度に及ぼす影響

大久保力廣 鈴木 恭典 栗原 大介 福井 里枝
花谷 重守 阿部 實 宮田 孝義 尾花 甚一

Effect of Structural Designs in the Removable Partial Dentures on Torsion Strength

Chikahiro Ohkubo, Yasunori Suzuki, Daisuke Kurihara, Rie Fukui,
Shigeru Hanatani, Minoru Abe, Takayoshi Miyata and Jin-ichi Obana

Abstract : We have developed structural designs of three dimensional framework from a usual metal plate.

The framework consisting of double structure was representative of the structural designs, with the intention of improved mechanical strength and durability.

The purpose of this study was to investigate the effect of different structural designs on torsion strength by statical bending test, and to compare torsion stiffness of extension base removable partial denture by loading test on the simulation model.

The results obtained were as follows :

1. Torsion strength of the double structure was approximately 10 times that of skeleton types, and torsion stiffness was about 3 times.
2. When torsion moment was applied, principal strain of the skeleton types increased remarkably, but the double structure did not show significant change.
3. Distal displacement of the double structure increased approximately 20 μm by changing the loading point, but skeleton types increased 80~100 μm .

Key words : structural designs, double structure, torsion strength, torsion stiffness, extension base removable partial denture

I. 緒 言

「部分床義歯は堅固でなければならない」英国補綴歯科研究学会 (B.S.S.P.D.) が提唱する歯科補綴のための指標であるが¹⁾, 部分床義歯の使用中止に至る主因が, 義歯の破損や変形であることから当然の定義と考え

鶴見大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 尾花甚一教授)
The First Department of Prosthetic Dentistry, School of
Dental Medicine (Chief: Prof. Jin-ichi Obana)
平成 3 年 11 月 19 日受付

られる。

この点、金属床義歯はレジン床義歯に比較して強度的に優れており、設計の自由度や装着感など利点も多い。しかし、金属床義歯に関しても破損の症例は認められ、追加修理やリライニングなど、変化への対応が一般に困難であるという問題点もあった。

当教室ではこのような見地から、建築構造分野における構造設計の手法を有床義歯に応用することを試み、金属床義歯の問題点を改善すべく金属構造義歯ともいえるフレームワークデザインを検討してきた²⁻⁴⁾。その代表的設計が二重構造である。義歯の破損、変形および人工歯の磨耗を防止し、機能時に生じる義歯のたわみも最小限に抑制する構造を有し、すれ違い咬合や咬合挙上を必要とする低位咬合など義歯に過大な機能圧の加わる難易度の高い症例に大きな効果をあげている。

二重構造に関しては、長期の臨床的観察⁵⁾や基礎的研究⁶⁾を行ってきた。その目的は義歯の構造設計システムの確立と構造的強度特性の究明であり、これまでに理論的解析の実証および異なる構造を有する義歯の剛性と破折強度について検討した。

今回は義歯破損の要因のひとつと考えられるねじれ現象に着目し、義歯にねじりモーメントが作用した場合の破折強度と剛性および機能時の義歯の動態に関して実験的に検討を加えた。

II. 実験方法

二重構造と従来のスケルトンに近い構造に対して静的曲げ試験とシミュレーション実験を行った。

1. 静的曲げ試験

1) 試料の製作

試験片フレームワークの模式図を Fig. 1 に示す。二重構造は厚さ 1.0 mm の上部材と厚さ 1.5 mm の下部材を $\phi 2.0$ mm の支柱 4 本で連結した構造とし、これに $7.0 \times 7.0 \times 10.0$ mm の試験片把持部を付与した。スケルトン L は長さ 40 mm、スケルトン S は長さ 20 mm の下部材のみとし、これにリテンションピース（ジーシー社製サイズ L）および試験片把持部を付与した。フレームワークは白金加金（石福金属社製 PGA-3）を用いて鋳造製作し、Sn 表面処理後、床用接着性レジン（サンメディカル社製 METADENT）を填入、湿式重合を行い、 $7.0 \times 7.0 \times 50.0$ mm の寸法に成型した。ま

