原 著 論 文

ラミネートベニア補綴の三次元有限要素法による力学的検討

今西 仰 高 永和 日野 年澄
中村 隆志 堤 定美* 丸山 剛郎

3-D Finite Element Stress Analysis of Laminate Veneer Crowns

Aogu Imanishi, Nagakazu Koh, Toshizumi Hino,
Takashi Nakamura, Sadami Tsutsumi* and Takao Maruyama

Abstract : Based on the recent development of bonding technique and new ceramics, i.e. castable glass ceramics and high strength porcelain, the clinical use of laminate veneer crowns has been expected. The purpose of this study is to analyze the stress distribution in laminate veneer crowns and to establish the most effective clinical use.

Using some upper central incisor models, three dimensional finite element analysis was carried out to investigate the effects of various mechanical factors ; location of loading points, preparation designs and type of ceramics. In each experiment, 180 N loading force was applied to the model at 45 degree to the tooth axis.

The results were summarized as follows :

1. By the load at the mesial line angle, the highest tensile stresses were caused in laminate veneer crown.
2. In case of covering the incisal edge, the tensile stresses were caused higher in laminale veneer crown.
3. It was found that the stress distribution pattern of Dicor crown was similar to those of CD-200 and Optec.

Key words : porcelain, castable glass ceramics, laminate veneer, finite element analysis

I. 緒 言

近年、口腔の審美的回復に対する要求がますます高まる中で、前歯部の審美的修復のひとつとしてラミネートベニア補綴が注目されてきている。この方法は、従来の審美的歯冠修復法に比較してはるかに少ない歯質削除量で、唇面の審美修復を可能としたもので

大阪大学歯学部歯科補綴学第一講座

・ 京都大学医用高分子研究センター歯科材料応用研究部門
Department of Fixed Prosthodontics, Osaka University
Faculty of Dentistry

・ Research Center for Biomedical Engineering, Kyoto University

平成4年2月6日受付

ある^{1,2)}。

ラミネートベニア補綴の臨床応用に際して歯質削除量、形成デザイン、ラミネートベニアシェルの厚みや形態などは、従来よりおもに審美的な観点から論じられてきたが、ラミネートベニアシェルには破折や剥離の危険性があり、力学的な検討が必要であると思われる。

今回は、ラミネートベニアシェルの破折に着目して、その荷重下での応力分布を、三次元有限要素法モデルを用いて検討を行った。

II. 方 法

今回の研究では、1770 要素、1926 節点からなる、右側上顎中切歯の三次元有限要素法モデルを作製した(図 1)。歯³⁾、歯根膜⁴⁾、歯槽骨⁵⁾の形態および寸法は過去の報告に基づいて決定した。ラミネートベニアシェルの厚さおよびレジンセメントの厚さは、それぞれ 0.8 mm、50 μ m とした(図 2)。

ラミネートベニアシェルの材料には、マイカ系キャストابلガラスセラミックスとして Dicor (Dentsply International Inc., 以下ダイコアと呼ぶ)、アパタイト系キャストابلガラスセラミックスとして CD-200 ((株)日本電気硝子)、さらにポーセレンとしては Optec H.S.P. (Jeneric/Pentron Inc., 以下オプテックと呼ぶ) の 3 種を用い、材料の違いによる応力分布を検討した。

また荷重点の違いによる応力分布を明らかにするため A: 切端部、B: 切端から 4 mm の中央部、C: 切端から 7 mm の基底結節部、D: 切端近心縁の計 4 点への荷重(図 3)(以下それぞれ切端荷重、中央荷重、歯頸部荷重、切端近心縁荷重と呼ぶ)について検討を加えた。

形成デザインに関しては、支台歯の切端を削除しないでラミネートベニアシェルが被覆しない場合と、切端を 1.5 mm 削除しラミネートベニアシェルが被覆する場合とを想定し検討を加えた。

