動揺歯を含むブリッジの光弾性的研究

村 上 繁 樹*・田 中 眞理子**・小 園 凱 夫***
内 田 康 也*

*九州歯科大学歯科補綴学第2講座 (主任: 内田康也教授)

**九州歯科大学物理学教室 (主任: 河野通郎教授)

***九州歯科大学歯科理工学講座 (主任: 小園凱夫教授)

平成8年2月26日受理

Photoelastic Analysis of Stress Distribution with Bridge Involving Mobile Abutment Tooth

Shigeki Murakami*, Mariko Tanaka**, Yoshio Kozono***
and Yasunari Uchida*

*Second Department of Prosthetic Dentistry (Chief: Prof. Yasunari Uchida)

**Department of Physics (Chief: Prof. Michio Kouno)

***Department of Materials Science (Chief: Prof. Yoshio Kozono)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

The present study photoelastically analysed stress distribution in the alveolar bone around the abutment teeth for a bridge involving mobile teeth. The mobile teeth in this study were limited to those which were lack of support because of their increased crown-root ratio. Four types of ④⑤⑥⑦ bridge models for a case ⑥ being absent and ⑤ mobile were used: type A, with normal ④ and mobile ⑦; type B, with normal ④ and normal ⑦; type C, with mobile ④ and mobile ⑦; and type D, with mobile ④ and normal ⑦.

The mobility of a single mobile tooth was characterized by a typical Moiré fringe at its cervical portion in addition to its root apex under an eccentric vertical load. When ⑤ was connected with other abutments by a rigid bridge, the mobility of ⑤ was markedly decreased even if ④ and/or ⑦ were mobile. The analyses of stress distribution showed that the applied load through the bridge was primarily supported by the alveolar bone around ⑦ in any type. It was suggested from the foregoing results that the immobility of ⑦ might be essential for minimizing the mobility of the abutment teeth.

Key words: Mobile abutment tooth/Bridge/Stress distribution/Photoelastic analysis

緒 言

少数歯欠損補綴におけるブリッジの支台歯は、歯周組織が健全で動揺がないことが原則である。しかし、臨床

の場では動揺歯を支台歯として選択しなくてはならない症例に度々遭遇する。残存している動揺歯を支台歯として連結する場合には支台歯の保全が問題となる¹⁾。動揺歯を支台としたブリッジの成否は、歯周疾患の問題と咬

合の問題をいかにブリッジの設計に取り入れるかにかかっているといえる^{2,3)}。その際、動揺歯を支台歯として使用した場合に、咬合力を加えると歯槽骨内の応力分布がどのように変化するかを知る必要がある。

従来のブリッジに関する光弾性的研究は、歯周組織が健全であると仮定して実験計画が立てられており^{4,8)}、動揺歯を想定した研究は少ない^{9,10)}。そこで、「6」が欠損し「5」が動揺しているという条件で、「4」「7」の支台歯歯槽骨の高さを変化させた「④⑤⑥⑦」をモデルとして光弾性実験を行ったので報告する。

材料ならびに方法

I. 光弾性試験用モデルの作製

本実験では歯冠-歯根長比が大きくなることによって生じる動揺歯を対象とし、予備実験において光弾性モアレパターンからピンを用いた健全歯および動揺歯モデルの歯冠-歯根長比を規定した。図1は、健全単根歯を想定して歯冠-歯根長比を1:2とした場合のモアレパターンを示す。ピン上部中心に長軸に沿って垂直荷重（中央