Fig. 1 Schematic drawing of specimen frameworks
試験片フレームワークの模式図

Fig. 2 Static bending test applied torsion moment
静的曲げ試験

た同寸法の試料を加熱重合レジン（ジーシー社製 Acron）を用いて製作し、比較試料とした。

試料数は 4 種とも 5 個ずつの、計 20 個である。

2) 測定方法

試料には Fig. 2 に示すように把持部から 35 mm の位置に荷重用ウイングをネジ止め固定し、試料中心より 10 mm 外側に荷重点を設定した。

測定はオートグラフィー（上島製作所製 UNITRON UST-F-1000 P）を用い、クロスヘッドスピード 2 mm/min で片持ちはり形式による曲げ試験を行い、ねじりモーメントを作用させた。また、把持部から 10 mm、30 mm の 2 カ所にストレインゲージ（共和電業社製トルクケージ KFC-5-D 2）を貼付し、荷重時のねじりひずみも同時に記録した。

Fig. 3 Framework designs in the experimental dentures
top : Double structure middle : Skeleton L
bottom : Skeleton S
3種類の実験義歯

3) 計測システム

ロードセル (昭和電業社製 RCB 100 K) とストレインゲージからの出力電圧は動ひずみ測定器 (共和電業社製 DPM-613 A) にて増幅後, A/D 変換し, パーソナルコンピュータ (HEWLETT PACKARD 社製 PS 9000 モデル 300) に取り込み, 演算および記録を行った。

2. シミュレーション実験

義歯にねじりモーメントが作用した場合の口腔内における挙動を解明するためにシミュレーション実験を行った。

1) 実験義歯の製作

シミュレーション模型は既往の研究⁶⁾に準じ, 欠損顎粘膜模型 (ニッシン社製 S-552) をもとに顎骨模型を超硬質石膏 (ジーシー社製 Fuji-rock) で, 歯根膜, 顎堤粘膜を弾性印象材 (ジーシー社製 Fit-checker) を用いて製作した。

実験義歯は³ コーヌス・テレスコープ支台の⁴⁵⁶⁷ 片側性遊離端義歯で, その構造は静的曲げ試験と同様に二重構造, スケルトン L, S の3種とした (Fig. 3)。フレームワークは白金加金, 義歯床は床用接着性レジンにより製作し, コアーを用いて可及的に同一形態に

Fig. 4 Statical loading test to measure torsion stiffness of a mandibular extension base removable partial denture
シミュレーション実験

仕上げた。

実験義歯はそれぞれの構造につき3個ずつ, 計9個製作した。

2) 測定方法

実験義歯の⁶ 相当部咬合面に3軸型ロゼットゲージ (共和電業社製 KFC-2-D-17) を貼付し, Fig. 4 に示すように³ 支台装置とそこから40 mm離れた遠心の中央部 (以下, 中央荷重) と頬側, 舌側方向にそれぞれ4 mmずつ変移させた頬側荷重, 舌側荷重の3種類の荷重を負荷した。

測定は荷重部にロードセル (共和電業社製 LM-20 KA) とダイヤルゲージ (共和電業社製 DT-20) を設置した定荷重圧縮試験器改良型を用いて, 3種類の荷重を負荷し, 荷重量, 変位量および主ひずみを同時計測した。

また1個の実験義歯については3回の測定を行い, 歯根膜および顎堤粘膜は1回の測定毎に交換した。

3) 計測システム

各センサーからの出力電圧は静的曲げ試験と同様に増幅後, A/D 変換し, コンピュータ処理した。

III. 結 果

1. 静的曲げ試験

1) ねじり強さ

4種試料のねじり強さ (降伏点荷重量) を Fig. 5 に示す。二重構造のねじり強さは 47.74 ± 7.40 kgf と最も大きく, スケルトン L, S の約9~12倍, レジン単体の約5倍の値を示した。平均値の差の検定の結果, L, S を除く試料間に危険率0.1%で有意差が認めら

