原 著 論 文

レジン人工前歯舌面形態の違いが応力発生に及ぼす影響

守川 雅男   有田 正博   韓 棟偉
藤垣 雅士   大坪 建夫   豊田 静夫

Stress Analysis on Causes of Fracture in Acrylic Resin Anterior Teeth

Masao Morikawa, Masahiro Arita, Dong Wei Han,
Masashi Fujigaki, Tateo Ohtsubo and Shizuo Toyoda

Abstract: Fracture of acrylic resin teeth, especially those of anterior teeth from a maxillary denture, are not uncommon, although they unite chemically with denture base resin.

The purpose of the present investigation was to analyse the causes of fracture in acrylic resin anterior teeth by utilizing a two-dimensional finite element method and to find a better method would prevent the fracture of acrylic resin anterior teeth.

The following conclusion was noted:

1. Ridge laps and necks of the teeth, at which the fracture are caused most frequently, tend to sustain the higher concentration of the tensile stress when the forces applied onto from the horizontal direction were the incisal edge of the acrylic resin teeth.
2. The concentration of the tensile stress in the acrylic resin teeth with a S-pad, at which a part of the denture base allowed to partially extend onto the cingulum of the resin teeth, could be reduced in the ridge lap surface between the teeth and the denture base.

Key words: acrylic resin tooth, finite element method, stress distribution

I. 結 言

義歯床装置のトラブルのうち、最も発生頻度の高いものに人工歯の破折、脱落がある。アクリリック・レジン歯は、レジン床との化学的な結合によって一体化

できるために、強度の点からは陶歯より望ましいが、それにもかかわらず上顎義歯レジン人工歯の破折、脱落は珍しくなく、これまでもレジン歯と義歯床の接着強度を調べる実験が数多くなされている^{1~7)}。それらの実験結果によればレジン歯の破折・脱落は大部分がレジン歯リジラップ面（基底面）と義歯床の接触面で起こり、保持溝を設定しても効果は認められず、またレジン歯自体の破折も起こらなかったなどのほぼ類似した報告がなされている。しかしながら、その原因については、特に力学的観点からは理論的にほとんど言

九州歯科大学歯科補綴学第1講座（主任：豊田静夫教授）
First Department of Prosthetic Dentistry, Kyushu Dental
College (Chief: Prof. Shizuo Toyoda)
平成3年8月6日受付

図1 解析モデル

及されていない。

上顎前歯舌面には従来より発音的に有効であるとしてS字(状)隆起が付与されているが、応力分布に対する影響については何ら検討されていない。本研究では、上顎レジン前歯の破折に関する原因究明には保持溝を設定するよりも、この前歯舌面形態の違いによる応力分布に着目した方が有効であろうと考え、2種類のシミュレーションモデルにより応力の発生状態を二次元有限要素法により数値解析した結果、いささかの知見を得たので報告する。

II. 解析方法

本研究に用いた二次元解析モデルの分割図を図1に示す。モデルは2種類とし、モデル1の外形はレジン歯上顎有床義歯の中切歯部の唇舌方向切断面をトレースにより作成したもので、モデル2はモデル1を参考にS字(状)隆起を延長してレジン歯舌側面の一部を被覆した形態とした。解析モデルの要素分割には、6節点および8節点ソリッドアイソパラメトリック二次要素を使用し、モデル1では節点数492、要素数152、モデル2では節点数528、要素数166として構成した。なおレジン歯とレジン床との結合は完全なものとしてモデル化した。

解析にあたっては荷重点を切端から歯頸部にかけての節点各点(図1)とし、荷重1kgが上顎中切歯歯軸に対して60度で舌側から加わる場合(荷重方向X)と、歯軸と荷重Xの方向の二等分線方向(30度)から加わる場合(荷重方向XY)の2種類を仮定し、その時の応力状態を平面応力として弾性解析した。荷重は集中荷重を想定したが3節点に分散させて負荷するようにし、固定点はモデル基底部をXおよびY方向固定とした。レジン歯および床の材料定数はいずれもポアソン比を0.3、ヤング率を400 kg/mm²とした。

