総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究

第2報 上顎総義歯におけるひずみ・応力分布の挙動

新倉 久市

Structural Deformation and Fracture Analyses of Complete Dentures

Part 2. Stress/Strain Parameters in a Complete Upper Denture

Kyuichi Niikura

I. 緒 言

総義歯の変形・破折現象における構造解析は、くり返し疲れ試験、衝撃試験なども行って、その結果を合わせて論じなければならない。そこで著者は、まず静的試験による変形・破折現象の構造力学的解析を企画して実験を施行した。

前報¹⁾においては、その第一段階として咬合堤状モデルを使用して、主ひずみ分布、最大せん断ひずみ分布、主応力分布、最大せん断応力分布、破壊時表面ひずみ量を測定した。その結果、唇側部分より口蓋側部分でより大きなひずみ・応力分布を観察した。すなわち破壊時には口蓋正中矢状部に対して大きな引張り直応力、せん断応力が作用することを観察した。破壊時表面ひずみ量についても、床後縁正中矢状部で大きな引張りひずみが生じることが判明した。

本報においては、以上の知見より得られた変形・破折機序が、実際の総義歯において構造力学的にどのような変形・破壊現象を示すかについて前述のひずみ値、応力値を測定することにより、破壊時のひずみ・応力挙動を数量的に分析することが出来たので報告する。

Fig. 1 Complete dentures as used in this experiment

Fig. 2 45 degree 3 axes rosette gauge KFC-2-D17-23 (left), single axis strain gauge KFR-02-C1-16 (middle), and concentrated stress strain gauge KFC-1-D9-11 (right)

城西歯科大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：柳生嘉博教授）

Josai Dental University Graduate School of Dentistry,
Major in Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Yoshihiro Yagiu)

昭和 57 年 8 月 30 日受付

Table 1 Materials used

Materials	Manufacturer	
Original model	Dental study model N4	NISSIN Dental.
Experimental denture	Denture base: "ACRON"	G-C Dental.
Strain gauge	45 degree 3 axes rosettes gauge; KFC-2-D17-23	KYOWA Electronic.
	Single axis gauge; KFR-02-C1-16	KYOWA Electronic.
	Concentrated stress strain gauge; KFC-1-D9-11	KYOWA Electronic.
Digital strain equipment	SD-510A, ASB-20A	KYOWA Electronic.
Autograph	S-500	SHIMADZU SEISAKUSHO Co., Ltd.
Computer	Micro-computer 9825A	YHP
	X-Y Plotter 9872A	YHP
	Digitizer 9874A	YHP

II. 材料と方法

II-A. 材 料

本試験に使用した総義歯実験モデルは、人工歯にレジン歯を使用したレジン床義歯とした。人工歯の排列は²⁾、矢状顎路角 30°, プログレッシブ・サイド・シフト 6°, 矢状切歯路角 10°, 顎頭間距離 110 mm に調節した Denar Mark II JDU 型咬合器上で行った。人工歯排列完了後、歯齦形成を施し通法³⁾に従い埋没を行った。重合条件は、予備試験と同様に行った。開輪後、通法に従って研磨して仕上げたものを、総義歯実験モデルとした (Fig. 1)。

つぎに、ひずみ・応力分布の測定には、45° 直角 3 軸型 3 方向測定用ストレイン・ゲージ KFC-2-D 17-23, 単軸ストレイン・ゲージ KFR-02-C1-16, 集中応力測定用ストレイン・ゲージ KFC-1-D9-11 (共和電業㈱) を使用した (Fig. 2)。測定に際しての加圧試験装置には、電子制御式オートグラフ S-500 (島津製作所), ひずみ測定装置には、自動多点切換器 ASB-20 A, デジタルひずみ測定器 SD-510 A (共和電業㈱), 測定値の分析には、パーソナル・コンピューター 9825 A, XY プロッター 9872 A, デジタイザー 9874 A (横河・ヒューレット・パッカード社) を使用した。これらの測定機器をインターフェース・バスを使用してオン・ラインとした実験システムにより実験を行った (Table 1, Fig. 3, 4)。