以上の応力解析に用いた各材料の材料定数は、ラミネートベニアシェルのヤング率は日野⁶⁾の測定結果に、その他は過去の報告⁷⁻¹¹⁾に基づいた(表 1)。モデルは歯槽骨底面の全節点を拘束した。荷重量は、上顎中切歯の最大咬合力を想定した 180 N を負荷し、荷重方向は歯軸に対し 45° とした。解析は、有限要素法構造解析プログラム (COSMOS/M, Structural

図 3 応力解析における荷重点および方向

表 1 解析に用いた材料定数

Material	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
Dicor	6.99×10^4	0.3
CD-200	9.36×10^4	0.3
Optec Incisal	6.42×10^4	0.3
Body	6.54×10^4	0.3
Dicor Resin Cement	1.20×10^4	0.35
Enamel	8.41×10^4	0.3
Dentin	1.40×10^4	0.15
Pulp	1.00×10	0.49
Periodontium	1.00×10	0.49
Alveolar Bone	1.20×10^4	0.15

Research & Analysis Co.) を用い、パーソナルコンピュータ (PC 9801 RA 2, (株)日本電気) にて行った。

III. 結 果

ダイコアを用いたラミネートベニアシェルの切端荷重による引張り応力分布を図 4 に示した。図上段は切端を被覆しない場合を、下段は切端を被覆する場合を示し、左からラミネートベニアシェルの矢状断面、唇側面、舌側面の応力分布をそれぞれ色表示したものである。

切端を被覆しない場合、引張り応力はラミネートベニアシェル唇面切端表層に集中し、最高 10.8 MPa であった。切端を被覆する場合は、引張り応力は舌面切端表層に集中するとともに唇面切端表層にも集中が認められ最高 30.1 MPa であった。

CD-200 を用いたラミネートベニアシェルの切端荷重による引張り応力 (図5) は、切端を被覆しない場合は唇面切端表層に集中し、最高 12.7 MPa であった。切端を被覆する場合は、舌面および唇面切端表層に引張り応力の集中が認められ、最高 30.9 MPa であった。

オブテックを用いたラミネートベニアシェルの切端荷重による引張り応力分布 (図6) は、ダイコアとはほぼ同様の結果が得られ、切端を被覆しない場合は唇面切端表層に集中し最高 10.2 MPa であり、切端を被覆する場合は舌面および唇面切端表層に集中し、最高 30.1 MPa であった。

以上のように、ラミネートベニアシェルの材料の違いによる荷重下での応力分布の変化は、わずかなものであることが明らかとなったので、以下の荷重点を変化させた場合の解析結果については、ダイコアを取り上げて述べることにした。

中央荷重によるラミネートベニアシェルの引張り応力分布を図7に示した。切端を被覆しない場合と切端を被覆する場合のいずれにおいても引張り応力が唇面中央に分布するが、高い引張り応力の集中は認められなかった。

歯頸部荷重によるラミネートベニアシェルの引張り応力分布を図8に示した。切端を被覆しない場合と切端を被覆する場合のいずれにおいても著明な応力の集中は認められなかった。

切端近心縁荷重によるラミネートベニアシェルの引張り応力分布を図9に示した。切端を被覆しない場合、引張り応力はラミネートベニアシェルの切端近心部に集中し、その応力値は最高 36.4 MPa であった。切端を被覆する場合、引張り応力は、被覆しない場合と同様の部位に集中すると共に舌面切端の荷重点周囲にも集中が認められ、その値は最高 60.2 MPa であった。

IV. 考 察

ラミネートベニア補綴は従来の審美的修復に比較してはるかに少ない歯質の削除量で唇面の審美修復を可能としたものである。しかしながら、破折や剥離に対する危惧、形成デザインなどの問題点をかかえている¹²⁾。そこで本研究では、力学的に重要と考えられる種々の条件下におけるラミネートベニアシェルの応力分布を検討した。