解析には有限要素解析ソフト、ANSYS-PC/LIN-

a コンター図

b ベクトル表示

図2 切端X方向荷重時の応力分布(モデル1)

σ₁: 最大主応力 σ₂: 最小主応力

EAR (SWANSON ANALYSIS SYSTEMS 社) を用い、解析結果は節点最大主応力および節点最小主応力により評価した。

III. 結果

図2には、モデル1の切端部位に荷重方向Xから負荷した場合の最大および最小主応力のコンター図(節点平均応力)、ならびにベクトル表示(構成節点の平均成分応力の大きさと方向)を示す。全体的にみて、荷重点から歯頸部にかけてレジン歯の唇側半面には大きな圧縮の主応力が、舌側半面には引張の主応力が主に分布しており、特に引張の最大主応力は舌側面のレジン歯と義歯床接合部を中心に表面に沿った方向でみられた。各主応力のピークの発生部位は、最小主応力では荷重点(-1.23 kg/mm²)に、最大主応力では舌側面のレジン歯と義歯床接合部(1.25 kg/mm²)にみられ、特にこの接合部に引張主応力の高い応力集中がみられた。

図3には荷重方向XYから切端部位に負荷した場合

図3 切端XY方向荷重時の応力分布 (モデル1)

図5 切端XY方向荷重時の応力分布 (モデル2)

図4 切端X方向荷重時の応力分布 (モデル2)

図6 最大および最小主応力のピーク値
(図中棒上の数字は図7の各モデルの節点番号を示す)

合の最大ならびに最小主応力のコンター図を示す。唇側半面に大きな圧縮応力、舌側半面に大きな引張応力が荷重方向Xと同じように分布し、舌側面のレジン歯と義歯床接合部に最大主応力のピーク (0.42 kg/mm²) が、荷重点に最小主応力のピーク (-1.13 kg/mm²) が同じようにみられた。

図4は、モデル2の切端部位に荷重方向Xから負荷した場合の最大および最小主応力のコンター図ならびにベクトル表示を示す。モデル2での主応力の分布形態はモデル1の場合とほとんど同じ傾向で、全体的にみて荷重点からレジン歯の唇側半面に圧縮応力が、舌

側半面には引張応力が分布しており、最小主応力のピーク (-1.27 kg/mm²) は荷重点にみられた。しかし、最大主応力のピーク (1.20 kg/mm²) はS字 (状) 隆起を延長してレジン歯舌側面の一部を被覆したレジン端部の接合部にみられるようになった。

図5は、荷重方向XYから切端部位に負荷した場合の最大ならびに最小主応力のコンター図を示す。荷重Xの場合と同じようにほぼ舌側半面には引張の主応力、頬側半面には圧縮の主応力が分布する傾向にあり、最小主応力のピーク (-1.14 kg/mm²) は荷重点にみられた。一方、最大主応力のピーク (0.40 kg/mm²) はS字 (状) 隆起を延長した床口蓋部表面との移行部にみられた。

図6にはモデル1および2において、荷重点を切端

から歯頸部方向に暫時移行させた時の最大および最小主応力のピーク値の変化を、図 7 には各モデルにおいて最大主応力のピークが発生した部位（節点）を示す。また表には、荷重点の移行に伴う最大主応力のピーク部位の変化の傾向を示す。

最大主応力のピーク値はモデルに関係なく、X 方向では荷重点が切端から歯頸部に順次移行するに伴い小さく、XY 方向では一度大きくなりその後小さくなる傾向にあった。しかし、これに伴うピークの発生部位はモデル、荷重方向によって異なった傾向を示した。すなわち、モデル 1、X 方向では荷重点が切端からレジン歯中央部までの間であれば接合部にみられ、荷重点がさらにレジン歯冠中央部を越えて歯頸部方向へ移行すると、接合部よりやや口蓋寄りに発生するようになった。これに対し、XY 方向では切端部に荷重した時のみ接合部にピークがみられたが、その他の部位では荷重点上部近傍にみられるようになった。モデル 2、X 方向では切端寄りの荷重ではピークは接合部にみられたが、荷重点がレジン歯冠中央部寄りになると、S 字(状)隆起基底部にみられるようになった。XY 方向

