鑄造支台築造の保持力に関する研究

野口 幸彦

Study on Retentive Forces of Dowel-retained Cast Cores

Sachihiko Noguchi

目 次

I. 緒 言

II. 実験器材および方法

1. 実験器材

- 1) 実験用金型
- 2) 金型の略称
- 3) 金型の適合度
- 4) 合着材料
- 5) 疲労試験機

2. 実験方法

- 1) 合着操作
- 2) 測定方法

III. 実験結果

1. 鑄造支台築造の保持力

- 1) 側方荷重を作用させない場合における保持力について
- 2) 側方荷重を作用させた場合（疲労試験を行った場合）における保持力について

2. 冠の保持力について

IV. 考 察

1. 実験方法について

2. 脱離、脱落状況について

3. 鑄造支台築造の保持力について

- 1) 側方荷重を作用させない場合における保持力について
- 2) 疲労試験（側方荷重を作用させた場合）による保持力の変化について

4. 冠の保持力について

V. 結 論

I. 緒 言

近年、口腔衛生観念の変化や術者側の発想の転換および技術的向上により、歯をできるだけ保存しようという考えが一般的になってきている。

補綴の分野においても、以前では抜歯の対象となっていた歯が、根管処置後、歯冠補綴の適応となることが多く、全補綴物における歯冠補綴物の割合は非常に大きくなってきている¹⁻³⁾。歯冠補綴物のほとんどは固定性であるため、その最大の必須条件は脱落しないということである。そこで保持力が研究の対象として重要視され、すでに数多くの研究が発表されている。

戸代原らによれば⁴⁾、これらの歯冠補綴物の脱落の最大原因は支台築造の不良によるもので、全体の84%にも達するといわれ^{5,6)}、また、歯質の破折とも関連が深いといわれている⁶⁻⁹⁾。

このように支台築造は補綴物の成否という観点から高い重要性をもつが、しかし、現在の健康保険制度ではその評価が低い¹⁰⁾ためか、歯科医における認識は低いといわざるをえないのが現状である。

築造の目的は、1) 歯質の補強、2) クラウンなどの保持力の強化、3) 便宜形態の付与、4) クラウンなどに使われる貴金属の節約、などがいわれている^{6,9-11)}。これらの目的を達するためにセメント、アマルガム、レジンなどの成形充填物による築造、鑄造体による築造、ピンなどの既製品または成形充填物、鑄造体との併用による築造などが行われている^{6,8,12-20)}。

これらの築造がどの程度使用されているかは、花村²¹⁾によれば、全支台歯の80%になんらかの築造が施されていた、とするようにかなりの高頻度であることが知られている。

鶴見大学歯学部歯科補綴学第二講座（主任，指導：花村典之教授）

The Second Department of Prosthodontic Dentistry, Tsurumi University, School of Dental Medicine (Chief and Director: Prof. Noriyuki Hanamura)

昭和60年2月1日受付

これらのうち最も使用頻度が高いのは鑄造体によるものであり、星野ら²³⁾によれば築造全体の 86% にもなると報告され²³⁾、丹下ら²⁴⁾によると鑄造冠等の歯冠補綴物が合着されている歯の 62% が無髄歯であり、そのうちさらに 62% が根管保持の金属による支台築造を有していたと報告している。

鑄造による築造体に関する研究は大別すると、支台歯の歯質の保護に関する力学的な研究と、保持力に関する研究に分けられる。

力学的な研究は光弾性実験法²⁵⁻³⁰⁾や有限要素法³¹⁻³⁴⁾などによって、歯冠部残存歯質のない継続歯合釘様のものから残存歯質の量を変化させたもの、また複根管に根管保持の合釘を求めた場合など、かなり行われており、その結果が臨床に応用反映されている。

一方、保持力に関しての考え方は、合釘について Shillingburg⁸⁾、花村^{35,36)}、青木³⁷⁾らの研究によって確立されている。しかし、残存歯質との関連については研究数が少なく³⁸⁾、十分検討されているとはいえない。また、これら発表されている研究のほとんどは単純に歯軸方向に引き抜き試験を行ったものである。

補綴物の脱落に関して、Myers³⁹⁾、末瀬ら⁴⁰⁾は補綴物に加わる機能時の側方力が合着材であるセメント層を破壊することから起こるとしており、機能時の側方力が補綴物の保持に関して主要な因子であることは明らかである。しかし、この機能時の側方力と補綴物の保持力に関しては、本教室の青木⁴¹⁾が鑄造冠に関して行った研究で、側方力が保持力に重大な影響を及ぼすことを明らかにした論文がみられるのみである。そこで著者は、補綴物の脱落を少しでも少なくする目的で、鑄造による支台築造の保持に注目し、合釘長と残存歯質量を变化させ、口腔内において補綴物にくり返し働く側方力を想定した側方荷重を加えた場合の保持力の変化を検討するため本実験を行った。

II. 実験器材および方法

支台築造の根管保持部の長さ、および残存歯質の量と高さを変化させた金属歯型を作り、引っ張り試験および側方荷重を作用させた後に引っ張り試験を行い保持力の測定を行った。

1. 実験器材

1) 実験用金型

使用した金型は歯内療法処置を終了し、根管充填され

た単根管の歯に鑄造による支台築造を施し、これに鑄造冠を製作したと想定し模型化したもので、いずれも 18-8 ステンレス鋼を用い旋盤加工により製作した。鑄造冠支台（歯質および鑄造支台築造）の高さ、片側軸面傾斜角（以下テーパと略す）および鑄造支台築造の根管保持部分（以下合釘長と略す）は、臨床における各種報告を参考にして決定した^{4,24,42-48)}。

鑄造冠支台（歯質および鑄造支台築造）は高さ 5 mm、歯頸部直径 9 mm、テーパ 10° の円錐台で、マージン形態は浮き上がりの確認が容易で、かつ冠自体のたわみ変形をなるべく小さくするために 0.5 mm のショルダータイプとし、歯質および鑄造支台築造は以下のように設定した。

歯冠部残存歯質は咬合面側からみて 1/2 のタイプと 1/4 のタイプの 2 種類を想定し、各々その高さを、1/2 タイプは 1.25 mm（鑄造冠支台の 1/4 の高さ）、2.5 mm（鑄造冠支台の 1/2 の高さ）の 2 種、1/4 タイプは、1.25 mm（鑄造冠支台の 1/4 の高さ）、2.5 mm（鑄造冠支台の 1/2 の高さ）、3.75 mm（鑄造冠支台の 3/4 の高さ）の 3 種とし、この他に根面板様形態の高さ 0 mm のものを作り、計 6 種とした。

合釘部形態は、根面部直径 3 mm（鑄造冠支台の歯頸部直径の 1/3）テーパ 1/20 で、合釘長を、3, 5, 8 mm の 3 種とし、歯冠部残存歯質の 6 種とあわせて、計 18 形態を製作した（図 1）。