図1 健全歯に垂直荷重(▽点)を加えた場合のモアレパターン

図2 動揺歯に垂直荷重(▽点)を加えた場合のモアレパターン

荷重)を加えると、根尖相当部周辺に応力集中がみられた。ピン上部辺縁に垂直荷重（偏心荷重）を加えた場合、歯根相当部片側にもモアレが生じたが、ピンの傾向を示す明確な傾向は認められなかった。歯冠-歯根長比が大きくなり2:1になると（図2）、偏心荷重によって肉眼的にもピンの傾斜が認められ、傾斜を示す典型的なモアレパターンとして歯頸部相当部の負荷側および反対側根尖相当部に著しい応力集中が生じることがわかった。吉江（1991）¹¹⁾は歯根の半分まで骨吸収している歯であっても、炎症、ポケットが存在しなければ、健全歯と同様、支台歯として使用できると述べている。これらのことから、歯冠-歯根長比を2:1とした場合を動揺歯のモデルとした。

光弾性試験用ブリッジモデルは、「6」が欠損、「5」が動揺歯の場合の症例を想定し、「④⑤⑥⑦」のブリッジを設計した。「4」「7」は健全歯あるいは動揺歯とし、次の4通りの組み合わせで実験を行った。

- タイプA: 「4」が健全歯で、「7」が動揺歯
- タイプB: 「4」が健全歯で、「7」が健全歯
- タイプC: 「4」が動揺歯で、「7」が動揺歯
- タイプD: 「4」が動揺歯で、「7」が健全歯

図3 ブリッジ模型（タイプB）の模式図

図3にブリッジモデルの例（タイプB）を示す。小臼歯には直径4mm、長さ30mmの真鍮ピンを1本、大臼歯には直径3mm、長さ30mmの真鍮ピンを2本用いた。咬合面部は厚さ2mm、幅6mmの真鍮板を用い、それぞれのピンの上端部を超速硬性常温重合レジンでしっかりと固定した。

II. 実験方法

モデルを安定な水平台に設置し、20kgの垂直集中荷重を加えた。単根歯の場合では歯根の軸上、2根歯では2根の中間軸上およびポンティックの中央部に荷重を加えたものを本実験における中央荷重とし、歯牙の隣接部に荷重を加えた場合を偏心荷重とした。また、側方分力を作用させるため、ピンの同部位で長軸に対して10°傾

斜した荷重（以下傾斜荷重という）が加わるように、モデルを 10° 傾斜させた場合についても実験を行った。応力分布測定には、光弾性実験装置（PA-150 型、理研計器）を使用した。光源には白色光源と水銀灯単色光源の 2 種類を用いた。ブリッジ上の 9 ヶ所に荷重を加え、それぞれの場合の 2 次元応力状態での歯槽骨内の縞次数を測定した。

結 果

I. 垂直中央荷重時の応力分布

図 4 は支台歯に垂直中央荷重が加わった場合の応力分布の例を示している。図 4 左はタイプ A の動揺支台歯「5」に、図 4 右はタイプ B の健全支台歯「4」に中央荷重が加わった場合で、いずれにおいても負荷された支台歯の根尖部にみに垂直的な大きな応力集中が生じ、他の部位には応力の発生を示すモアレはみられなかった。タイプあるいは支台歯が異なっても、健全歯、動揺歯にかか

わらず、同様の傾向を示した。

タイプ A、B のポンティック中央部に中央荷重を加えた場合の応力分布を図 5 に示す。いずれにおいても、「5」、「7」の根尖部に応力集中がみられた。タイプ C、D についても大きな違いは認められなかった。

II. 垂直偏心荷重時の応力分布

各支台歯の近心あるいは遠心隣接部に偏心荷重を加えた場合、いずれのタイプにおいても負荷がかかった支台歯の根尖部に大きな応力集中がみられた。タイプあるいは支台歯によっては、他の部位にも応力の発生が認められた。それらを表 1 にまとめ、主なモアレパターンを図 6～8 に示す。

「4」の近心偏心荷重では（表 1、図 6）、いずれのタイプにおいても「4」の根尖部に大きな応力集中がみられた。タイプ A では「4」の近心歯頸部および「7」の近心歯頸部にわずかな応力集中が認められる。タイプ C でも「7」の近心歯頸部にわずかな応力集中がみられた。「4」の遠心荷