II-B. 実験方法

本実験においては、パーソナル・コンピューターを応用することによってデータの計測、演算をオン・ライン

Fig. 3 Online procedure of experimental system

としたシステム、およびそれを実行させるためのソフト・ウェアを開発した。

この実験システムの概要は、まず試験体に接着しているストレイン・ゲージの変形量をデジタルひずみ測定器で測定して、その測定された値とオートグラフのロードセルより得られる試験体に負荷された荷重値を、それぞれインターフェース・バスを通じてコンピュータ本体にインプットして、それぞれの測定値をデータ・ファイルする。つぎに、このデータ・ファイルされた測定値は、最小自乗法を用いた直線回帰式を誘導し、破壊時のひずみ分布、応力分布を推定するためのロゼット解析式をアルゴリズムしたアプリケーション・プログラムに流され、破壊時のひずみ、応力の大きさと方向をアウトプットする (Fig. 3, 4)。

45° 直角 3 軸型 3 方向測定用ロゼット・ゲージは、水平方向の表面ひずみ量を ϵ_x 、垂直方向の表面ひずみ量を

Fig. 4 Top: Autograph S-500, Digital strain equipment SD-510A, ASB-20A.
Bottom: YHP personal computer 9825A, XY plotter 9872A, and digitizer 9874A

$$\epsilon_1, \epsilon_2 = \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + \{2\epsilon_b - (\epsilon_a + \epsilon_c)\}^2}$$

$$\gamma_{\max} = \sqrt{2\{(\epsilon_a - \epsilon_b)^2 + (\epsilon_b - \epsilon_c)^2\}}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{E}{1-\nu} \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} \pm \frac{E}{1-\nu} \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_a - \epsilon_c)^2 + \{2\epsilon_b - (\epsilon_a + \epsilon_c)\}^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{E}{2(1+\nu)} \sqrt{2\{(\epsilon_a - \epsilon_b)^2 + (\epsilon_b - \epsilon_c)^2\}}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\epsilon_b - (\epsilon_a + \epsilon_c)}{\epsilon_a - \epsilon_c}$$

E = Young's modulus
ν = Poisson's ratio

Fig. 5 Various formulae used for rosette analysis

ϵ_c , それらの 45° 中間方向の表面ひずみ量を ϵ_b とした時, この 3 方向より得られる表面ひずみ量 $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_c$, より, 主ひずみ ϵ_1, ϵ_2 , 最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$, 主応力 σ_1, σ_2 , 最大せん断応力 $\tau_{\max}$, 角度 θ を解析することができる⁴⁾ (Fig. 5).

また, 主応力分布, 最大せん断応力分布を解析する計

Fig. 6 Fracture test for breaking strength of a complete denture (uniformly distributed load)

算式中的材料定数であるヤング率を 190.1 Kg/mm^2 , ポアソン比を 0.313 として⁵⁾ ロゼット解析を行った.

1. 破壊試験

まず, 上下総義歯実験モデルを中心咬合位状態として, 低融点金属より作製した受圧模型を静止系として, オートグラフの上方圧盤と下方圧盤との間に装着した. そのうち, クロスヘッドの負荷速度を 1 mm/min として 2 kg ずつ荷重を負荷して破壊試験を行った. この状態での破壊試験を等分布荷重破壊試験とした (以下, 等分布荷重および等分布荷重破壊試験とする. Fig. 6).

つぎに, 上顎受圧模型を取除き上方圧盤の代りに曲げポンチを使用して, 上顎総義歯実験モデルの口蓋正中最深部に粘膜方向より荷重を負荷した. 荷重負荷条件は, 等分布荷重破壊試験と同様に行った. この破壊試験を集中荷重破壊試験とした (以下, 一点集中荷重および一点集中荷重破壊試験とする. Fig. 7).

2. ひずみ分布

45° 直角 3 軸型 3 方向測定用ロゼット・ゲージを用いて, 主ひずみ分布, 最大せん断ひずみ分布について, 等分布荷重, 一点集中荷重を負荷して測定を行った.

ロゼット・ゲージの接着部位は, 上顎総義歯実験モデルにおいては, ϵ_a が前頭面と平行に, ϵ_c が矢状面と平行になるように基準平面を設定した. 唇頬側面では, 上

Fig. 7 Fracture test for breaking strength of a complete denture (concentrated load)

唇小帯ノッチ部に1枚，第1第2小臼歯隣接面部に左右1対，第2大臼歯隣接面部に左右1対，合計5枚とした。口蓋面においては，左右犬歯尖頭を結ぶ線と正中矢状線との交点に1枚，左右第1第2小臼歯隣接面を結ぶ線と正中矢状線との交点に1枚，およびその左右1 cm 離れた部位に左右1対，同様にして左右第1大臼歯中央小窩を結ぶ線と正中矢状線との交点に1枚，およびその左右1 cm 離れた部位に左右1対，床後縁正中矢状部に1枚，その左右1 cm 離れた部位に左右1対，口蓋面に合計10枚接着した（Fig. 8, 9）。