図 2 はその一部で左側が残存歯質量 1/2 タイプ、右側が 1/4 タイプで、残存歯質の高さ 2.5 mm、合釘長 5 mm の例を示している。

この単根管失活歯モデルに前述の鑄造冠支台の形態になるように支台築造モデルを製作し、この鑄造冠支台に適合する鑄造冠を模した金型（以下冠と略す）を製作した。

金型にはあらかじめ残存歯質の向きがわかり、かつ冠の合着の目安となるようにマークを外側につけた。また、このマークは後述の疲労試験機によって与えられるくり返し側方荷重の方向の目安ともなる。

2) 金型の略称

金型は歯冠部残存歯質のタイプ、および高さ、合釘長によって表 1 のように略称をつけた。歯冠部残存歯質が 1/2 タイプのものを大文字で、1/4 タイプのものを小文字で表現することとし、歯冠部残存歯質の高さを 0 mm のものを A、1.25 mm のものを B または b、2.5 mm のものを C または c、3.75 mm のものを d とし、これに合釘長を附記することとした。たとえば 1/2 タイプの残存歯

表 1 金型のタイプ、略称

歯冠部残存歯質のタイプ		なし (根面板タイプ)	1/2		1/4		
歯冠残存歯質の高さ		0 mm	1.25mm	2.5mm	1.25mm	2.5mm	3.75mm
ポスト長	3 mm	A 3	B 3	C 3	b 3	c 3	d 3
	5 mm	A 5	B 5	C 5	b 5	c 5	d 5
	8 mm	A 8	B 8	C 8	b 8	c 8	d 8

図 1 実験用金型の模式図および荷重方向

F_1, F_2 : 荷重方向 CH: 支台の高さ TH: 残存歯質の高さ PL: 合釘長

質の高さ 2.5 mm, 合釘長 5 mm のものは C5 と略称される。

以下本文ではこの略称を使用することとする。

3) 金型の適合度

歯質相当部と支台築造および鋳造冠支台と冠との適合度は青木⁴¹⁾, 山本⁴⁷⁾らのホワイトシリコーンを用いる適合試験法⁴⁸⁾を参考に合釘部軸面, 根面板部, 冠軸面部および冠咬合面部についてくり返し計測し表 2 の結果を得た。

保持力に重大な影響があると思われる合釘部軸面および冠軸面部については $30 \mu\text{m}$ 以下に, その他は $60 \mu\text{m}$ 以下であることを確認した。

合着に際しては合釘部軸面および冠軸面部のセメント厚が常に $30 \mu\text{m}$ となるように, あらかじめ計算によって浮き上がり量を求めた。

4) 合着材料

合着材としては而至社製エリートセメント (Batch

図 2 実験用金型

No. 粉: FB25, 液: ER19) を使用し, 粉液比はメーカー指定の 1.45/0.5 (g/ml) とした。

5) 疲労試験機

本研究ではセメント合着した試料を引っ張り, 保持力としているが, 同時に側方荷重量と保持力の関係をみる

表 2 金型の適合度

残存歯質 のタイプ	残存歯質 の高さ	合釘長	略 称	合釘部軸面 (μm)	根面板部 (μm)	冠軸面部 (μm)	冠咬合面部 (μm)
	0 mm	8 mm	A 8	21.2	40.7	22.0	50.7
	0 mm	5 mm	A 5	29.3	24.5	21.6	49.0
	0 mm	3 mm	A 3	25.5	51.2	8.6	50.0
1/2	1.25 mm	8 mm	B 8	21.1	59.5	26.4	14.7
1/2	1.25 mm	5 mm	B 5	20.0	39.5	8.9	35.9
1/2	1.25 mm	3 mm	B 3	23.8	25.7	14.8	20.1
1/2	2.5 mm	8 mm	C 8	14.6	56.3	16.5	35.0
1/2	2.5 mm	5 mm	C 5	20.3	40.5	21.4	45.3
1/2	2.5 mm	3 mm	C 3	22.2	22.0	10.7	29.7
1/4	1.25 mm	8 mm	b 8	29.8	28.2	19.8	51.2
1/4	1.25 mm	5 mm	b 5	19.3	59.0	13.9	38.5
1/4	1.25 mm	3 mm	b 3	28.8	55.5	9.9	33.6
1/4	2.5 mm	8 mm	c 8	12.3	17.4	28.1	50.2
1/4	2.5 mm	5 mm	c 5	26.3	6.1	11.6	43.2
1/4	2.5 mm	3 mm	c 3	23.5	58.0	21.6	41.0
1/4	3.75 mm	8 mm	d 8	23.0	43.2	28.2	50.1
1/4	3.75 mm	5 mm	d 5	19.2	24.5	8.5	22.4
1/4	3.75 mm	3 mm	d 3	29.1	43.4	19.7	39.6

図 3 疲労試験機

ため疲労試験機を使用した。

図 3, 4 は長田電機社製の疲労試験機とその回路図である。動力源としてコンプレッサーを使用し、エアでシリンダーを駆動し、シリンダー先端に取りつけられたコイルバネを介して冠に対して 45° の角度から間歇的に任意の力が加えられるように製作した。

試料に加わる力の設定はシリンダーの移動量およびバネの強さで調節し、その荷重量は 0~5 kg まで可変できるように設定した。また、ストロークの制御には電磁弁を使用した。

荷重の方向は、各金型、荷重量につき、おのおの図 1 の F1. または F2. の 2 方向とした。これは、残存歯質が荷重に相対する向きにある場合と、荷重を加える側にあ

る場合を想定している。

2. 実験方法

セメント合着された金型に側方荷重を与え、その後、引っ張り試験を行い、その値を保持力とした。

1) 合着操作

合着操作に先立ち、実験用金型を中性洗剤水溶液、蒸留水にて各々 30 分間、シャープ社製造超音波洗浄機 UT52 を用いて洗浄し、その後 3.8% HNO_3 に 5 分間浸漬した。以下、同手順を 3 回くり返し、実験用金型の製作時に付着した油膜を除去し、金型のステンレス表面に不動態膜を形成するようにした。これを用いて合着、垂直引っ張り試験の予備実験を 15~20 回行い、金型の表面性状が安定し、試験結果のばらつきが小さくなったのを確認してから本実験を行った。

セメント練和にはデントロニクス社製クールトロンを使用し^{49,50)}、練板温度 20°C 、A.D.A. 規格、6 分割法にてセメントを練和し、金型の合着に用いた。

まず、残存歯質を模した金型にセメント泥を気泡が入り込まないように注意がく注入し、これに支台築造の金型を指圧にて合着、セイキ社製定荷重圧縮試験機にて前述の合釘部軸面のセメント厚が $30\mu\text{m}$ になるまで 10 kg 荷重した。室温中に 15 分間放置後セメントが十分硬化しているのを確認して、荷重を解放し、鑄造冠支台部に付着したセメント片を注意深く除去した。この鑄造冠

図 4 疲労試験機回路図

支台に同様の手順にて冠軸面部のセメント厚が $30\ \mu\text{m}$ となるように冠を合着した。

合着された金型は、温度 37°C 、相対湿度 100% の恒温槽内に 24 時間保存した。

2) 測定方法

保持力の測定方法はつぎの 2 種とした。

(1) 従来の測定方法、すなわち合着した試料を垂直方向に治具を介在させ引っ張り、残存歯質から支台築造が、もしくは鋳造冠支台から冠が脱離した荷重をもって保持力とした。

