

義歯床用軟質裏装材の応力緩和能に関する有限要素解析

佐藤 裕二, 守谷 直史, 湯浅 良孝
赤川 安正

Finite Element Analysis on Relaxation of Denture Base Soft Lining Materials

Yuuji Sato, Naofumi Moriya, Yoshitaka Yuasa and Yasumasa Akagawa

(平成6年3月30日受付)

緒 言

高齢化社会の到来に呼応して、著しい顎堤吸収や顎堤粘膜の菲薄化を伴った難症例義歯患者が増加しつつあり、このような難症例に対しては種々の軟質裏装材が用いられている¹⁻³⁾。軟質裏装材を臨床に応用する上でもっとも期待されることの1つは、咀嚼時疼痛の緩和であると考えられる。そこで、軟質裏装材の有する応力緩和能が重要視され、この点に関しての報告もいくつかなされている⁴⁻⁹⁾。しかしながら、軟質裏装材の臨床応用に際しての科学的選択基準については必ずしも明確ではなく、これらの材質に望まれる諸性質についても未だに不明な点が多く残されている。

本研究では、臨床的に望ましい軟質裏装材の材料特性を明らかにすることを目的として、顎堤粘膜と軟質裏装材の弾性を変化させながら二次元有限要素解析を行い、いくつかの知見の集積を試みた。

材料ならびに方法

無歯顎下顎を検討部位とした。同部歯槽頂付近の床用レジン、軟質裏装材、顎堤粘膜、皮質骨の各材質の組み合わせをモデル化し、平面応力問題として有限要素解析を行った。解析は弾性解析とし、咬合力が瞬間的に加わり、塑性変形や粘性を生じる前の状態を仮定した。試作した有限要素モデルを図1に示した。床用レジン、軟質裏装材、顎堤粘膜の3つの材料についての各厚さを表1に示す6個の組み合わせとして表現し、顎堤粘膜の一部は菲薄な部分も設定した。モデル

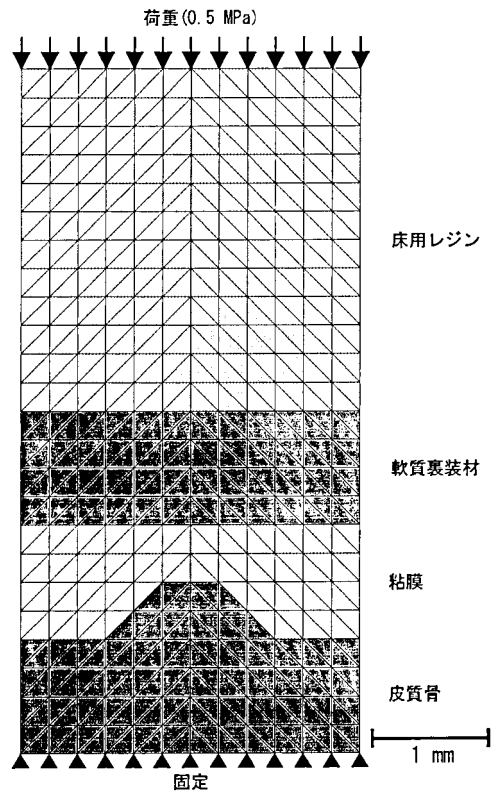


図1 有限要素モデル

表1 材料の厚さの組み合わせ

組み合わせ	1	2	3	4	5	6
床用レジン	2	3	3	4	4	5
軟質裏装材	2	1	2	1	2	1
粘 膜	3	3	2	2	1	1

単位：mm

広島大学歯学部歯科補綴学第一講座（主任：赤川安正教授）

本研究は一部文部省科学研究費補助金（奨励研究 A 平成4年度 No. 04771610）によった。

表2 材料定数⁹⁻²³⁾

	ヤング率 (MPa)	ポアソン比
床用レジン	2650	0.30
軟質裏装材	1.25 2.5 5.0 10.0 30.0 2650	0.30
粘 膜	1.25 2.5 5.0	0.40
皮 質 骨	24115	0.15

の要素数は576, 節点数は325とした。また, 加える荷重は上端部の床用レジン表面に垂直方向とし, 0.5 MPaの圧力となるよう設定した。モデルは皮質骨下部を完全に拘束することにより固定した。材料定数は以前の報告⁹⁻²³⁾の結果を参考にし, 表2に示した値を用いた。ヤング率は床用レジンと皮質骨では1つと定めたが, 軟質裏装材では6種, 顎堤粘膜では3種とし, これらの18通りの組み合わせについて各々解析を行った。なお, 有限要素プログラムは戸川²⁴⁾のプログラムを参考にして作成し, パーソナルコンピュータ(PC-9801 FA7, 日本電気社製)にて演算処理した。