Fig. 5 Effect of different structural designs on torsion strength
各試料のねじり強さ

Fig. 7 Effect of different structural designs on torsion stiffness
各試料のねじり剛性

Fig. 6 Effect of different structural designs on torsion strain
各試料のねじりひずみ

Fig. 8 Principal tensile strain of the experimental dentures
3 種実験義歯の引張主ひずみ

れた。

2) ねじりひずみ

1 kg 荷重時のねじりひずみの測定結果を Fig. 6 に示す。把持部より 10 mm の位置のねじりひずみは二重構造、スケルトン L, S はほぼ同等で 160~220 $\mu\epsilon$ を示し、レジン単体の約 1/3~1/2 であった。また 30 mm の位置においては二重構造が最も小さく 197.56 $\pm$ 24.91 $\mu\epsilon$ 、次いでスケルトン L, S、レジン単体の順であった。

部位別のひずみ値を比較すると二重構造とレジン単体がほぼ等しく、スケルトン L, S はともに 30 mm の位置のねじりひずみが 10 mm の約 2 倍の値を示した。

3) ねじり剛性

各種試料のねじり剛性（単位ねじれ角度を変位させるのに要する荷重量）を比較したものを Fig. 7 に示す。二重構造のねじり剛性は最も大きく 2.27 $\pm$ 0.38 kgf/ θ であり、スケルトン L, S の約 2.5~4 倍、レジン単体の約 10 倍の値を示した。またすべての試料間に危険率 0.1% で有意差が認められた。

2. シミュレーション実験

1) 荷重点の相違が義歯のひずみに及ぼす影響

Fig. 8 に頬側、中央、舌側の各部位に 10 kgf 荷重した時の実験義歯咬合面部に生じた引張主ひずみを示す。どの荷重点においても二重構造は最も小さく、10 kgf 荷重時にスケルトン L, S に比較して 300~500 $\mu\epsilon$ の差がみられ、一元配置分散分析を行った結果、危険率 1% で有意差が認められた。

荷重点別にみると 3 種実験義歯とも頬側荷重が最も大きな値を示し、次に舌側、中央荷重がほぼ同等な値であった。

スケルトン L, S においては荷重点の相違により最大約 180 $\mu\epsilon$ の差が観察されたものの、二重構造においては荷重点の相違による差がほとんど認められなかった。

2) 荷重点の相違が義歯の遠心端沈下量に及ぼす影響

3 種実験義歯の頬側、中央、舌側における 10 kgf 荷重時の遠心端沈下量を Fig. 9 に示す。沈下量は荷重量にほぼ比例して増大するが、二重構造はスケルトン L,

Fig. 9 Distal displacement of the experimental dentures

3 種実験義歯の遠心端沈下量

S より 10 kgf 荷重時に 70~160 μm , 有意に小さな値を示した。

荷重点別では 3 種の実験義歯で主ひずみと同様に頬側荷重が最も大きく, 次に舌側, 中央荷重がほぼ同等な値を示した。

スケルトン L, S においては頬側荷重時が中央部に比較して約 100 μm 有意に大きな値を示したが, 二重構造の荷重部位による沈下量の変化はほとんど認められなかった。

IV. 考 察

構造設計とは建築構造物が各種の荷重に対して十分安全であるように計画し, 計算することである⁷⁾。

当教室で考案した二重構造はこうした構造設計の手法を有床義歯分野に導入したものである。メタルティースと従来のスケルトンを支柱で連結したこの構造は力学的にはラーメン構造と考えられ, 有限要素法を応用することにより構造解析も可能である⁶⁾。すなわち, フレームワークの立体的構築に際し, 各部材の配置や寸法など細部にわたる設計も構造計算により理論的な修正ができるわけである。