(2) 前述の疲労試験機にて図 1 の F1. または F2. の 2 つのいずれかの方向に向かって 45° の角度から最大荷重 1, 3, 5 kg の力をそれぞれ毎分 70 回の割合で試料に作用させ、脱落の有無を調べた。脱落しないものはさらに引っ張り試験を行い測定した。荷重回数は予備実験の結果に基づき各 1,000 回とした。

測定はいずれの場合も各々の試料について 10 回くり返し行い、その平均をもって測定結果とした。ただし、同一試料、同一条件で測定した結果、脱落条件が一定でない場合（残存歯質から支台築造ごと冠が脱離するか、もしくは冠支台から冠のみが脱離したか）、どちらか一方が 8 回以上であれば追加試験をおこない判定し、10 回の測定結果とした。どちらも 8 回を越えない場合は、混合型として結果に明記することとした。

測定には島津製作所製オートグラフ IS-500 を用い、Load Cell : 100 kg. Cross Head Speed : 10 mm/min の条件にて行った。実験はすべて温度 $23^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $60\% \pm 10\%$ の環境で行った。

III. 実験結果

冠や支台築造がはずれることを脱落または脱離と称するが、本論文においては、側方荷重時にははずれることを脱落、引っ張り試験によってははずれたものを脱離と呼ぶこととする。

また、支台築造ごと冠が脱離したものと冠のみが脱離したものが混在するものを混合型と称する。

歯冠部残存歯質のない根面板様形態のもので合釘長が 3, 5, 8 mm の A3. A5. A8 の脱落、脱離状況を表 3 上段に示す。支台築造ごと冠が脱離した（残存歯質から支台築造が脱離した）ものは、いずれの荷重量においても A3. A5 で、A8 は冠のみが脱離した。A3 タイプでは側方荷重量 0, 1, 3 kg においては側方荷重時の脱落はみられなかった。しかし、5 kg 荷重時では 10 回中 2 回が途中脱落した。A5, A8 では側方荷重時に途中で脱落したものはなかった。また混合型もみられなかった。

1/2 タイプの脱離状況を表 3 中段に示す。支台築造ごと冠が脱離した（残存歯質から支台築造が脱離した）ものは、いずれの荷重量、荷重方向においても B3, B5, C3 の 3 種であった。側方荷重時途中で脱落したものはなかった。また、混合型もみられなかった。

1/4 タイプの脱離状況を表 3 下段に示す。いずれの荷重量、荷重方向においても、支台築造ごと冠が脱離したものは b3, c3, d3 のいずれも合釘長 3 mm のもの 3 種であった。b5 では荷重量 0 kg および 1 kg では、いずれの荷重方向でも支台築造ごと冠が脱離したが、荷重量 3

表 3 各タイプにおける脱落、脱離状況

荷重方向 F 1					←→ type	荷重方向 F 2				
5 kg	3 kg	1 kg	0 kg			0 kg	1 kg	3 kg	5 kg	
●	●	●	●	●	A 3	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	A 5	●	●	●	●	●
—	—	—	—	—	A 8	—	—	—	—	—
●	●	●	●	●	B 3	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	B 5	●	●	●	●	●
—	—	—	—	—	B 8	—	—	—	—	—
●	●	●	●	●	C 3	●	●	●	●	●
—	—	—	—	—	C 5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	C 8	—	—	—	—	—
●	●	●	●	●	b 3	●	●	●	●	●
—	△	●	●	●	b 5	—	●	△	—	—
—	—	—	—	—	b 8	—	—	—	—	—
●	●	●	●	●	c 3	●	●	●	●	●
—	—	—	—	—	c 5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	c 8	—	—	—	—	—
●	●	●	●	●	d 3	●	●	●	●	●
—	—	—	—	—	d 5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	d 8	—	—	—	—	—

- ：鋳造支台築造ごと冠が脱離したもの
- ：冠のみが支台から脱離したもの
- ：疲労試験途中において脱落したものを含む
- △：鋳造支台築造ごと冠が脱離したものと冠のみが支台から脱離したものの混合型

kg では F1, F2 いずれの方向とも混合型となり、荷重量 5 kg では両方向とも冠のみの脱離となり支台築造は脱離しなかった。側方荷重時途中で脱落したものはなかった。

1. 支台築造の保持力

合釘部のみの根面板様の形態のものおよび 1/2 タイプ、1/4 タイプのもののうちで支台築造ごと冠が脱離したものの保持力の測定結果を表 4 に示す。単位は kg、() 内は標準偏差である。表中の F1, F2 とは疲労試験時の荷重方向を示し、0~5 kg とは 45° 方向側方荷重による疲労試験をさし、0 kg とは側方荷重を加えなかった場合を表している。ただし、前述のように A3 の側方荷重 5 kg のうち疲労試験途中で脱落したものは保持力 0 kg とした。

本研究によって求められた保持力の測定結果は、臨床における支台築造の保持力をそのまま表しているとは考えられないので、各々の比較によって検討を進めるとする。

表 4 支台築造の保持力の結果 (kg)

荷重方向 F 1					←→ type	荷重方向 F 2				
5 kg	3 kg	1 kg	0 kg			0 kg	1 kg	3 kg	5 kg	
0.8	7.6	19.8	23.9	(0.6) (1.9) (2.6) (2.1)	A 3	23.9	19.8	7.6	0.8	(2.1) (2.6) (1.9) (0.6)
6.1	22.5	31.1	35.1	(1.2) (2.4) (3.0) (2.9)	A 5	35.1	31.1	22.5	6.1	(2.9) (3.0) (2.4) (1.2)
10.0	23.8	33.2	38.2	(2.8) (2.4) (3.0) (5.5)	B 3	38.2	30.0	21.2	6.1	(5.5) (5.4) (3.7) (2.4)
29.9	45.6	55.1	57.7	(3.3) (4.4) (1.3) (6.9)	B 5	57.7	54.6	45.0	14.6	(6.9) (4.1) (4.1) (4.1)
29.1	36.5	39.2	39.9	(4.4) (1.8) (4.8) (4.5)	C 3	39.9	34.8	30.2	19.6	(4.5) (6.4) (1.6) (2.2)
16.3	22.2	25.1	30.0	(3.1) (1.8) (3.0) (2.2)	b 3	30.0	24.1	20.9	10.5	(2.2) (1.2) (5.4) (5.0)
—	51.7*	64.0	64.0	(8.4) (4.8) (1.6)	b 5	64.0	62.6	46.2*	—	(1.6) (4.7) (3.1)
19.5	44.8	49.8	51.4	(7.3) (4.0) (6.8) (4.9)	c 3	51.4	42.1	41.7	13.0	(4.9) (8.2) (3.2) (4.0)
40.8	56.6	61.1	61.3	(4.2) (8.4) (4.5) (7.1)	d 3	61.3	57.1	53.7	39.7	(7.1) (4.8) (3.1) (3.6)