結 果

顎堤粘膜に生じた von Mises の相当応力の分布の一

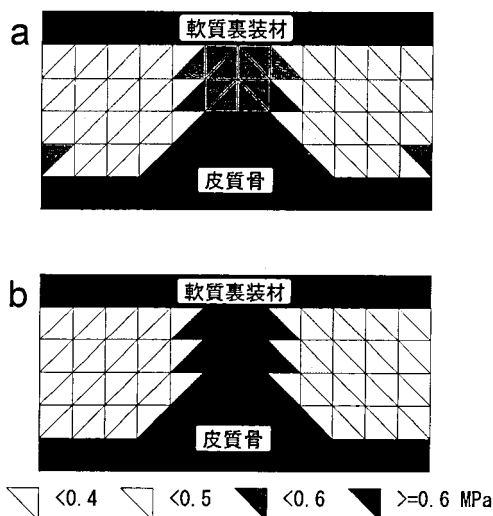


図2 顎堤粘膜内の von Mises の相当応力分布
軟質裏装材および皮質骨は一部分のみを表示。
顎堤粘膜の厚さ1mm, 軟質裏装材の厚さ1mm,
粘膜のヤング率2.5 MPa
a. 軟らかい軟質裏装材 (ヤング率=1.25 MPa)
b. 硬い軟質裏装材 (ヤング率=30.0 MPa)

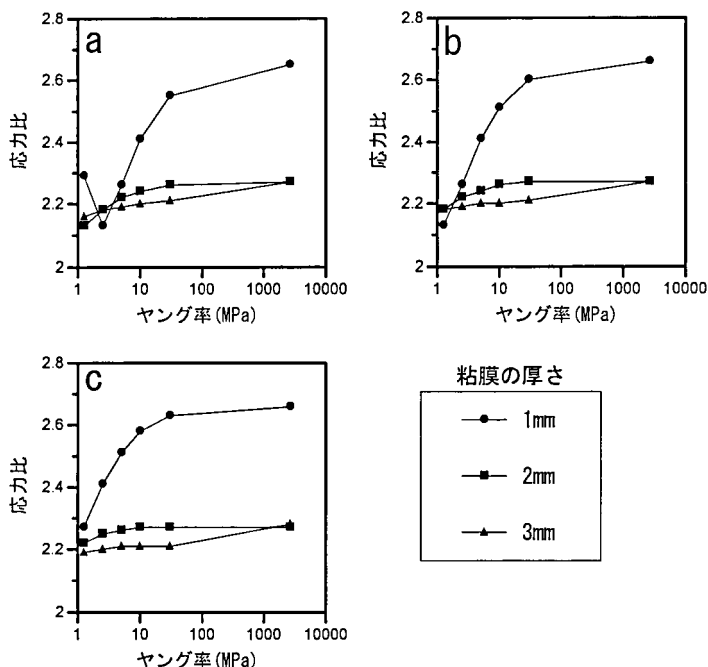


図3 軟質裏装材のヤング率が応力比におよぼす影響 (厚さが1mmの場合)
a. 粘膜の弾性率が5.0 MPa
b. 粘膜の弾性率が2.5 MPa
c. 粘膜の弾性率が1.25 MPa

例を図2に示した。応力の集中は軟質裏装材が軟らかい場合には少ないのに対し、硬い場合には顎堤粘膜の菲薄な部分に明瞭に認められた。

次いで、応力の集中を定量的に評価するため、顎堤粘膜における von Mises の相当応力の最大値と最小値の比（以下応力比と略す）を求めた。図3 (a, b, c) に顎堤粘膜の弾性率がそれぞれ異なる場合で軟質裏装材の厚さが1 mm の場合の応力比の変化を示した。図3 a は顎堤粘膜のヤング率が大きい場合 (5.0 MPa) の結果であるが、顎堤粘膜の厚さが厚い場合 (2 mm または 3 mm) には軟質裏装材のヤング率が変化しても応力比はほとんど変化しないが、薄い場合 (1 mm) にはヤング率の小さい軟質裏装材の使用により、応力比は大きく減少した。しかしながら、軟質裏装材のヤング率が顎堤粘膜のそれより小さい場合には逆に応力比が大きくなった。図3 b, c はそれぞれ顎堤粘膜のヤング率が中等度の場合 (2.5 MPa) と小さい場合 (1.25 MPa) での結果である。両者とも顎堤粘膜の厚さが厚い場合 (2 mm または 3 mm) には軟質裏装材のヤング率が変化しても応力比がほとんど変化しないが、薄い場合 (1 mm) にはヤング率の小さい軟質裏装材の使用により、応力比は大きく減少した。