では荷重が切端寄りでは S 字(状)隆起基底部に、レジン歯冠中央部寄りでは荷重点上部近傍と変化した。

IV. 考 察

陶歯に限らず、レジン歯を含めて人工歯の破損、脱落が義歯修理の高頻度を占めている。その原因には、人工歯リジラップ面に被膜様にワックスが付着したり、重合過程中に誤って分離剤を付着させることに起因する場合もあるが、力の作用方向を配慮せずに排列した人工歯の排列位置不良によるものも大きな割合を占めているといわれている。

これらの原因に対して、臨床的には人工歯リジラップ面を一層削除して新生面を出すこと、保持溝を形成すること、あるいは特定の薬剤中に浸漬することなどにより、破損、脱落の防止措置がとられている。一方基礎的研究としては、その原因の究明と対策のためにリジラップ面に種々の形態の保持溝を形成した力学的な抗破碎実験など数多くの実験が行われてきた。たとえば Cardash ら³⁾の力学的実験結果である破損の 80% が人工歯リジラップと義歯床レジン面の境界で起こり、種々の形態の保持溝も効果はなかったとの報告にもみられるように、レジン歯の破損、脱落は大部分がレジン歯リジラップ面と義歯床の接合領域で発生し、人工歯自体の破折はないなど、ほとんどが一致した報告がなされており、これらの実験結果は臨床的結果ともきわめてよく符合している。

しかしながら、保持溝の効果に関する実験結果については床用材料と保持溝内のレジンの物性値が同じであることを考えると、緊密な接着が得られ一体化してしまえば保持溝の効果がないことは実験するまでもなく明白であろう。人工歯破損、脱落の原因を究明しその対策を講じるためには、保持溝を付与する等の実験よりもむしろ荷重の位置ならびに方向の違いによって生じる内部応力の集中する部位を検索し、当該部位の形態に着目して応力集中を緩和する方法を考える方が

図 7 ピーク発生節点番号

表 1 最大主応力ピーク値の発生部位

		荷重負荷点		
		レジン歯切端部	レジン歯舌側中央部	歯頸部
モデル 1	荷重方向 X	接合部	接合部	接合部よりやや口蓋側
	荷重方向 XY	接合部	荷重点上部近傍	荷重点上部近傍
モデル 2	荷重方向 X	レジン被覆端部	S 状隆起基底部	—
	荷重方向 XY	S 状隆起基底部	荷重点上部近傍	—

適切であろう。その方法の1つとして有限要素法がある。しかし、この方法も現時点ではいくつかの欠点がある。つまり、粘膜や歯槽骨に正確な粘弾性値を与えることが困難なこと、モデル化や物性値などによる誤差が考えられるので計算結果に対する妥当性の検討が必要なことなどである。ところが、人工歯の破損脱落のほとんどが不注意に落下させたり、固いものを咬む等の衝撃的な力によって生じ、緩慢に加わる力によって破損脱落の現象が生じることは少ないことから、前者に対しては粘弾性的な性状よりもむしろ剛体あるいは弾性的な性状に近いものであると考えられ、人工歯を歯槽骨内に固定した状態を想定した実験が可能であること、また後者、つまり有限要素法はすべて計算値であり実証性に乏しいために、同一条件下で破折実験による裏づけが必要がある点に関してもこれまでに数多くの破折実験が行われ、臨床結果もほぼ同一結果を示していることなどから、いまさら追加実験の必要性は認められないと思われる。以上のことから当課題に対する有限要素法の適用は最も適切であると考えられる。