荷重の負荷は，破壊試験と同様に，等分布荷重，一点集中荷重を同一の負荷条件として実験を行った。

3. 応力分布

応力分布については，主応力分布，最大せん断応力分布について，等分布荷重，一点集中荷重を負荷してロゼット解析を行った。

応力分布を測定するにあたっては，ロゼット・ゲージの接着部位，荷重負荷条件を，ひずみ分布と同様に行った。

4. 破壊時表面ひずみ量

上顎総義歯実験モデルの破壊時の表面ひずみ量の検討を，集中応力測定用ゲージを使用して行った。荷重の負荷条件は，等分布荷重，一点集中荷重を負荷して破壊試験と同様に行った。

Fig. 8 Rosette gauges installed on a complete upper denture

Fig. 9 Gauge positions of Figure 8

Fig. 10 Concentrated stress strain gauges installed on a complete upper denture

ゲージの接着部位は，上顎総義歯実験モデルの正中矢状線を中心線として，口蓋部分では，床後縁部，大臼歯部，小臼歯部，前歯部，唇頰側部分では，上唇小帯ノッチ部，頬小帯ノッチ部とした。特に，小帯ノッチ部については，単軸ゲージを組合わせて測定を行った（Fig. 10, 11）。

Fig. 11 Gauge positions of Figure 10

III. 実験結果

III-A. 破壊試験

1. 等分布荷重

等分布荷重を負荷した破壊試験では、 377.6 ± 13.8 kg の荷重において、上下総義歯実験モデルに破折が生じた (Table 2).

2. 一点集中荷重

一点集中荷重を負荷した破壊試験では、 135.4 ± 10.1 kg の荷重において、上顎総義歯実験モデルに破折が生じた (Table 3).

III-B. ひずみ分布

1. ひずみ分布

a 等分布荷重

まず、上顎総義歯実験モデルにおける測定結果は、Table 4 に示す通りである。測定結果より、唇頬側部分の測定点よりも口蓋側部分において、大きなひずみ挙動を観察した。とりわけ、口蓋側部分の正中矢状線上の測定点においては、正中矢状線に対してほぼ直角の方向に引張りひずみが生じ、床後縁部分で大きな値を得た (Fig. 12).

b 一点集中荷重

上顎口蓋正中最深部に粘膜方向より一点集中荷重を負荷した場合の測定結果は、Table 5 に示す通りである。この測定結果を、等分布荷重を負荷した場合の測定結果と比較すると、各測定部位におけるひずみ値は、全体にわたって、小さな値を示している。しかしながら、等分

Table 2 Data for breaking point in complete dentures under a uniformly distributed load

No.	Experimental data (kg)
1	366
2	360
3	380
4	368
5	378
6	386
7	372
8	410
9	382
10	374
Mean	377.6
± S.D.	13.8

Table 3 Data for breaking point in complete dentures under a concentrated load

No.	Experimental data (kg)
1	148
2	140
3	128
4	132
5	124
6	120
7	152
8	134
9	140
10	136
Mean	135.4
± S.D.	10.1

布荷重を負荷した結果と同様に、唇頬側部分の測定点よりも、口蓋側部分の測定点において、ひずみ挙動が大きく、とりわけ、正中矢状線上の測定部位においては、正中矢状線に対してほぼ直角の方向に引張りひずみが生じ、床後縁部分で大きな値を得た (Fig. 13).

2. 最大せん断ひずみ分布

a 等分布荷重

上顎義歯実験モデルにおける最大せん断ひずみ分布は、Table 4 に示す通りである。この測定結果のなかで、主ひずみ挙動の大きい部位、すなわち、正中矢状線上の各測定部位について行った実験では、正中矢状線上の最大せん断ひずみ分布は、同部位の主ひずみ分布と同様に、上唇小帯ノッチ部の測定部位においては、大きな値