- *：混合型
- ()：標準偏差

表 5 合釘のみのものと歯冠部残存歯質をもったものとの比較 (側方荷重なし)

	B 3	C 3	b 3	c 3	d 3
A 3 (100)	159.8	166.9	125.5	215.1	256.5
	***	***	***	***	***
	B 5	B 5			
A 5 (100)	164.4	182.3			
	***	***			

***：危険率0.1%レベルで有意の差を示したものの

1) 側方荷重を作用させない場合における保持力について

表 5 は側方荷重を作用させない場合、歯冠部残存歯質をもたない根面板様形態の A3, A5 を基準として、同じ 3 mm あるいは 5 mm の合釘長を持った各試料が、どの程度の保持力をもつかを、A3 (23.9 kg), A5 (35.1 kg) を各々 100 と仮定した場合の保持力の指数と、保持力に差があるかどうかを Welch の検定法を用いて検討した結果である。

いずれのタイプにおいても、歯冠部残存歯質をもたない根面板様の形態のものより残存歯質をもつものが、25.5~156.5% その保持力は高く、A3, A5 との間の差は

いずれも高度に有意であった。

表 6, 7 はこの疲労試験を行わないもののうち同じ合釘長をもつ A3, B3, C3, b3, c3 の 5 種および、合釘長 5 mm の A5, B5, b5 の 3 種について 10 回くり返しのある二元配置分散分析を行い得られた分散分析表である。要因は残存歯質のタイプおよびその高さである。

この表中にみられる寄与率とは、それぞれの因子について、与えられた水準を動かしたとき全変動に対してどの程度影響するかを百分率で示したものである。

これによると合釘長 3 mm のものでは残存歯質の高さ、交互作用いずれも有意となり、それぞれの寄与率は 72.1, 14.5% となった。しかし残存歯質のタイプについての有意差はみられなかった。

合釘長 5 mm のものでは残存歯質のタイプ、高さ、交互作用いずれも有意となり、それぞれの寄与率は 1.1, 88.9, 1.1% となり、いずれの合釘長でも残存歯質の高さの寄与率が大きく、従来の計測方法である側方荷重を作用させずに垂直に引っ張り試験を行った場合、合釘長を同一とするとその残存歯質の高さが支台築造の保持力に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

表 8 は合釘長も分析の因子とした A3, A5, B3, B5, b3,

表 6 側方荷重を作用させない場合の保持力についての分散分析表・合釘長 3 mm

要 因	平方和	自由度	分散	p	寄与率(%)
残存歯質のタイプ	18.15	1	18.15	N.S.	—
残存歯質の高さ	4736.70	2	2368.35	p<0.001	72.1
交互作用	979.30	2	489.65	p<0.001	14.5
誤差(1)	796.70	54	14.75		
誤差(2)	814.85	55	14.82		
総変動	6530.85	59			

b5 の 6 種について 10 回くり返しのある三元配置分散分析を行い得られた分散分析表である。これによると各要因のうち有意差が認められたのは合釘長、残存歯質の高さ、および交互作用のうち残存歯質のタイプと高さにおける交互作用を除くものであり、そのうち合釘長、残存歯質の高さにおける寄与率は お の お の 43.8, 39.8% となり、側方荷重を作用させない場合では、支台築造の保持力に大きな影響を及ぼす因子は合釘長と残存歯質の高さであり、同程度の効果をもつ因子であった。

2) 側方荷重を作用させた場合における保持力について

表 4 に示した結果を各合釘長、および疲労試験時の荷重方向別に各資料について横軸を荷重量、縦軸を保持力としてグラフ化したものを図 5~8 の 4 つの図としてまとめた。各条件における各資料の描く曲線は、いずれも多少の傾斜の違いはあるもののほぼ同様の傾向を示した。これらの結果から、この条件の範囲内で、これらの曲線の形態から考えられる諸種の曲線の回帰式にあてはめ検討をし、以下に示す二次指数回帰曲線に最も適合すると思われた。

$$y=a \cdot b^x \cdot c x^2$$

表 9 は各資料の結果をこの回帰曲線に適用した時に得

表 7 側方荷重を作用させない場合の保持力についての分散分析表・合釘長 5 mm

要 因	平方和	自由度	分散	p	寄与率(%)
残存歯質のタイプ	99.23	1	99.23	p<0.05	1.1
残存歯質の高さ	6630.63	1	6630.63	p<0.001	88.9
交互作用	99.23	1	99.23	p<0.05	1.1
誤差	611.58	36	16.99		
総変動	7440.66	39			

表 8 側方荷重を作用させない場合の保持力についての分散分析表
合釘長 3 mm, 5 mm

要 因	平方和	自由度	分散	p	寄与率(%)
A : 残存歯質のタイプ	4.51	1	4.51	N. S.	—
B : 残存歯質の高さ	6462.01	1	6462.01	p<0.001	39.3
C : 合釘長	7201.01	1	7201.01	p<0.001	43.8
交互作用 (A×B)	4.51	1	4.51	N. S.	—
交互作用 (A×C)	262.81	1	262.81	p<0.001	1.5
交互作用 (B×C)	1209.01	1	1209.01	p<0.001	7.3
交互作用 (A×B×C)	262.81	1	262.81	p<0.001	1.5
誤差 (1)	1006.98	72	13.99		
誤差 (2)	1016.00	74	13.73		
総変動	16413.67	79

図 5 疲労試験による支台築造の保持力の変化 (合釘長 3 mm, 荷重方向 F1)

図 7 疲労試験による支台築造の保持力の変化 (合釘長 5 mm, 荷重方向 F1)

図 6 疲労試験による支台築造の保持力の変化 (合釘長 3 mm, 荷重方向 F2)

図 8 疲労試験による支台築造の保持力の変化 (合釘長 5 mm, 荷重方向 F2)

られた回帰係数および相関係数である。相関係数はいずれの資料、条件でも 0.97 以上であり、ほとんどが 0.99 以上となり高い相関関係が推測された。

表 10 は合釘長 3, 5 mm の各試料に関しての F1, F2 両方向について荷重を作用させることによる保持力の減少率を、側方荷重を作用させない場合を 100 とした時の指数で現した表であり、図 9~12 はこれをグラフ化したものである。これらの表およびグラフは前述の図 5~8

の曲線の傾斜についてみたもので、これによると側方荷重 1 kg では各試料の保持力の減少率は 0~21.5% を示し、各タイプ、荷重方向とも試料間のばらつきは少なく、同様に側方荷重 3 kg でも、A3 タイプつまり根面板様形態で合釘長 3 mm のものの減少率が 68.2% と、ほかに比べ際だって大きいことを除くと、各試料間のばらつきは比較的少なかった。しかし、側方荷重 5 kg では、各試料間のばらつきは 27.1~96.7% と大きく、形態に