タイプ A

タイプ B

図 4 支台歯に垂直中央荷重（▽点）を加えた場合のモアレパターン例

タイプ A

タイプ B

図 5 ポンティックに垂直中央荷重（▽点）を加えた場合のモアレパターン例

表1 垂直偏心荷重下における応力分布

荷重点	部 位	タイプ			
		A ④ ⑦	B ④ ⑦	C ④ ⑦	D ④ ⑦
4の近心	4の根尖	+++	+++	+++	+++
	4の近心歯頸部	+			
	7の近心歯頸部	+		+	
4の遠心	4の根尖	+++	+++	+++	+++
	5の根尖	+++	+++	+++	+++
5の遠心	5の根尖	+++	+++	+++	+++
	7の遠心歯頸部	+			
7の近心	7の根尖	+++	+++	+++	+++
	7の遠心歯頸部	+		+	
7の遠心	4の遠心歯頸部	+			
	5の近心歯頸部	+			
	7の根尖	+++	+++	+++	+++
	7の遠心歯頸部		+	+	++

④ ⑦ : 健全歯

④ ⑦ : 動揺歯

+++ : 縞回数 5 以上

++ : 縞回数 3、4

+ : 縞回数 1、2

タイプ A

タイプ B

タイプ C

タイプ D

図6 「4」に垂直近心偏心荷重(▽点)を加えた場合のモアレパターン

図7 「7」に垂直近心偏心荷重 (▽点) を加えた場合のモアレパターン

図8 「7」に垂直遠心偏心荷重 (▽点) を加えた場合のモアレパターン

図9 垂直荷重 (▽点) と傾斜荷重 (▽点) との比較例

重では、いずれのタイプにおいても「4」と「5」の根尖部に大きな応力集中が認められた。「5」の遠心偏心荷重では、「5」根尖部のに大きな応力集中の他に、タイプ A においてのみ「7」の遠心歯頸部にわずかな応力集中が現れた。「7」の近心偏心荷重では（表1，図7），いずれのタイプにおいても根尖に大きな応力集中がみられ、さらにタイプ A と C では「7」の遠心歯頸部にわずかな応力集中が認められた。「7」の遠心偏心荷重では（表1，図8），他の場合と比較して最も多くの部位に応力集中がみられた。すなわち、「7」の根尖部に大きな応力集中が認められるだけでなく、タイプ A では「4」の遠心歯頸部と「5」の近心歯頸部にわずかな応力集中があり、タイプ B, C および D には「7」の遠心歯頸部に応力集中がみられた。とくにタイプ D において、他のタイプの場合より「7」遠心側歯頸部での応力集中が大きく現れた。

Ⅲ. 傾斜荷重時の応力分布

中央荷重に対しては、垂直荷重の結果とほとんど同様の傾向を示していた。

偏心荷重においても垂直荷重時の場合とほぼ同じ傾向がみられたが、タイプ D の「7」の近心および中央荷重では、「6」の遠心顎堤部に垂直荷重の場合に比較して約2倍の強さの縞次数が観察された（図9）。

考 察

歯の動揺は、歯周ポケットの増大あるいは歯槽骨の吸収に伴う歯冠-歯根長比の増大などが原因で起こる支持能力の低下によって生じると考えられる¹²⁾。本実験では、歯周ポケットは正常であるが、歯冠-歯根長比に問題がある動揺歯を対象とした。

ブリッジの設計は、著者らの統計的観察¹³⁾によると下顎第1大臼歯欠損の場合が多い。本実験では「6」欠損のブリッジとしたが、通常「5」の支台歯が健全であれば、「5」「6」「7」のブリッジが合着される。ここでは、「5」が動揺歯の場合であると仮定して設計を行い、「4」を支台歯として追加した。「4」と「7」は健全歯または動揺歯の場合が考えられるため、支台歯の条件を4タイプに分類して実験を行った。