1. 実験方法について

ラミネートベニアシェルの力学的検討には、これまで光弾性法、有限要素法などが用いられてきた。これらのうち、有限要素法はモデルの設定が比較的自由であり、しかも境界条件の変更なども容易であり他の解析方法と比べ優れた方法であると考えられる。日永田ら¹³⁾、大村ら¹⁴⁾は二次元有限要素法を用いてラミネートベニアシェルの力学的検討を行っている。しかし、複雑な三次元構造を有する歯の力学的検討を行うためには、形態や寸法が生体と等価なモデルによる解析が必要である。したがってラミネートベニアシェルの応力分布の検討には三次元有限要素法を用いた。

また、脆性材料の破折にかかわるのは引張り応力であることから今回は引張り応力に関して検討した。

2. 実験結果について

1) 形成デザインおよび荷重点の影響

ラミネートベニア補綴を行う場合の支台歯の形成デザインには、これまで切端を削除する場合と切端を削除しない場合の2通りが用いられてきたが、前者の場合、荷重の部位によってはラミネートベニアシェルに直接力が加わることが考えられる。したがって今回の実験では形成デザインを2通りを用い、それぞれについて荷重点を変化させて解析を行った。

切端を被覆しない場合では、中央荷重、歯頸部荷重いずれの場合においても著明な引張り応力の集中は認められなかった。これに対して切端荷重においては唇面切端表層に引張り応力の集中が認められた。これらの結果は、歯根部を支点とした歯の曲げ変形によって発生したのと考えられ、荷重点が歯根部に近くなるほど曲げ変形の量が小さくなり応力が減少したためであると考えられる。また、切端近心縁荷重の場合のラミネートベニアシェルの引張り応力は、以上の理由に加えて水平方向のねじれのために近心切端部に発生したと考えられる。しかしながら、いずれの場合においても、発生する引張り応力の値はラミネートベニアシェルの破折の可能性の低い値であると考えられる。

切端を被覆する場合では、中央荷重、歯頸部荷重いずれの場合においても切端を被覆しない場合と同様の傾向が認められたが、ラミネートベニアシェルに直接荷重の付加される切端荷重においては唇面切端表層に加えて舌面切端荷重点周囲にも引張り応力の集中が認められた。同様のことが切端近心縁荷重についてもいえ、舌面切端近心部の荷重点周囲にも引張り応力の

表 2 間接引張り強さ^{a)}

Material	Tensile Strength (MPa)
Dicor	52.1± 9.1
CD-200	32.8±10.3
Optec Incisal Body	49.7± 8.4 55.0± 7.8

集中が認められた。この場合ダイコアの間接引張り強さ 52.1 MPa (表 2) を上回り、ラミネートベニアシェルの破折の可能性の高い値であると考えられる。

ラミネートベニア補綴を行うにあたり切端を被覆する方が審美性に優れているのはいうまでもないことであるが、以上の結果からも明らかに切端咬合やブラキシズムなど歯の切端に大きな咬合力が加わると予想される場合には破折の危険性を伴うと考えられ、適応には十分な注意が必要である。このような場合には、術前、術後に咬合の確認を行い、咬合の分散などを考慮に入れなければならない。さらにいえば、より強度の優れた材料の開発が望ましい。

2) ラミネートベニアシェルの用いる材料の影響

CD-200 を用いたラミネートベニアシェルの応力分布状態はダイコアを用いた場合とほぼ同様であり、CD-200 のヤング率がダイコアのヤング率 69.9 GPa に比べて 93.6 GPa とかなり高い値にもかかわらず、応力値はダイコアに比べて数 MPa 程度の高い値であった。しかしながら CD-200 の間接引張り強さが 32.8 MPa であることを考慮に入れると、ダイコアより破折の可能性の高い応力値であると考えられる。