Table 4 Data for various stress/strain parameters in a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

gauge position	ϵ_1	ϵ_2	γ_{max}	σ_1	σ_2	τ_{max}	θ
M-1	-12224	-6730	5493	-3.02	-2.22	0.40	10.00
M-2	27107	-20612	47719	4.35	-2.56	3.45	0.13
M-3	34265	-4498	38763	6.92	1.31	2.81	14.26
M-4	19417	-18124	47540	2.90	-2.54	2.72	-0.65
M-5	30493	-9598	40493	5.88	0.02	2.93	2.61
RB-1	10715	-16957	27672	1.14	-2.87	2.00	5.97
RB-2	769	-2597	3366	-0.01	-0.50	0.24	16.80
LB-1	19448	-22563	42012	2.61	-3.47	3.04	-42.77
LB-2	2297	-2331	4629	0.34	-0.33	0.34	-31.84
RP-1	5869	-9691	15559	0.60	-1.66	1.13	-37.96
RP-2	11383	-13375	25040	1.50	-2.13	1.81	9.36
RP-3	21358	-9589	30947	3.87	-0.61	2.24	-15.21
LP-1	3470	-7779	11249	0.22	-1.41	0.81	36.54
LP-2	10681	-5270	15952	1.90	-0.41	1.15	-15.18
LP-3	10513	-7367	17881	1.73	-0.86	1.29	42.68

 ϵ_1, ϵ_2 : principal strain (μ strain) γ_{max} : maximum shear strain (μ strain) σ_1, σ_2 : principal stress (kg/mm²) τ_{max} : maximum shear stress (kg/mm²) θ : direction (°)**Table 5** Data for various stress/strain parameters in a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

gauge position	ϵ_1	ϵ_2	γ_{max}	σ_1	σ_2	τ_{max}	θ
M-1	-2123	-1289	834	-0.53	-0.41	0.06	26.47
M-2	5158	-4875	10033	0.77	-0.69	0.73	-7.07
M-3	6907	-4779	11686	1.14	-0.55	0.85	-11.48
M-4	4797	-3944	18741	2.86	0.14	1.36	2.27
M-5	11939	-4051	15991	2.25	-0.07	1.16	-2.46
RB-1	11230	-2221	3451	0.11	-0.39	0.25	-26.34
RB-2	1085	-717	1801	0.18	-0.08	0.13	18.66
LB-1	2117	-2174	4291	0.30	-0.32	0.31	-34.60
LB-2	1325	-1227	2542	0.20	-0.17	0.18	-17.95
RP-1	2405	-5151	7556	0.17	-0.93	0.55	27.64
RP-2	1869	-4842	6711	0.07	-0.90	0.49	-6.81
RP-3	3446	-2207	5653	0.58	-0.24	0.41	-26.76
LP-1	4145	-6926	11071	0.42	-1.19	0.80	-36.34
LP-2	983	-3485	4467	-0.02	-0.67	0.32	7.09
LP-3	6798	-2725	9523	1.25	-0.13	0.69	18.68

 ϵ_1, ϵ_2 : principal strain (μ strain) γ_{max} : maximum shear strain (μ strain) σ_1, σ_2 : principal stress (kg/mm²) τ_{max} : maximum shear stress (kg/mm²) θ : direction (°)

Fig. 12 Principal strain on a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

Fig. 13 Principal strain on a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

を示していない。しかしながら、口蓋側部分の測定部位においては、大きな値を示していることが観察された (Fig. 14)。

b 一点集中荷重

上顎総義歯実験モデルに一点集中荷重を負荷した場合の最大せん断ひずみ分布は、等分布荷重を負荷した場合の値より小さな値を示している (Table 5)。しかしながら、最大せん断ひずみ分布の傾向は、等分布荷重を負荷した場合と同様に、上唇小帯ノッチの測定部位よりも、口蓋正中矢状線上の測定部位で大きなせん断ひずみ値を得た (Fig. 15)。

III-C. 応力分布

1. 主応力分布

a 等分布荷重

上顎総義歯実験モデルにおける主応力分布は、主ひずみ分布の分布傾向と同様に、唇頬側部分の測定部位よりも、口蓋側部分の測定部位で大きな値を得た (Table 4)。

Fig. 14 Maximum shear strain along the median sagittal line of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

口蓋側部分の測定部位においては、とりわけ口蓋正中矢状線上の測定部位が正中矢状線に対してほぼ直角の方向に大きな引張り応力を生じ、床後縁部分で大きな値を示した (Fig. 16)。

b 一点集中荷重

一点集中荷重を負荷した場合も同様に、主ひずみ分布の分布傾向と同様の傾向を表した。すなわち、唇頬側部分の測定部位に比較して、口蓋側部分の測定部位の測定結果がより大きな応力値を示した (Table 5)。口蓋側部分の測定結果においても、とりわけ正中矢状線上の測定部位においては、正中矢状線に対してほぼ直角の方向に引張り応力が作用しており、大臼歯部、床後縁部で大きな値を示した (Fig. 17)。