表 9 回帰係数および相関係数

タイプ	方向	a	b	c	r
A 3		23.164	1.046	0.867	1.000
A 5		33.301	1.127	0.913	0.996
B 3	F 1	37.145	0.990	0.951	0.998
B 3	F 2	35.792	1.019	0.929	0.993
B 5	F 1	57.341	0.997	0.975	1.000
B 5	F 2	54.911	1.191	0.917	0.994
C 3	F 1	39.643	1.017	0.985	0.998
C 3	F 2	38.794	0.964	0.981	0.991
b 3	F 1	29.113	0.917	0.995	0.986
b 3	F 2	28.347	0.979	0.966	0.984
c 3	F 1	49.367	1.163	0.935	0.992
c 3	F 2	46.461	1.192	0.919	0.973
d 3	F 1	60.720	1.051	0.983	0.998
d 3	F 2	60.027	1.007	0.983	0.987

a, b, c : 回帰係数
r : 相関係数

表 10 支台築造の保持力の側方荷重による減少率（側方荷重をあたえない場合の保持力を 100 とする）

荷重方向 F 1			← → type	荷重方向 F 2		
5 kg	3 kg	1 kg		1 kg	3 kg	5 kg
3.3	31.8	82.8	A 3	82.8	31.8	3.3
17.4	64.1	88.6	A 5	88.6	64.1	17.4
26.2	67.7	86.9	B 3	78.5	55.5	16.0
51.8	79.0	95.5	B 5	94.6	77.0	25.3
72.9	91.5	98.2	C 3	87.2	75.7	49.1
54.3	74.0	83.7	b 3	80.3	69.7	35.0
—	80.8	100.0	b 5	97.8	72.2	—
37.9	87.2	96.9	c 3	81.9	81.1	25.3
66.6	92.3	99.7	d 3	93.1	87.6	64.8

よって側方力が保持力を減少させることに対する抵抗性に差が生じてきていることを表している。

これらの表より保持力の減少が少ないものは C3, d3 で残存歯質の高さの高いものほど側方力に対して有利であるといえる。

表 11 は側方荷重を作用させない場合と、側方荷重を作用させた場合との間に差があるかどうかについて Welch の検定を行ったものである。表中の*印は有意差のレベルであり、N.S. とは危険率 5% で有意差を認められないものを示している。

これによると側方荷重 1 kg においては、A3, A5 および B3, b3 の F1, F2 両荷重方向、および c3 の F2 方向

図 9 疲労試験による支台築造の保持力の減少率（合釘長 3 mm, 荷重方向 F 1）

図 10 疲労試験による支台築造の保持力の減少率（合釘長 3 mm, 荷重方向 F 2）

では側方荷重を作用させない場合との間に有意差が認められた。側方荷重 3 kg においては、d3 の F1 方向を除くすべてのものに有意差が認められた。側方荷重 5 kg においては、すべてのものに高度な有意差が認められた。

表 12 は、A3, B3, C3, b3, c3 の 5 種に対して各側方荷重量ごとに分散分析を行い各因子の分散を検討し、有意差のあったものに関してその寄与率を求め、表としてまとめたものである。ただし、側方荷重を作用させた場合

図 11 疲労試験による支台築造の保持力の減少率（合釘長 5 mm, 荷重方向 F 1）

図 12 疲労試験による支台築造の保持力の減少率（合釘長 5 mm, 荷重方向 F 2）

その荷重方向も関与してくるので、これも因子として加え三元配置法によって行った。これによると、いずれの荷重量的場合でも、残存歯質の高さが 70% 以上の寄与率を示し、大きな影響をもつことが示唆された。しかし、残存歯質のタイプに関しては側方荷重 0, 5 kg では有意差は認められず、1, 3 kg では有意差は認められ因子としての効果はあると考えられるが、その寄与率は 1.4, 1.2% と非常に小さくなった。しかし、この残存歯

表 11 支台築造の保持力の荷重を作用させないものと作用させたものとの比較

荷重方向 F 1			← type →	荷重方向 F 2		
5 kg	3 kg	1 kg		1 kg	3 kg	5 kg
***	***	**	A 3	**	***	***
***	***	**	A 5	**	***	***
***	***	*	B 3	**	***	***
***	***	N. S.	B 5	N. S.	***	***
***	*	N. S.	C 3	N. S.	***	***
***	***	***	b 3	***	***	***
—	**	N. S.	b 5	N. S.	***	—
***	**	N. S.	c 3	**	***	***
***	N. S.	N. S.	d 3	N. S.	**	***

* : 危険率 5% レベルで有意の差を示したもの
** : 危険率 1% レベルで有意の差を示したもの
*** : 危険率 0.1% レベルで有意の差を示したもの
N. S. : 危険率 5% レベルで有意の差を示さなかったもの

表 12 各荷重量における各要因の寄与率

要 因	0 kg	1 kg	3 kg	5 kg
A : 残存歯質のタイプ	N. S.	1.4%	1.2%	N. S.
B : 残存歯質の高さ	72.1%	70.7%	88.4%	70.5%
C : 荷重方向	—	N. S.	0.6%	5.0%
交互作用 (A × B)	14.5%	15.3%	3.3%	8.4%
交互作用 (A × C)	—	0.7%	N. S.	N. S.
交互作用 (B × C)	—	N. S.	0.4%	2.8%
交互作用 (A × B × C)	—	0.8%	N. S.	N. S.

質のタイプはその高さとの交互作用として考えると、その寄与率は 14.5, 15.3, 3.3, 8.4% とかなり影響をもつ因子であることがわかった。また荷重方向に関しては荷重量が増大するにつれその寄与率が大きくなる傾向があった。

表 13 は荷重方向間について差があるかどうかについて Welch の検定を行った結果を示す。側方荷重 1 kg では c3 を除くすべてに有意差はみられなかった。同様に側方荷重 3 kg では C3 を除くすべてに有意差はみられなかった。しかし、側方荷重 5 kg では d3 を除くすべてに有意差が認められた。

これらのことより 1/2 タイプ、1/4 タイプともに残存歯質の高さが高いほど、合釘長が長いほど減少率が低く、特に残存歯質の高さが、1/2 タイプでは支台の 1/2 以上、1/4 タイプでは支台の 3/4 以上残っているものでは保持力の低下に対する抵抗作用が高いことが推察された。また、荷重量および荷重方向に関しては、側方荷重 1, 3 kg では荷重による保持力の減少率は小さく、荷重

表 13 各荷重における荷重方向による差の比較

	1 kg	3 kg	5 kg
	F 1-F 2	F 1-F 2	F 1-F 2
B 3	N. S.	N. S.	***
B 5	N. S.	N. S.	***
C 3	N. S.	***	***
b 3	N. S.	N. S.	**
b 5	N. S.	N. S.	—
c 3	*	N. S.	*
d 3	N. S.	N. S.	N. S.