オブテックを用いたラミネートベニアシェルの応力分布はダイコアの場合との間に明らかな差を認めなかった。これは材料のヤング率が近似しているためであると考えられる。

V. 結 論

右側上顎中切歯を対象として、荷重点、形成デザイン、ラミネートベニアシェルの用いる材料の違いがシェルの応力分布に与える影響を、三次元有限要素法を用いて検討し以下の結論を得た。

1. 荷重点の違いによる応力の変化では、切端近心縁荷重において最も高い引張り応力が生じた。

2. 形成デザインの違いによる応力の変化では、切

端を被覆する場合の方が高い引張り応力を生じた。

3. ダイコア、CD-200、オブテックによるシェルの応力値、応力分布は近似していた。

文 献

- 1) 六人部慶彦, 宮内修平, 丸山剛郎: キャスタブル・ガラス・セラミックス「DICOR™」のラミネートベニアテクニクに関する臨床例, 接着歯学, 7: 245~250, 1989.
- 2) 中村隆志, 丸山剛郎: ラミネートベニア修復の臨床的意義—適応症について—, 歯科ジャーナル, 31: 375~380, 1990.
- 3) 藤田恒太郎, 桐野忠大: 歯の解剖学, 21 版, 19~35, 金原出版, 東京, 1976.
- 4) 藤田恒太郎: 歯の組織学, 160, 医歯薬出版, 東京, 1957.
- 5) 上條雅彦: 口腔解剖学, 1 骨学, 177~191, アナトーム社, 東京, 1966.
- 6) 日野年澄: ニューセラミックスのクラウン・ブリッジ臨床応用に関する力学的研究, 阪大歯学誌, 35: 240~267, 1990.
- 7) Stanford, J.W., Weigel, K.V., Paffenbarger, G.C. et al: Compressive properties of hard tooth tissues and some restorative materials, J Am Dent Assoc, 60: 746~756, 1960.
- 8) Craig, R.G., Peyton, F.A. and Johnson, D.W.: Compressive properties of enamel, dental cements, and gold, J Dent Res, 40: 936~945, 1960.
- 9) Renson, C.E. and Braden, M.: Experimental determination of the rigidity modulus, Poisson's ratio and elastic limit in shear of human dentine, Arch Oral Biol, 20: 43~47, 1975.
- 10) 野首孝祠, 堤 定美, 山賀 保ほか: 有限要素法による歯, 歯根膜および歯槽骨の力学解析 (第 1 報)—二次元非線型解析—, 歯材器誌, 33: 369~378, 1976.
- 11) 堤 定美, 井田一夫, 野首孝祠ほか: 有限要素法による歯, 歯根膜および歯槽骨の力学解析 (第 2 報)—三次元弾性解析—, 歯材器誌, 33: 419~427, 1976.
- 12) 丸山剛郎, 中村隆志, 日野年澄: ポーセレンラミネートベニアの臨床応用, 26~29, クインテッセンス出版, 東京, 1991.
- 13) 日永田裕子, 沖本公繪, 家入浩二ほか: ポーセレンラミネートクラウンの力学的検討, 補綴誌, 32: 1100~1109, 1988.
- 14) 大村裕史, 大野清美, 村田義純: ラミネートベニアの力学的検討, 歯科ジャーナル, 31: 321~329, 1990.

図 1 三次元有限要素法モデル

図 2 三次元有限要素法モデルの模式図

図 4 ダイコアを用いたラミネートベニアシェルの切端荷重 (A) による引張り応力分布

図 5 CD-200を用いたラミネートベニアシェルの切端荷重 (A) による引張り応力分布

図 6 オプテックを用いたラミネートベニアシェルの切端荷重 (A) による引張り応力分布

図 7 ダイコアを用いたラミネートベニアシェルの中央荷重 (B) による引張り応力分布

図 8 ダイコアを用いたラミネートベニアシェルの歯頸部荷重 (C) による引張り応力分布

図 9 ダイコアを用いたラミネートベニアシェルの切端近心縁荷重 (D) による引張り応力分布