二重構造に関しては, これまで破折強度や剛性について基礎的研究を行ってきた⁶⁾。今回は義歯破損の一因と考えられる, ねじりモーメントが義歯に作用したときの破折強度と剛性について検討した。

1. 静的曲げ試験

1) 試験法について

材料にねじりモーメントが作用する場合, 表面積にほとんど変化はみられない。また, その表面には最大せん断応力が発現するが中心には全く生じない。この

Fig. 10 Crack patterns of different structural designs

Fractured rein locations are seen (arrows)

top : Control resin, middle : Skeleton type,
bottom : Double structure

各試料の破壊様相

ように, ねじり試験は試験片に特異な応力勾配を与え, 純粋なせん断応力状態を生じせしめる唯一の試験法であるにもかかわらず, JIS では線材のねじり試験以外の規定はない⁸⁾。

他方, 臨床において義歯に加わる荷重は一樣ではなく引張, 圧縮のほかに曲げやねじりによる複雑な応力の発生が指摘されている^{9,10)}。そこで今回は実際の臨床に近づけ, 曲げとねじりを同時に作用させた組合せ応力試験¹¹⁾を行うこととした。これは工業界におけるアーム付きトーションバー¹²⁾などの試験法と原理的には同一のものである。

ねじりに関しても理論的解析は可能であり, 円柱棒や中空棒については実験結果と優れた一致をみることが知られている¹³⁾。しかし, 本研究のような断面形状の場合, 中心から表面までが等距離にないこと, 自由境界位置では応力が生じ得ないことから, その解析は複雑であり, 実験的な解明を行うこととした。

2) ねじり強さについて

実験結果から二重構造はスケルトン L, S の約 10 倍, レジン単体の約 5 倍と, 曲げ試験結果⁶⁾とほぼ同等な値を示し, 二重構造の構造的強度特性が立証された。

Fig. 10 に試料の破壊様相を示す。レジン単体においては最大引張応力による引き裂き破壊から, 螺旋状破壊へと展開し, スケルトン L, S は把持部の付着破壊から金属の走行に沿ったレジンの凝集破壊に結び付いている。一方, 二重構造は荷重点側に向かって約 45 度に傾斜するせん断破壊が試料の長軸にも傾斜して観察され, それぞれの試料で曲げとねじりの組合せ応力の作用する脆性的な破壊様相を示した。

今回の実験に関しても、スケルトン L, S がレジン単体よりも破壊しやすい結果を示したが、異種材料の接合に問題を提起するものであり、既報⁶⁾の研究結果にも矛盾しない。スケルトン型の破壊部位である支台装置と義歯床の連結部は統計的にも破折頻度の高い部位であり¹⁴⁾、同部の強固な設計が必要であることが再確認された。

3) ねじりひずみについて

ねじりの作用する物体に対して軸方向と 45 度にアクティブゲージを、それに直交するようにダミーゲージを貼付した場合、それぞれのゲージには絶対値が等しく極性の異なるひずみが発生するため¹⁵⁾、ねじりひずみの測定が可能である。しかし、今回の実験が曲げとねじりの組合せ応力試験であること、および試料が正方形断面であることなどから、厳密にはねじりによるせん断ひずみとはいえないと思われる。

4 種試料の 1 kg 荷重時のひずみは把持部から 10 mm および 30 mm の位置においても二重構造が最も小さく、剛性値の差を肯定するものである。しかも部位による差がほとんど認められないことから、ねじりによるせん断応力は広く分散しているものと考えられる。

4) ねじり剛性について

本実験が既述のように曲げとねじりの組合せ応力試験である以上、純粋なねじり剛性を算出するには、曲げによる変形成分を消去しなければならない。そこで曲げ試験の研究結果⁶⁾を利用し、差分処理からねじり剛性を求めた。

二重構造、スケルトン L, S, レジン単体の 4 種試料ともに、ねじり剛性は曲げ試験における剛性値とほぼ同等な傾向を示し、構造的強度特性の有効性を示唆した。

人工歯の咬頭傾斜や食片の偏在は義歯にねじりモーメントを作用させるため、曲げ剛性だけでなく、ねじり剛性の高い義歯が必要である。このことが、残存諸組織、特に支台歯、顎堤粘膜の保護につながると考えられる。