*: 危険率 5% レベルで有意の差を示したものの

**: 危険率 1% レベルで有意の差を示したものの

***: 危険率 0.1% レベルで有意の差を示したものの

N. S. : 危険率 5% レベルで有意の差を示さなかったものの

表 14 冠の保持力について

荷重量	0 kg	1 kg	3 kg	5 kg
保持力	66.5kg	61.8kg	51.8kg	33.2kg
S. D.	(9.3)	(8.2)	(8.8)	(13.3)
指 数	100	92.9	77.9	49.9

方向にはあまり差がないが、5 kg の荷重になると荷重による減少率は大きくなり荷重方向によって保持力に差を生じさせる効果があった。

2. 冠の保持力について

各試料について冠のみが鑄造冠支台より脱離したものは、表 3 に示すように合釘長 8 mm のものすべてと、合釘長 5 mm のもののうち C5, c5, d5 のすべて、および b5 の一部であった。厳密に考えると鑄造支台築造の浮き上がり量に差がみられることや、支台築造の形態の差によっておこる可能性がある荷重の拡散様式の違い、セメント層の分布の違いなどの影響により、若干の違いは考えられる。しかし、これらの因子はほとんど無視できるほど小さい影響しか及ぼさないと考えられるので、冠のみの脱離に関しては、試料ごとによる区別は行わず、すべて同一条件として扱った。その結果、表 14 に示すように側方荷重を作用させなかったものは、66.5 kg となった。また、荷重を作用させたものは 1 kg で 61.8 kg (減少率 7.1%)、3 kg で 51.8 kg (減少率 22.1%)、5 kg で 33.2 kg (減少率 50.1%) となり、前述の青木⁴¹⁾による疲労試験の結果と、ほぼ近似した傾向がみられた。

IV. 考 察

固定性補綴物の脱落は、歯科医にとって起こってはな

らない。また、起こしてはならないことである。しかし、実際の臨床においてはしばしばみうけられるのが現実である。この脱落について戸代原らの行った本学外来臨床における統計観察によると、脱落した固定性補綴物のうち 84% の支台築造になんらかの欠陥があると指摘されている⁴⁾。このように支台築造の保持力は、固定性補綴物の成否を決める重要な因子であることが分かっており、種々の検討がなされてきている。しかし、そのほとんどは合釘部に対してのものであり、歯冠部の形態的なものについて行ったものは非常に数少ない。特に欧米の文献では cast core and dowel (Tylman ら, 1978) dowel core (Shillingburg ら, 1970) と合釘部と歯冠部とにわけて記載していることが多く^{51,52)}、支台築造を合釘部と歯冠部にわけて考えられており、合釘部に対しては支台築造の保持を中心として述べられ、歯冠部には上部構造の冠との保持が中心に述べられていることが多い。これは前歯、小臼歯における歯冠修復の中心が根面板を持った継続歯で、歯冠部に残存歯質を残すことが形態を複雑化し、適合性に不安を生じた時代の名残りからであろう。しかし、現在の臨床では鑄造冠が中心となり、印象、鑄造精度の向上により、複雑な形態であってもかなり良好な適合が期待できることから、歯冠部残存歯質を支台築造の保持に対して積極的に活用する考えが主流を占めるようになってきている。

1. 実験方法について

鑄造支台築造の保持力に関する要素には、鑄造支台築造の形態(合釘部の長さおよび形態、歯冠部残存歯質の量と高さ、およびこれらの交互作用)、使用される金属の機械的性質、表面粗さ、歯質との適合度、合着材としてのセメントの強さ、被膜厚さなど、さらに歯質の破折に対する抵抗力などが考えられるが、本論文では鑄造支台築造の形態以外の要素は同一条件となるように設定している。

このうち表面粗さに関しては当然臨床的には歯質、鑄造面、金属の研磨面など条件が異なる面が多い。鑄造面は通法によりクリストバライトを用いて鑄造した面では、橋本⁵³⁾は R_{max} 5~10 μm 、花村ら⁵⁴⁾は 12 μm 程度であると報告している。また、支台築造の研磨面は一般にペーパーコーン、シリコンポイントが使われるので金パラジウム銀合金の場合 R_{max} 2.2~3.9 μm 程度と考えられる⁵⁴⁾、しかしこれも合着後に再形成をした場合にはより大きくなると思われ、著者らの研究によると R_{max} 12~40 μm 、 Rz 7~32 μm にもなる。歯質に関して

は形成方法, 使用した器具によって大きく異なるので一概には述べられない。また, この表面粗さと保持力の関係に関しても, Colley ら⁵⁶⁾によってポストクラウン, Smith⁵⁷⁾, 山本⁴⁷⁾ら⁵⁸⁾によって鑄造冠, 照井⁵⁹⁾によってインレーについてなど, 多くの研究によって, ある程度の表面粗さの増加は, その保持力を増加させることがあきらかとなっている。

本実験では金型製作上の制約により, 表面粗さは金型各部とも一定とし, それらの平均は, 実験前で Rz 2.3 μm , 予備実験後で Rz 2.8 μm , 実験終了後 Rz 3.5 μm となり, 鑄造面などと比較すると, やや粗さが小さいが, すべての金型において条件が一定なので同一条件として以下の考察をすすめる。

セメントの被膜厚さが保持力にどのような影響を及ぼすかに関しては, 多くの研究があるが, 岩本⁶⁰⁾は軸面において 35 μm 程度の被膜厚のときに最大となるとし, 倉賀野⁶¹⁾は 30 $\pm$ 10 μm の時に最大となるとしており, 一般的に軸面 30 μm を採用することが多く, 本実験においてもこれを採用した。これによって金型の合釘部軸面および冠の軸面での適合性は 30 μm 以下となるよう製作した。30 μm 以下という適合性は, 臨床的にもかなり良好な適合度であると思われる^{62,63)}。

従来支台築造の保持力の検討は, 合釘を歯軸方向へ引き抜き, 保持力を求めているものが大部分であった。この考えかたの論拠となっているひとつに, 根面を支点としたはね上がり力が合釘に歯軸方向への引き抜き力をあたえるのではないかとするものがある。しかし実際の臨床における支台築造の脱落を考えると, 側方力などの何らかの機能力が働くことによって合釘部軸面のセメント層が破壊され, 保持力の低下をきたし, 脱落がおけると推測されている。

セメント層への応力解析はすでに, 光弾性実験²⁸⁻³⁰⁾や有限要素法^{31,32,34,40,46)}によって行われており, セメントの強度と保持力との関係について言及している報告も数多くみられる^{36,60,61,64-68)}。このように支台築造の保持力を検討するには従来の単純な引き抜き試験のみでなく, 側方力の作用による保持力の低下を求めなくてはならないと考えた。

過去において補綴物に作用する側方力に関する研究では, 側方力は静的荷重⁶⁹⁾や衝撃力⁷⁰⁾, トルク^{71,72)}として扱われるものがほとんどであった⁷³⁾。しかし, 生体では咬合による側方力は, 通常の条件下では過重な負荷としては生じないような反射機能が存在し, ある一定限度の荷重がくり返し動的に作用していると考えられ⁷⁴⁾, 青

木⁴¹⁾によりこれを再現する疲労試験機が開発された。本実験ではこの疲労試験機と考えかたを導入し, 実験を行った。

通常条件下での動的くり返し荷重の限度を青木⁴¹⁾は 10 kg としているが, 田中⁷⁵⁾, Adler⁷⁶⁾によれば一般的に 5 kg 以下であるとしており, 本実験においてはその最大荷重量は 5 kg とし, 側方荷重の設定は 1, 3, 5 kg とした。