垂直中央荷重では、いずれの症例においても、荷重を受ける根尖部にだけ応力集中が認められた。ただし、「6」のポンティック部の中央荷重では「5」「7」の根尖部に応力集中がみられた。これは、歯が欠損している部位に荷重を加えたために、偏心荷重と同様の傾向を示したもののと思われる。

垂直偏心荷重では、いずれも荷重に近い歯の根尖部に大きな応力集中が認められた。根尖部を除いた歯頸部に出現する応力集中を荷重点ごとにみると、結果的に「4」の近心に1つ、「5」に1つおよび「7」の近遠心合わせて8つみられる。タイプ別に応力集中の場所を数えてみると、タイプ A で6つ、タイプ B で1つ、タイプ C で3つおよびタイプ D で1つとなり、タイプ B, D が比較的少ない。タイプ B, D はいずれも「7」が健全歯の場合である。タイプ B と D の縞次数を比較すると、タイプ B の方が望ましいといえる。すなわち、「4」「7」とも健全歯であれば、ブリッジの予後はかなり期待できるものと考えられる。「7」が動揺歯の場合のタイプ A と C を比較すると、「4」が健全歯であるタイプ A の方がタイプ C よりも応力集中の数が多い。これは「7」が動揺しているため、健全な「4」でブリッジ全体を支えていることを意

味している。このような状態が長く続くと、いずれ「4」も動揺してくるものと思われる。タイプ C の場合のブリッジの両端が動揺歯の場合は、表 1 のタイプ B の「7」の遠心荷重に対する結果と同様な傾向を示している。これは「4」「7」の両方とも動揺しているために、荷重が加えられたときに、均等に動揺したものと考えられる。「7」の遠心荷重に対しては「7」の遠心歯頸部にやや大きな応力集中がみられた。多根歯である「7」は歯槽骨内に占める容積が大きく、したがって他の「4」「5」の状態にかかわらず、ブリッジを固定させる役割が大である。「7」が動揺していると、「7」が健全な場合と比較して応力集中部の数が多い。「7」が健全であれば、ブリッジの動きを「7」で受けとめようとして「7」の遠心歯頸部に応力集中が認められ、繰り数が大きく出て「7」に加わる負担が他の「4」「5」に比べて大であることがわかる。これらの応力分布の分析から、「4⑤⑥⑦」ブリッジの支台歯の変位に対する抵抗の多くは「7」の歯槽骨に依存しているものと推測される。

中央荷重を加えた場合、垂直荷重と歯軸に対して 10° の傾斜荷重との間には、応力分布の傾向に大きな違いはみられなかった。10° の傾斜では傾斜荷重による側方分力の影響がさほど大きく現れなかったためであろうと考えられる。しかし、タイプ D の「7」の近心および中央にそれぞれ荷重を加えたところ、「6」の遠心歯頸部にわずかなモアレがみられた。これは「7」が側方荷重によって近心傾斜する傾向を示すためであろうと思われる。

本実験におけるブリッジの支台歯として、「4」「5」「7」を用いたが、「4」「7」はブリッジの両端にある支台歯であるという点に注目する必要がある。「4」が健全歯の場合と動揺歯の場合を比較してみると、「4」が動揺歯の場合のほうが「7」の遠心歯頸部にあらわれる繰り数が大きい。このことは、ブリッジにかけられた荷重に対して、「4」が健全歯であれば、その荷重を負担することができる。しかし、動揺歯であれば、その負担能力が弱いために、その荷重を「7」がより大きく負担することになる。

いずれのタイプにおいても「5」は、単独の場合のモアレパターン (図 2) と比較して歯頸部での応力集中が著しく減少している。このことから、動揺歯はブリッジの支台歯の中に組み込まれることによって固定され、動揺度が著しく減少することがわかる。また、動揺歯「4」および「7」を用いた「4⑤⑥⑦」ブリッジにおいても「5」の動揺は抑えられており、「4」「7」が動揺歯であっても支台歯として利用することができることがわかった。しかし、ブリッジ支台歯の負担を軽減するためには、「4」「7」とくに