2. シミュレーション実験

1) 構造の相違が義歯のひずみに及ぼす影響について

二重構造の咬合面部に生じた引張主ひずみは 3 種の荷重ともスケルトン型に比較して有意に小さな値を示した。また荷重点別にみると引張主ひずみ方向は 2 つ

の荷重点を結ぶ線上にほぼ一致しており、そのひずみ値は各義歯とも頬側荷重が最も大きく、次に中央荷重と舌側荷重がほぼ同等な値であった。これらの結果は、いずれも遠心端沈下量の差を肯定し、多くの研究結果¹⁶⁻¹⁸⁾を裏づけるものである。

実験義歯は構造上、頬舌的に対称であるため、義歯構造の頬側荷重、舌側荷重におけるひずみ値の差に対する寄与は少ないものと思われる。そこで顎堤粘膜の頬舌形態や支台歯歯軸の傾斜および歯列弓の彎曲などの頬舌的相違が原因と推測される。特に義歯床を支持する顎堤粘膜においては歯槽頂部を境にして頬舌側の面積に差異が存在し¹⁸⁾、本研究のような片側性の義歯では、これが最も大きな因子と考えられる。すなわち義歯床の頬舌的回転だけでなく、義歯のねじれも顎堤粘膜の抵抗性の差に起因して頬舌側で異なり、その結果、頬側荷重と舌側荷重のひずみ値に差が生じたものと思われる。

2) 構造の相違が義歯の遠心端沈下量に及ぼす影響について

通常の遊離端義歯は機能時に、義歯のたわみを含んだ垂直性の遠心回転による沈下が観察される。加えて、咀嚼運動中には義歯の頬舌的回転やねじりによる変位もこれに加わり、義歯は複雑な挙動を呈することになる。ここで、それらの変位は、(1) 歯根膜の変位量と遠心回転による変位量 δ_1 、(2) 義歯のたわみ δ_2 、(3) 頬舌的回転による変位量 δ_3 、(4) 義歯のねじれ δ_4 に分類できる。Rehm ら¹⁹⁾の報告した遊離端義歯の挙動に関する作図の説明を参考に顎堤粘膜の疼痛域を 300 μm と想定すれば、義歯の最大変位状態は

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 = 300 \mu\text{m}$$

で示される。

このうち、 δ_1 と δ_3 の変位は遊離端義歯の特性上、皆無にすることは困難であるが、的確な義歯の設計により最小化が可能である。一方、 δ_2 と δ_4 は義歯の変形成分で剛性を論ずる対象であるが、これを可及的に抑制するために義歯の構造設計が必要となる。

ここで実験結果から義歯のたわみ δ_2 とねじれ δ_4 を算出すれば、二重構造における $\delta_2 + \delta_4$ を 0 と仮定した場合に、スケルトン L, S の δ_4 は 60~80 μm であり、 $\delta_2 + \delta_4$ は 135~160 μm にもなる。

Fig. 11 に顎堤粘膜の疼痛域を 300 μm としたときの各義歯が許容できる遠心端最大荷重量を示す。換言すれば、義歯床が 300 μm 沈下するのに要する遠心端荷重量である。二重構造の頬側荷重とスケルトン S の

Fig. 11 Distal maximum loads suggested by experimental data

異種構造における遠心端最大荷重量

頬側荷重では約 4.5 kg の差が認められ、義歯の剛性の差により発現できる咬合力も変化する。さらに実際の口腔内では、食片の介在や咬頭傾斜の存在から荷重方向も変化するため、今回の実験値より大きな差が生じることも推察される。

以上のことから、二重構造のねじりモーメントに対するきわめて大きな有効性が示唆された。しかし、義歯の破損に関しては義歯構成材料の疲労による影響が大きく、今後の研究課題と考えられる。