2. 最大せん断応力分布

a 等分布荷重

上顎総義歯実験モデルについては、主応力分布で大きな値を示した口蓋側部分の測定部位が同様に、最大せん

Fig. 15 Maximum shear strain along the median sagittal line of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

Fig. 16 Principal stress on a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

断応力分布も大きな値を示した (Table 4)。口蓋側部分の測定部位, なかんずく正中矢状線上の測定部位では, 前歯部から床後縁部まで一様に大きな値を示した (Fig. 18)。

b 一点集中荷重

上顎総義歯実験モデルにおいては, 等分布荷重を負荷した場合と比較して, 一様に小さい値を得た (Table 5)。

Fig. 17 Principal stress on a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

Fig. 18 Maximum shear stress along the median sagittal line of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

等分布荷重を負荷した場合と同様に, 唇頬側部分よりも口蓋側部分の測定部位で大きな最大せん断応力分布を示した。口蓋側部分でも, とりわけ正中矢状線上の測定結果と比較すると, 上唇小帯ノッチ部の測定結果に比較して, 口蓋側部分の測定部位で大きな値を観察した。とりわけ口蓋正中矢状線上の床後縁部分で大きな値を示した (Fig. 19)。

Fig. 19 Maximum shear stress along the median sagittal line of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

Fig. 21 Frontal view of breaking surface strain in the premolar area of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

Fig. 20 Breaking surface strain along the median sagittal line of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

Fig. 22 Frontal view of breaking surface strain in the molar area of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

III-D. 破壊時表面ひずみ量

1. 等分布荷重

上顎総義歯実験モデルの破壊時表面ひずみ量の測定結果は、Table 6 に示す通りである。主ひずみ分布、最大

Fig. 23 Frontal view of breaking surface strain in the posterior palatal region of a complete upper denture (377.6 kgf uniformly distributed load)

Fig. 25 Frontal view of breaking surface strain in the premolar area of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

Fig. 24 Breaking surface strain along the median sagittal line of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

Fig. 26 Frontal view of breaking surface strain in the molar area of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

せん断ひずみ分布, 主応力分布, 最大せん断応力分布における測定結果により, 大きな変形現象をあらわした正中矢状線上の測定部位について検討を加えた結果, 口蓋部の前歯部分, 床後縁部分で大きな引張りひずみを得た (Fig. 20). また, この口蓋部の小臼歯部分, 大臼歯部分, 床後縁部分の前頭断所見において, とりわけ床後縁

Table 6-1 Data for surface strain at breaking point along the median sagittal area in a complete upper denture under a 377.6 kgf uniformly distributed load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
M-1	1	-1566	-991	-917
	2	-1679	-1042	-990
	3	-1766	-1269	-1085
	4	-2985	-1553	-1693
	5	-3001	-1725	-1854
	6	1953	1287	1220
	7	2399	2267	2068
	8	3296	2972	3136
	9	2066	2952	2226
	10	1950	1510	1186
	11	-3517	-2000	-2086
	12	-2962	-2124	-1615
	13	-2277	-2119	-831
	14	-2111	-1961	-344
	15	-1846	-1741	-112
M-2	1	14760	8129	11638
	2	14848	11434	14578
	3	13350	14142	14647
	4	12460	9494	10080
	5	10185	8851	10052
M-3	1	6199	743	1134
	2	-3492	-1100	-3159
	3	-5932	97	-3414
	4	-5615	1310	-3640
	5	-4353	1639	-2048
M-4	1	6651	6195	6540
	2	7066	6459	6872
	3	7294	6738	7415
	4	6859	6235	6972
	5	6678	5671	5813
M-5	1	8818	8455	8651
	2	8708	8909	9612
	3	11982	11901	13383
	4	11282	9932	13622
	5	10610	8364	12483

Table 6-2 Data for surface strain at breaking point in the right palatal area of a complete upper denture under a 377.6 kgf uniformly distributed load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
RP-1	1	-5563	-5211	-4872
	2	-2595	-2997	-2992
	3	-1059	-1222	-1453
	4	86	215	-185
	5	1281	815	819
RP-2	1	-3595	-2063	-1799
	2	1440	1524	1271
	3	2653	2400	2794
	4	4843	4814	4869
	5	5948	5977	5769
RP-3	1	2896	3110	6142
	2	4617	4266	7696
	3	6533	5647	8724
	4	8471	6692	9249
	5	9692	907	9586
RP-4	1	2416	994	1745
	2	667	-486	-340
	3	-1100	-1642	-2222
	4	-1853	-1782	-2275
	5	-1098	-1543	-705
RP-5	1	1674	1855	1802
	2	2686	2782	2573
	3	4284	4707	2679
	4	5050	4767	4244
	5	5076	5117	5054