なお、軟質裏装材の厚さが2 mm の場合も図3に示した1 mm の結果とほぼ同じ値であった。

考 察

I. 研究方法について

義歯全体をモデルとした解析を行った場合^{23,25,26)}には、その顎堤形態による影響が大きく、本研究の目的とする応力緩和能に及ぼす影響を明確にする事は困難と考えられる。そこで、実際の義歯での局所的な現象のみを単純化して捉えるため、本研究のモデルは義歯の一部分だけをモデル化した。

各材料のヤング率は研究者の報告^{9,15-23)}から表2に示す値を用いたが、軟質裏装材の最も硬い材料は床用レジンと同一の値とし、軟質裏装材を使用しなかった場合を想定した。顎堤粘膜のヤング率も過去の報告¹⁰⁻¹⁴⁾によったが、標準的な場合を2.5 MPa とし、それより軟らかい場合と硬い場合の解析を行った。

本研究では咬合力が義歯にかかった瞬間は、まず軟質裏装材の瞬間的な弾性が働くことを考え、軟質裏装材の弾性率に焦点をあてて検討した。軟質裏装材が床下組織の応力分布に及ぼす影響について有限要素法を用いた報告は河野ら^{22,27)}によってなされているが、顎堤粘膜、軟質裏装材の厚さ、ヤング率などを一通りで行われたため、いくつかの条件下での応力緩和の動

態は不明のままである。そこで我々は、顎堤粘膜、軟質裏装材の材料定数に種々の値を想定し分析を行った。咬合力の負荷には時間的な様相も考える必要があり、特に応力緩和現象は粘性要素があって初めて発揮されるものであるため、今後は粘性も考慮した上での検討を行う必要がある。

II. 研究結果について

有限要素解析の結果、応力比が小さいほど、応力が緩和されていた。さらに、顎堤粘膜の厚さが2 mm 以上の場合には、応力比は減少せず、応力緩和能はほとんど発揮されないこと、また、軟質裏装材は1 mm の厚さでも2 mm と同程度の応力緩和能を示すことなどが明らかとなった。これらのことは、軟質裏装材を必要以上に厚くする必要がないことを示唆するものと考えられる。本研究とは研究方法は異なるものの、日高²⁸⁾や鱈見²⁹⁾は軟質裏装材を2 mm 以上に裏装する必要はないと報告をしており、今回の結果はそれらの研究結果を力学的立場から支持するものである。

顎堤粘膜が1 mm 程度の薄い場合には、軟質裏装材のヤング率が小さいほど応力比は減少し、応力緩和能が発揮される事が示された。しかし、顎堤粘膜のヤング率が軟質裏装材のそれより小さくなる場合では、逆に応力集中が生じる事も判明した。このことは、最適な応力緩和を発揮するためには、軟質裏装材のヤング率が小さければ良いとするのではなく、顎堤粘膜のヤング率と軟質裏装材のそれとの関係が重要であることを示唆するものであろう。

総 括

軟質裏装材の応力緩和能を二次元有限要素解析を用いて検討し、以下の結果を得た。

- 1) 顎堤粘膜の厚さが2 mm 以上の厚い場合には軟質裏装材の応力緩和能はほとんど発揮されなかった。
- 2) 顎堤粘膜が1 mm 程度の薄い場合には軟質裏装材のヤング率が小さいほど応力緩和能が発揮された。
- 3) 顎堤粘膜のヤング率より小さすぎる軟質裏装材では逆に応力集中が生じた。
- 4) 軟質裏装材は1 mm の厚さでも2 mm と同程度の応力緩和能を発揮した。