有限要素法による実験結果、各モデルの舌面に引張応力が生じ、唇面に圧縮応力が発生した。本研究では最大応力および最小応力の分布ならびにピーク値、さらにレジンの引張応力と圧縮応力（圧縮強さは引張強さの約100倍である）を考慮して引張応力のみに着目して検討することとした。それによるとS字（状）隆起をつけないモデル1においては、X方向からの荷重、つまり前方接触滑走時に上顎切歯に水平方向から咬合力が作用する場合等に発生すると考えられる負荷に対しては、人工歯歯頸部付近に引張応力が発生している。このことは人工歯の破折がこの部位から頻発することを示しており臨床的事実と一致している。一方、S字（状）隆起をつけたモデル2では、引張応力はS字（状）隆起がレジン歯と接する部位かS字（状）隆起の基底部付近に発生している。この値はモデル1の場合よりも応力値が低減するとともに、リジラップ面で認められていた応力発生部位が歯冠中央部に移動していることなどから、レジン・人工歯接合面では破折し難くなる傾向にある。すなわち、水平方向からの負荷からレジン人工歯の破折を防止するためにはS字（状）隆起を設定することが有効であろうと考えられる。

次に、XY方向からの荷重、つまり通常の閉口運動時や咀嚼運動時に発生すると考えられる負荷に対しては、モデル1ではほとんどが歯冠舌側接合部から隣接

する床口蓋部にかけて大きい最大主応力の発生がみられるのに対して、モデル2ではS字（状）隆起基底部に相当する床口蓋部に小さい最大引張応力が発生している。

X方向およびXY方向からの荷重のいずれに対しても、S字（状）隆起をつけることにより発生する応力が小さくなることと応力の発生部位が変化することから、S字（状）隆起を設定することは発音面からのみならず、力学的な面からも有効であると考えられる。

V. 結 論

上顎義歯床のアクリリック・レジン中切歯の破損、脱落の原因ならびにその対策のために二次元有限要素法によりその応力状態を検討した結果、次の結論を得た。

1. 外力がレジン歯切端部に近い部位に作用するほど、また水平方向から作用するほど、レジン歯リジラップ面付近に引張応力の集中を起しやすく、その大きさも高くなる傾向にあった。
2. S字（状）隆起を延長してレジン歯舌側面の一部を被覆することで、リジラップ面に発生する引張応力の集中が避けられるとともに、発生する応力分布の値も小さくすることができた。

有限要素法による解析に際しては、歯科理工学講座の田島清司講師に多大なご援助ならびに貴重なご助言を戴いたことを付記し、衷心より感謝致します。

文 献

- 1) Schoonover, J.C., Fisher, T.E. and Sweeney, W.T. : Bonding of plastic teeth to heat cured denture base resins, J Am Dent Assoc, 44 : 285~287, 1952.
- 2) Rupp, N.W., Bowen, R.L. and Paffenbarger, G.C. : Bonding cold-curing denture base acrylic resin to acrylic resin teeth, J Am Dent Assoc, 83 : 601~606, 1971.
- 3) Morrow, R.M., Matvias, F.M., Windeler, A.S. et al : Bonding of plastic teeth to two heat cured denture base resins, J Prosthet Dent, 39 : 565~568, 1978.
- 4) Hugget, R., John, G. and Jagger, R.G. : Strength of the acrylic denture base tooth bond, Br Dent J, 153 : 187~190, 1982.
- 5) Cardash, H.S., Liberman, R. and Helft, M. : The effect

- of retention grooves in acrylic resin teeth on tooth denture base bond, J Prosthet Dent, 55 : 526~528, 1986.
- 6) Caswell, C.W. and Noring, B.K. : Comparative study of the bond strength of three abrasion-resistant plastic denture teeth bonded to a cross-linked and a grafted cross-linked denture base material, J Prosthet Dent, 55 : 701~708, 1986.
- 7) Sprately, M.H. : An investigation of the adhesion of acrylic resin teeth to dentures, J Prosthet Dent, 58 : 389~392, 1987.