IV. 考 察

著者は、総義歯実験モデルを用いて、この試験体に等分布荷重、一点集中荷重を負荷して、上顎総義歯の破壊時の主ひずみ分布、最大せん断ひずみ分布、主応力分布、最大せん断応力分布、破壊時表面ひずみ量を測定して上顎総義歯の破折時における構造力学的解析を行った。

その結果、等分布荷重下における主ひずみ分布、主応力分布は、小臼歯部、床後縁部の正中矢状線上で左右に大きな引張りひずみ、引張り応力が作用していた。また同様に、最大せん断ひずみ、最大せん断応力も同部で大きな値を示していることが観察された。一点集中荷重下における主ひずみ分布、最大せん断ひずみ分布、主応力分布、最大せん断応力分布も口蓋正中矢状線上の大臼歯部、床後縁部で大きな値を観察した。

つぎに、ロゼット解析の結果をふまえて、集中応力測

部分では引張りひずみによる非常に大きな変形現象を示した (Fig. 21, 22, 23).

2. 一点集中荷重

一点集中荷重を負荷した場合、上顎総義歯実験モデルにおける破壊時表面ひずみ量の測定結果は、Table 7 に示す通りである。正中矢状線上の測定部位における所見は、口蓋部の大臼歯部分、床後縁部分で大きな引張りひずみ値を得た (Fig. 24)。また、口蓋部の小臼歯部分、大臼歯部分、床後縁部分における前頭断見についても、それぞれ正中矢状線を中心とした大きな引張りひずみを示した (Fig. 25, 26, 27)。

Table 6-3 Data for surface strain at breaking point in the left palatal area of a complete upper denture under a 377.6 kgf uniformly distributed load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
LP-1	1	-637	1571	4122
	2	-2143	-1995	446
	3	-3440	-5258	-2736
	4	-4963	-6466	-7189
	5	-5487	-7553	-8799
LP-2	1	3412	3781	6035
	2	2926	3676	4978
	3	1303	1039	2888
	4	610	-1120	916
	5	84	-2559	-1628
LP-3	1	9570	8023	7863
	2	8833	6802	5916
	3	7949	5561	4040
	4	6117	4014	2054
	5	4393	2570	783
LP-4	1	-2954	-3074	-219
	2	-3156	-3315	-3818
	3	-2255	-3441	-3873
	4	-378	-1259	-4661
	5	1078	-312	-2422
LP-5	1	1797	1817	1190
	2	2818	2814	1707
	3	4643	4716	2665
	4	4640	5177	4573
	5	5173	5734	5303

Table 6-4 Data for surface strain at breaking point in the right and left buccal area of a complete upper denture under a 377.6 kgf uniformly distributed load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
Right	1	-2664	-1588	-1911
	2	-2791	-1435	-2160
	3	-2930	-2136	-2859
	4	-3072	-2531	-3005
	5	-2953	-2665	-2776
	6	1127	1260	1572
	7	2264	2142	1879
	8	1211	1149	1400
	9	-2911	-2591	-2506
	10	-2393	-2645	-2270
	11	-2715	-2681	-2286
	12	-2584	-2716	-2324
	13	-2462	-2749	-2464
Left	1	-1835	-965	-1949
	2	-1563	-1274	-1506
	3	-2205	-1724	-2320
	4	-2321	-2258	-2171
	5	-2380	-2578	-2160
	6	904	867	859
	7	215	657	529
	8	1496	1446	1397
	9	-2772	-2111	-2450
	10	-2801	-2181	-2934
	11	-2808	-2268	-2878
	12	-2835	-2371	-2892
	13	-2800	-2484	-2962

定用ゲージを使用して、等分布荷重下、一点集中荷重下における破壊時表面ひずみ量の測定を行った。その結果、口蓋部分のひずみ挙動は、両荷重下とも床後縁正中矢状部において大きな引張りひずみが発現して、初期破壊がこの部位より生じることが推定された。上唇小帯ノッチ部においては引張りひずみを観察して、いわゆるノッチ・エフェクトが想定された。