「7」が健全歯であることが好ましいといえる。

結 論

「6」が欠損、「5」が動揺歯の場合を想定し、4 タイプのブリッジモデル (「4⑤⑥⑦」) を設計した。それぞれのブリッジに垂直の中央荷重および偏心荷重、傾斜した中央荷重および偏心荷重の 4 種類の集中荷重をかけて繰り数の測定を行った結果、次のような結論を得た。

1. 「5」の動揺歯はブリッジにして固定すれば、動揺度が著しく減少した。
 2. 中央荷重では、すべてのタイプで荷重を受ける根尖部に大きな応力集中が認められた。
 3. 偏心荷重では、荷重点に近い歯牙の根尖部に大きな応力集中がみられ、健全歯の歯頸部に応力集中が多く認められた。いずれのタイプにおいても「7」に応力集中がみられた。
- 以上のことから、「5」が動揺歯であっても「7」が健全歯であれば、「4⑤⑥⑦」ブリッジの予後は良好であることが示唆された。

文 献

- 1) 小室 甲, 松並謙二, 本郷智英: 動揺歯を支台としたブリッジ. 動揺歯の処置 (川崎 仁他編). 歯界展望/別冊. 医歯薬出版, 東京, 1986, 223-236.
- 2) 染谷成一郎: 動揺歯の補綴処置と予後. 動揺歯の処置 (川崎 仁他編). 歯界展望/別冊. 医歯薬出版, 東京, 1986, 279-290.
- 3) 篠原直幸: 接着性補綴物が歯牙の動揺度と支持組織の負担力に及ぼす影響. 補綴誌 33 (1): 158-169, 1989.
- 4) Glickman, I., Roeben, F. W., Brion, M. and Pameijer, J. H. N.: Photoelastic analysis of internal stress in the periodontium created by occlusal forces. J. Periodont. 41: 30-35, 1970.
- 5) Kratochvil, F. J., Thompson, W. D. and Caputo, A. A.: Photoelastic analysis of stress patterns on teeth and bone with attachment retainers for removable partial dentures. J. Prosthet. Dent. 46: 21-28, 1981.
- 6) Mattison, G. D.: Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. J. Prosthet. Dent. 48: 407-411, 1982.
- 7) 田中真理子: 咬合力下における歯牙および歯槽壁の応力分布に関する光弾性的研究. 九州歯会誌 39 (2): 249-256, 1985.
- 8) 田中真理子: 数個のネジで結合された弾性板の応力分布について. 九州歯科大学進学課程研究紀要 18: 21-26, 1987.
- 9) 四條 進: 中間歯欠損型架工義歯装着による歯槽骨変化の二次元光弾性実験. 歯学 64 (3): 640-649, 1976.
- 10) 小野喜市: 中間歯 2 歯欠損型架工義歯装着による歯槽骨変

- 化の二次元光弾性実験. 歯学 68 (4): 630-641, 1980.
- 11) 吉江弘正: 支台歯, 維持歯となる歯の予後判定. カラーアトラス 歯周一補綴治療 (井上昌幸他編). 医歯薬出版, 東京, 1991, 78-86.
- 12) 石川 烈, 長澤敏行: 動揺歯の固定の適否をどう診断するか—これまでの研究経過を通して考える—. 補綴臨床 27 (2): 191-197, 1994.
- 13) 村上繁樹, 守川雅雄, 鱒見進一, 有田正博, 小城辰郎, 佐藤義輝, 稲永 悟, 大西俊之, 杉本照幸, 豊田静夫, 内田康也: 九州歯科大学附属病院補綴科来院患者の統計的観察 (1979 ~ 1983 年) 第 3 報 歯冠修復物について. 九州歯会誌 44 (2): 360-375, 1990.