2. 脱落, 脱離状況について

冠のみが脱落するか支台築造から脱離するかについては, 当然前提として冠自体の形態的な保持力が問題となってくる。

本実験で採用した冠支台の形態は, 高さ 5 mm, 直径 9 mm, テーパー 10° であるが青木⁴¹⁾の行った冠に関する同様の実験結果からも, 臨床上形態的には脱落の起こらない程度の保持力をもつと思われる。とすれば冠のみが脱落したものに関してはその支台築造の保持力は, 冠の保持力より大きかったと考えられるので, 臨床上脱落はおこりにくいと考えられ, 十分な保持力を持つといえる。

表 3 からみても, 合釘長 8 mm のものはすべてこの条件をみたしており, 歯冠部残存歯質の量とは関係なく十分な保持力を持つといえる。この合釘長 8 mm というのは過去先人たちの研究によって導きだされた臨床的な指標であり, この指標の有効性が確認された。

しかし, 実際の臨床では, 種々の条件により 8 mm の合釘を求めることが困難な場合が少なくなく, 丹下, 池島ら^{24,46)}の行った臨床的な観察においても 8 mm の合釘をもつ支台築造は非常に数少ないと報告されており⁷⁷⁾, 5 mm 程度のものが多いとしている。また, 青木³⁷⁾の行った合釘形態に関する研究では, 根管口から適合している合釘長は最低 3 mm ほしいとしている。

5 mm の長さの合釘をもつ支台築造では, 残存歯質のタイプに関係なく, その高さが冠支台の 1/2 以上の場合には 8 mm のものと同様にいずれの荷重量でも冠のみが脱離し, 支台築造からの脱離はみられなかった。しかし, 合釘部のみで歯冠部残存歯質のない根面板タイプのものでは, いずれも支台築造からの脱離であった。

1/4 タイプで歯冠部残存歯質が, 支台の高さ 1/4 の b5 では側方荷重 0, 1 kg では支台築造の保持力が冠の保持力より低かったものが, 3 kg ではほぼ同程度となり, 5 kg では支台築造の保持力が冠の保持力を上回った。このことからこの形態の支台築造では側方荷重による保持力の

減少が、冠の側方荷重による減少より少ないことが推察された。

合釘長 3 mm のものはすべて支台築造からの脱離、脱落であり、支台築造の具備すべき保持力が、その上部構造以上でなくてはならないとするなら、本実験で想定した冠の支台築造としては適当な形態ではないと考えられる。特に歯冠部に残存歯質のない A3 タイプでは、5 kg の側方荷重を作用させた場合には、荷重時に脱落したものもあり、脱落しなかったものもその保持力の結果は非常に低い値であり、脱落、脱離後のセメント層をみても、そのほとんどのものでセメントが粉状になるほどの破壊がみられ、セメント層に対する大きな応力の集中があるものと推測された。

3. 支台築造の保持力について

冠のみが脱離せず、支台築造ごと冠が脱離したものについては、その保持力の結果から以下の考察を行った。

1) 側方荷重を作用させない場合における保持力について

過去における研究についてみると、その多くが保持力を単位面積あたりの力として比較を行っている。これに関しては前述の青木⁴¹⁾も述べているように、磷酸亜鉛セメントのように保持力のほとんどを嵌合効力に求めている場合には、セメントの保持に有効と思われる軸面に関して行わなくてはならない。しかし、この場合の比較は、この軸面の条件が同じ場合にのみ有効であり、軸面の傾斜が違えば相互の比較は意味をなさない。本実験では歯冠部残存歯質をもたない根面板形態のもの以外では、支台築造の保持に関与する異なった軸面傾斜をもった複数の面をもち、その各々の間の単位面積による保持力の比較は行わず、各々の保持力の相対的な比較のみとした。

しかし歯冠部残存歯質をもたない根面板形態のものでは、その保持力は合釘部のみのものであると考えられ、過去において述べられている合釘部の引き抜き試験の結果と比較してみた（本実験で想定した合釘部傾斜度は花村の研究³⁶⁾から 1/20 を採用している。比較の対象となる研究はこの 1/20 を採用しているもののみとした）。

この結果、本実験における合釘部の引き抜き試験（側方荷重を作用させないもの）では、A3 では 0.99 kg/mm²、A5 では 0.90 kg/mm² となり、花村³⁶⁾ (0.64～0.67 kg/mm²) よりはやや大きめの結果となり、青木³⁷⁾ (0.87 kg/mm²) とはほぼ同様の結果であった。

戸代原ら⁴⁾の補綴物の脱落に関する報告によれば、歯冠部残存歯質を残さない根面板様形態が支台築造の脱落原因の推定の 71% を占め、合釘長の不足 (67%) とともに最大のものであると述べている。

本実験においても、側方荷重を作用させない場合にはいずれの形態でも同じ合釘長の場合には、合釘のみの A3、A5 より 25.5～156.5% 大きな保持力をもち、表 6、表 7 でみられた残存歯質の高さの因子の寄与率が 72.1、88.9% と高いことから、残存歯質を少しでも残すことがかなりの保持力の増加に寄与すると考えられる。しかし、歯冠部残存歯質が 1/2 の量で残った場合と、1/4 の量で残った場合の比較ではあまり差がみられなかった。

2) 疲労試験（側方荷重を作用させた場合）による保持力の変化について

側方荷重が作用することによって、今回設定した金型の形態では、すべてが保持力が減少した。これは冠に作用した荷重が支台築造に伝達され、この荷重がセメント層に応力を与え、これによってセメント層の破壊が生じたことによると考えられる。

側方荷重を作用させた場合の保持力の検討には、側方力を作用させない時の保持力と差がみられるか、またこの場合の保持力の減少率がどの程度か、あるいは一定の基準となる保持力を設定し、これに対して各荷重時の保持力がどのような状態であるかを検討するかなどが考えられる。

側方荷重を作用させない時の保持力と各荷重量、荷重方向の保持力との比較、および保持力の各荷重量、荷重方向における疲労試験による減少率は、結果の項に記載したとおり根面形態では減少率は合釘長にかなり影響をうけるが、歯冠部残存歯質が少しでも残っているものでは疲労試験による減少率はある一定のレベルを保っており極端な保持力の減少はみられなかった。

ある一定の基準となる保持力を設定することに関しては、花村³⁶⁾は 15～25 kg、青木³⁷⁾は 30 kg、橋本⁵³⁾は 18 kg、という基準を設定している。しかし、これは臨床における数値であり、本論文においてはあえてこの基準を設定して考察することは行わなかった。

保持力の減少率が各形態、条件によって差がみられることに関してはつぎのようなことが考えられる。冠に作用した荷重は冠を合着したセメント層を介して支台築造と歯冠部残存歯質に伝達される。この時点でまず冠に作用した側方荷重の一部が歯冠部残存歯質に拡散してしまう、これにより支台築造に直接作用する荷重は、歯冠部