これらのことは、荷重に対する上顎総義歯の構造的力学現象である。すなわち、床の荷重負担面積は唇頬側部分より口蓋側部分で大きく、口蓋部分は総義歯の構造上、薄膜となっている。そこで、上顎総義歯を長円面あるいは長円放物面の変形シェル構造体として考えると⁶⁾、このシェル構造体は直応力、せん断応力によって変形・破壊現象を生じる⁷⁾。今回の実験においては、口蓋部分における主応力分布、最大せん断応力分布の詳細については実験を施行していないが、正中矢状線上にそった部位で概要を表示することが出来た。すなわち、ロゼット解析の結果より口蓋正中矢状部で引張り直応力、最大せん

断応力により床後縁部より初期破壊が生じ、上唇小帯ノッチ部のノッチ・エフェクトと相まって、正中矢状方向への破折現象が生じるものと推察された。

V. 結 論

本研究は、総義歯の変形・破折現象における構造的力学的变化を明らかにする目的で、上顎総義歯実験モデルとストレイン・ゲージを用いて、破壊時のひずみ分布、最大せん断ひずみ分布、主応力分布、最大せん断応力分布、破壊時表面ひずみ量を測定して検討を加えたものである。

その結果、次のような結論を得た。

1) 主ひずみ分布の観察で次のことが明らかとなった。

等分布荷重、一点集中荷重を負荷した結果、上顎総義歯においては唇頬側部分で比較的小さな圧縮ひずみ、引張りひずみが生じ、口蓋側部分では大きな引張りひずみ

Table 7-1 Data for surface strain at breaking point in the median sagittal area of a complete upper denture under a 135.4 kgf concentrated load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
M-1	1	-754	-747	-713
	2	-822	-809	-789
	3	-949	-934	-915
	4	-1144	-1123	-1091
	5	-1077	-1057	-1031
	6	1165	1156	1087
	7	1251	1253	1331
	8	1993	1969	2000
	9	1525	1518	1531
	10	1720	1705	1688
	11	-1364	-1339	-1378
	12	-1478	-1459	-1502
	13	-286	-291	-348
	14	-890	-886	-969
	15	-1484	-1461	-1503
M-2	1	4949	4770	4614
	2	5204	5021	4880
	3	4957	4792	4690
	4	5175	4935	4853
	5	4973	4626	4561
M-3	1	4772	4584	3890
	2	5537	5302	4838
	3	5907	5695	5484
	4	5732	5585	5610
	5	5036	4984	5166
M-4	1	-241	-399	-1720
	2	5612	4837	2098
	3	15721	14672	10007
	4	17012	17499	19367
	5	6064	6473	9370
M-5	1	8124	7888	8733
	2	8930	8710	9631
	3	17804	17569	16332
	4	17158	16966	16084
	5	11672	11546	11086

を示した。とりわけ、正中矢状線上で正中矢状線に対してほぼ直角の方向に作用する引張りひずみを得た。

2) 最大せん断ひずみ分布の観察で次のことが明らかとなった。

等分布荷重、一点集中荷重を負荷した結果、上顎総義歯においては唇側部分では一様に小さいせん断ひずみを示し、口蓋側部分では比較的大きい値を生じ、とりわけ正中矢状線上で大きなせん断ひずみを得た。

3) 主応力分布の観察で次のことが明らかとなった。

等分布荷重、一点集中荷重を負荷した結果、上顎総義歯においては唇側部分では比較的小さい圧縮応力と引張り応力が生じた。口蓋側部分においては大きな引張り

Table 7-2 Data for surface strain at breaking point in the right palatal area of a complete upper denture under a 135.4 kgf concentrated load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
RP-1	1	2681	2653	2852
	2	2932	3381	3160
	3	3603	3529	3337
	4	3621	3790	3475
	5	4619	4650	4153
RP-2	1	5431	5229	4737
	2	5727	5966	5428
	3	5952	5665	5863
	4	6529	6258	6082
	5	6820	6668	6892
RP-3	1	-9785	-9703	-9637
	2	-8108	-8069	-8331
	3	-6365	-6365	-6844
	4	-5409	-5073	-5682
	5	-3705	-3753	-4382
RP-4	1	2291	2237	2125
	2	2357	2291	2105
	3	948	878	581
	4	-412	-471	-872
	5	-1757	-1817	-2343
RP-5	1	2001	1960	1921
	2	862	831	816
	3	766	733	737
	4	1224	1195	1216
	5	1708	1681	1704