謝 辞

稿を終えるに臨み、研究遂行上、多大な御支援を頂きました本学津留宏道名誉教授に感謝致します。

文 献

- 1) 平澤 忠, 平林 茂: 市販各種リベース材の現

- 況とその材料学的な整理として. QDT 12, 53-66, 1987.
- 2) Qudah, S., Harrison, A. and Huggett, R.: Soft lining materials in prosthetic dentistry: a review. *Int. J. Prosthodont.* 3, 477-483, 1990.
 - 3) 濱田泰三, 重頭直文, 村田比呂司: 義歯の裏装. 日本医療文化センター, 東京, 1991.
 - 4) Robinson, J. G. and McCabe, J. F.: Creep and stress relaxation of soft denture liners. *J. Prosthet. Dent.* 48, 135-140, 1982.
 - 5) 篠原直幸, 嶺崎良人, 鬼塚 雅, 藤井孝一, 井上勝一郎: 軟口蓋実質欠損の補綴に応用したシリコン系材料の力学的性質. 第1報. 臨床例と応力緩和. 補綴誌 27, 774-779, 1983.
 - 6) 篠原直幸, 嶺崎良人, 自見 忠, 藤井孝一, 井上勝一郎: 軟性裏装材の力学的性質に関する研究—応力緩和挙動の経時的変化—. 補綴誌 27, 1242-1246, 1983.
 - 7) 多田 望, 河野文昭, 永尾 寛, 川村 厚, 萬好哲也, 羽田 勝, 松本直之: 軟質裏装材の緩圧効果に関する基礎的研究. 補綴誌 35, 85回特別号: 176, 1991.
 - 8) 守谷直史, 操田利之, 森本 進, 佐藤裕二, 大川周治, 岡田達夫, 吉田総仁, 津留宏道: 義歯床用軟質裏装材の粘弾性特性. —負荷時および除荷時の挙動について—. 廣大歯誌 25, 180-185, 1993.
 - 9) 守谷直史: 軟質裏装材の粘弾性特性に関する研究. 廣大歯誌 25, 186-199, 1993.
 - 10) Herzig, E.: The pressure deformation relationship and rheologic behavior of palatal mucoperiosteum. Thesis, Univ. of Washington, 1965.
 - 11) Kydd, W.L.: The stiffness of palatal mucoperiosteum. *J. Prosthet. Dent.* 18, 116-121, 1967.
 - 12) Tomlin, H. R.: The thickness and hardness of soft tissues. *Br. Dent. J.* 124, 223-226, 1968.
 - 13) 田中資郎: 口蓋粘膜のクリープに関する研究. 補綴誌 14, 358-378, 1973.
 - 14) 中島俊朗: 口蓋粘膜の応力緩和に関する研究. 補綴誌 19, 391-410, 1975.
 - 15) 新倉久市: 総義歯の応力解析に関する研究. 第1報. 構成材料の力学的特性, とくにヤング率, ポアソン比について. 補綴誌 25, 24-43, 1981.
 - 16) 前田芳信, 堤 定美, 岡田政俊, 青木孝朗, 野首孝祠, 奥野善彦: 有限要素法による有床義歯の応力解析. 第1報 上顎両側遊離端における荷重条件ならびに材質の影響. 阪大歯学誌 31, 275-284, 1986.
 - 17) 前田芳信, 堤 定美, 岡田政俊, 石井和雄, 野首孝祠, 奥野善彦: 有限要素法による上顎遊離端義歯の応力解析. 第2報 顎骨の吸収およびリベースの影響. 阪大歯学誌 31, 386-392, 1986.
 - 18) 川崎貴生, 山田 亨, 星井 守, 三木敬一: 有限要素法を利用した遊離端欠損症例における応力解析. 第1報 維持装置の連結機構の違いによる応力分布. 補綴誌 31, 287-295, 1987.
 - 19) 川崎貴生, 山田 亨, 野川哲義, 星井 守, 三木敬一: 有限要素法を利用した遊離端欠損症例における応力解析. 第2報 固定法の違いが与える応力分布への影響. 補綴誌 31, 853-867, 1987.
 - 20) 野川哲義: 有限要素法による遊離端義歯の力学的研究. 第1報 二次元非線形弾性解析の導入. 補綴誌 33, 952-965, 1989.
 - 21) 野川哲義: 有限要素法による遊離端義歯の力学的研究. 第2報 レストの設定位置と顎堤粘膜の被圧変位性の違いによる応力分布への影響. 補綴誌 33, 1313-1327, 1989.
 - 22) 河野文昭, 永尾 寛, 多田 望, 羽田 勝, 松本直之: 粘弾性解析による義歯床下組織の応力分布. —粘弾性解析の導入—. 補綴誌 34, 623-630, 1990.
 - 23) 本橋宏明: 義歯床下粘膜における応力分布の有限要素法による解析. 補綴誌 37, 1059-1073, 1993.
 - 24) 戸川隼人: マイコンによる有限要素解析. 培風館, 東京, 249-268, 1982.
 - 25) 高山芳幸, 山田 亨, 平 和隆, 瀬高昌士, 川崎貴生: 下顎総義歯の動態解析. 第1報. —三次元有限要素モデルの作製—. 補綴誌 34, 84回特別号, 118, 1990.
 - 26) 高山芳幸, 山田 亨, 川崎貴生, 平 和隆, 瀬高昌士: 下顎総義歯の動態解析. 第2報. —有限要素法による義歯床と粘膜の接触状態のモデル化—. 補綴誌 35, 86回特別号, 42, 1991.
 - 27) 河野文昭, 浅岡憲三, 永尾 寛, 多田 望, 松本直之: 粘弾性解析による軟質裏装材の有用性に関する研究. —第1報 軟質裏装材が床下組織の応力分布に及ぼす影響—. 補綴誌 36, 1305-1311, 1992.
 - 28) 日高里史: 軟性裏装材の物性に関する基礎的研究. 九州歯会誌 34, 678-695, 1981.
 - 29) 鯨見進一: 軟性裏装材のレオロジカルな性質と咀嚼能力に及ぼす影響. 九州歯会誌 38, 864-879, 1984.