V. 結 論

3 種構造を有する義歯に対して静的曲げ試験とシミュレーション実験を行い、義歯のねじり強度に関して検討を加え、以下の結論を得た。

1. ねじりモーメントが作用した場合の破折強度は二重構造がスケルトン型の約 10 倍、レジン単体の約 5 倍の値を示した。
2. 二重構造のねじり剛性はスケルトン型に比較して約 3 倍、レジン単体の約 10 倍を示した。
3. スケルトン型の主ひずみは荷重点の変化により大きく増加したが、二重構造はほとんど変化が認められなかった。
4. 荷重点の変化により二重構造の遠心端沈下量は約 20 μm 増加したのに対して、スケルトン型は約 80~100 μm の著明な増加がみられた。

本研究の要旨の一部は第 85 回日本補綴歯科学会学術大会（平成 3 年 5 月）において発表した。

文 献

- (1981) Guides to standards in prosthetic dentistry., Br Dent J, 150: 167~169, 1981.
- 2) 阿部 實, 宮田孝義, 尾花甚一: すれ違い咬合の症例から, 補綴臨床別冊/咬合診断・治療のために, 154~163, 1984.
- 3) 三山善也, 水野行博, 阿部 實: 二重構造を有する金属床義歯の製作, 歯科技工アトラス 6, 235~255, 医歯薬出版, 東京, 1984.
- 4) 宮田孝義, 高山慈子, 大久保悦子: リジッドサポートによるパーシャルデンチャーの診断, 補綴臨床別冊/リジッドサポートによるパーシャルデンチャーの設計指針, 55~66, 1987.
- 5) 宮田孝義: 回復した機能を長期に保つために, 補綴臨床別冊/診断と治療像を探る, 97~112, 1989.
- 6) 大久保力廣: 義歯の構造設計に関する実験的研究, 補綴誌, 33: 1273~1287, 1989.
- 7) 日本建築学会編: 建築学便覧 II 構造, 225~234, 丸善, 東京, 1977.
- 8) 須藤 一: 材料試験法, 67~74, 内田老鶴園, 東京, 1986.
- 9) Lambrecht, J.R. and Kydd, W.L.: A functional stress analysis of the maxillary complete denture base, J Prost Dent, 12: 865~872, 1962.
- 10) Craig, R.G. and Peyton, F.A.: Strain on the framework of a mandibular free-end saddle partial denture under load, J Mater Res, 1: 263~274, 1967.
- 11) 山中秀太郎, 林 邦夫: 新材料力学, 105~121, 海文堂出版, 東京, 1987.
- 12) 下関正義: マトリックス材料力学, 140~151, サイエンス社, 東京, 1985.
- 13) 日本材料学会編: 金属材料試験便覧, 132~136, 養賢堂, 東京, 1977.
- 14) 天日雄二, 村上 昇, 池谷完治ほか: 部分床義歯症例の統計的観察 第 4 報 義歯の破損について, 鶴見歯学, 12: 441~445, 1986.
- 15) 共和技術資料 No. 5: 共和ゲージとその取扱法, 42~44, 共和電業, 東京, 1986.
- 16) 宮下恒太: 顎粘膜の局所被圧変位度と咬合力による義歯床の沈下度とに関する研究, 歯科学報, 70: 38~68, 1970.
- 17) 高梨薫敏: 遊離端義歯に用いられる二, 三の Precision Attachment の緩圧機構の特性に関する実験的研究, 歯科学報, 72: 1724~1772, 1972.
- 18) 安達 康: 遊離端義歯における咬合と設計の条件が義歯床の安定性に及ぼす影響に関する実験的研究, 歯科学報, 82: 1109~1158, 1982.
- 19) Rehm, H., Körber, E. und Körber, K.H.: Biophysikalischer Beitrag zur Problematik starr abgestützter Freendprothesen, Dtsch Zahnärztl Z, 17: 963~975, 1962.