応力が生じた。とりわけ、正中矢状線上で正中矢状線に対してほぼ直角の方向に作用する引張り応力を得た。

4) 最大せん断応力分布の観察で次のことが明らかとなった。

等分布荷重、一点集中荷重を負荷した結果、上顎総義歯においては口蓋側部分の正中矢状線上で、大きなせん断応力を生じた。唇側部分では、最大せん断応力は小さな値を示した。

5) 破壊時表面ひずみの観察で次のことが明らかとなった。

等分布荷重、一点集中荷重を負荷した結果、上顎総義歯においては唇側部分の上唇小帯ノッチ部、頬小帯ノッチ部で引張りひずみを得た。これらノッチ隣接部分においては圧縮ひずみを示した。口蓋側部分においては、正中矢状線上で引張りひずみが生じた。

Table 7-3 Data for surface strain at breaking point in the left palatal area of a complete upper denture under a 135.4 kgf concentrated load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
LP-1	1	4099	4230	4306
	2	3619	3791	3643
	3	3510	3329	3583
	4	3124	3050	3185
	5	2961	2828	2965
LP-2	1	6834	6652	6847
	2	5897	5721	5905
	3	4971	4790	4818
	4	4222	4037	4773
	5	3704	3910	3171
LP-3	1	-3718	-3580	-3038
	2	-5000	-4850	-4093
	3	-6559	-6351	-5444
	4	-8242	-8006	-6978
	5	-9952	-9697	-8578
LP-4	1	2205	2160	2081
	2	2286	2249	2200
	3	1949	1943	2006
	4	1210	1250	1469
	5	482	564	957
LP-5	1	599	589	615
	2	693	682	699
	3	884	868	872
	4	1186	1162	1136
	5	1635	1601	1548

Table 7-4 Data for surface strain at breaking point in the right and left buccal areas of a complete upper denture under a 135.4 kgf concentrated load

gauge position	gauge address	Test No. 1	Test No. 2	Test No. 3
Right	1	-1372	-1340	-1393
	2	-1803	-1791	-1919
	3	-2459	-2425	-2477
	4	-2169	-2117	-2150
	5	-2196	-2145	-2152
	6	1763	1746	1794
	7	2406	2406	2359
	8	1664	1665	1558
	9	-1799	-1821	-1981
	10	-1941	-1966	-2023
	11	-2225	-2245	-2407
	12	-2456	-2564	-2517
	13	-2581	-2565	-2579
Left	1	-1631	-1614	-1510
	2	-1666	-1645	-1648
	3	-1706	-1793	-1716
	4	-2418	-2402	-2449
	5	-2360	-2348	-2413
	6	1230	1235	1250
	7	245	237	212
	8	1464	1452	1499
	9	-2230	-2234	-2192
	10	-2389	-2392	-2346
	11	-2550	-2551	-2519
	12	-2733	-2741	-2695
	13	-2886	-2873	-2838

Fig. 27 Frontal view of breaking surface strain in the posterior region of a complete upper denture (135.4 kgf concentrated load)

稿を終わるにあたり、終始ご懇切なるご指導とご校閲を賜りました柳生嘉博教授に深甚なる感謝の意を表すとともに、本研究に直接ご指導を賜わり、種々のご教示、ご鞭撻をいただいた本学口腔外科学第一講座の山本美朗助教授に深く感謝の意を表します。

さらに、ご助言、ご校閲を賜りました本学歯科材料科学講座の橋本弘一教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 新倉久市：総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究（第 1 報）咬合堤状モデルによる吟味試験，補綴誌，27(1)：41～53，1982.
- 2) 中村 俊一，西浦 恂，川野 襄二，柳生 嘉博：総義歯学—その基礎と臨床—，159～178，医歯薬出版，東京，1979.
- 3) Morrow, R.M., Rudd, K.D., Eissmann, H.F. : DENTAL LABORATORY PROCEDURES COMPLETE DENTURES, 261～271, The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1980.
- 4) 渡辺 理：ひずみゲージとその応用，245～270，日刊工業新聞社，東京，1977.
- 5) 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(1)：24～43，1981.
- 6) 新倉久市，蓮池敏明，柳生嘉博：総義歯の応力解析に関する研究（第 4 報）総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究，補綴誌，25(4)：160，1981.
- 7) 望月 重，谷 資信，田中弥寿雄，望月 洵，片岡靖夫：建築構造学 3 板構造，152～218，鹿島出版会，東京，1978.