残存歯質のない根面板形態をのぞき減少してしまう。この支台築造に作用した荷重が支台築造を保持するセメント層に応力として働き、セメント層を破壊する。しかしこの応力のかかりかたが支台築造(残存歯質)の形態によって異なるのは、鶴山²⁵⁾による二次元光弾性実験や大谷³⁴⁾による有限要素法によってもあきらかであり、応力のかかりにくい形態のものは、当然そのセメント層の破壊も少なく、保持力の減少は小さいと考えられる。

本論文において支台築造に直接荷重を作用させず、側方荷重に冠を介在させて作用させたのは、この冠から支台築造に伝達される時におこる、歯冠部残存歯質による荷重の拡散を因子としてとりあげる理由、および冠と歯冠部残存歯質による保持も、支台築造ごと冠が脱離した場合の保持力の一部となるからである。

鶴山²⁵⁾の二次元光弾性実験によれば、歯冠部残存歯質に十分な厚みがある場合には、築造体と冠によって歯冠部歯質がはさまれ、側方力に対して一体となって抵抗するとされている。本研究の結果でも、A3, A5 のような歯冠部残存歯質を持たない根面板様のものでは、側方荷重 5 kg でその保持力は、荷重を作用させない場合の 3.3, 17.4% と大きく減少してしまうのに比べ、残存歯質の高さが、1/2 タイプでは支台の 1/2 以上 (2.5 mm 以上)、1/4 タイプでは 3/4 以上 (3.75 mm 以上) になると保持力の減少率が特に低くなった。これは側方荷重によっておこる回転離脱運動に対する抵抗が、この程度の高さを必要とするからであると考えられる。

また、冠に作用した荷重が残存歯質によって拡散されるという考えかたは Eissman⁷⁸⁾ や Desort⁷⁹⁾ によって帯環効果 (Ferrule effect) として述べられており、Eissman によれば、この幅は 2 mm 必要とされ、本研究の結果と一致している。

歯冠部残存歯質の十分な厚みに関しては、鶴山²⁵⁾によれば、最低限 1 mm は必要とすると述べている。この 1 mm というのは側方力に対する抵抗源というだけでなく、歯牙破折の観点からも重要であると考えられる。しかし、実際の臨床では、門平⁸⁰⁾の歯髄偶角と支台歯形成面との距離についての研究からもわかるように、この 1 mm を満足させるために、残存歯質の高さをあまり高くのこすことができない場合が多い。

本研究においては、歯冠部残存歯質のタイプについては、1/2, 1/4 タイプを採用しているが、1/4 タイプより小さくするとこの残存歯質の厚みを確保することが難しくなってしまう。残存歯質には高さのみでなく、量(質)も必要となるのはいうまでもない。

冠および支台築造に側方荷重が作用した場合には、冠および支台築造はその形態により固有の支点を中心とした回転、離脱力が加わる⁸¹⁾。

本研究のように歯冠部残存歯質が側方荷重に対してどちらか一方のみに存在する場合には、支台築造が荷重に対して抵抗する支点の位置、およびこの支点を中心としたセメント層内の応力分布が問題となるが、当然支点の位置はなるべく歯冠頂側にあるほうが有利であり、セメントの機械的強度から考えても、引っ張り応力、せん断応力のかかりにくいものが有利である。本研究の結果をみても荷重量 1 kg 程度では保持力の減少も少なく、セメント層内の破壊の程度も少ない。荷重量 3 kg となると A3, A5 の根面板形態のもののように条件の悪いものでは保持力の減少が大きいが、その他のものでは減少も少なく、荷重方向による差もほとんどみられない。しかし荷重量 5 kg となると、保持力の減少も大きく、荷重方向による差も大きくなった。

支点の位置を荷重方向別に考えると、F1 方向では支点の高さは試料によって変化し、高いほど保持力の減少は小さくなった。しかし F2 方向では各支点の位置はすべて同一の位置であると考えられ、これだけから考えればその各々の保持力の減少率は同じになるはずであるが、実際には残存歯質の高さによって差が生じた。これは前述のように冠に作用した荷重が残存歯質により拡散することによって支台築造にかかる荷重量自体に差が生じるためと思われる。つまり F1 方向では残存歯質による荷重の拡散は少ないと考えられ、おもに試料間の差は残存歯質の荷重に対する抵抗性が主体となって働いており、F2 方向では、残存歯質による荷重の拡散が主体として働いていると考えられる。

荷重量 3 kg まではこの 2 つの効果にはあまり差がみられないが、荷重量 5 kg では荷重の拡散効果より抵抗作用のほうが効果が高いと推察される。

4. 冠の保持力について

冠の保持力を検討した論文は非常に数多い。Silness⁸¹⁾は冠の回転運動に対する抵抗域を圧縮荷重のかかる面積としてとらえているが、末瀬^{39,40)}も述べているように、現在最も多く使われている磷酸亜鉛セメントの引っ張り強さやせん断強さが圧縮強さに比べ非常に小さいという性質から、冠と支台間のセメント層内における側方力による引っ張り、せん断応力によってセメントが破壊され、その保持力の減少を招いてしまうことが重大な因子であることは疑うべくもない。

図 13 疲労試験による冠の保持力の変化

しかし、この側方力によってその保持力がどの程度減少してしまうかについては、青木⁴⁾による研究にみられるのみである。本研究の結果をこの青木の結果と比較してみると、ほぼ同様の傾向がみられ、この傾向の有効性が確認された。

図 13 は冠の保持力の側方荷重による変化をグラフ化したものである。支台築造の保持力がこの冠の保持力より低いレベルにある場合には支台築造から脱離し、高いレベルにある場合には冠から脱離するはずである。しかし d3 の荷重方向 F1、荷重量 3, 5 kg の場合のように支台築造の保持力が冠の保持力の平均を上回っていても支台築造から脱離したものもある。これは図からもわかるように、冠の保持力のばらつきがかなり大きいことに起因すると考えられる。

われわれが築造を必要とする冠を製作する際、築造や冠のどちらか一方の保持力をいたずらに求めても仕方がなく、当然両者の保持力は調和していなければならない。しかし、現実には冠の保持力是对合関係や隣在歯との関係によって形態的にほぼ決定されてしまう。これに対する支台築造の保持力を考える場合、その保持力は冠より多少大きめに設定するのがよいと思われ、支台築造の主維持装置である合釘の長さをとることで対応できる。しかし実際にはいろいろな条件から合釘を長くすることができない場合が少なくない。また、合釘のみの保持では、側方力に対する抵抗性にも問題があると考えられる。このような場合に健全な歯冠部残存歯質を、積極

的に支台築造の保持の補強として活用することが考えられる。

支台築造を施す場合には、まず上部構造である冠の形態を考え、その保持力を想定し、それにみあった支台築造の設定をしなければならない。それには、上部構造物の高さ、根の形態、根管充填の状態などを十分把握し、十分な保持力を持ち、歯質や合着用のセメントに応力のかかりにくい、支台築造の形態を決定することが重要である。

V. 結 論

歯冠補綴物の脱落に最も関係が深いといわれている支台築造に関して、その保持力を合釘長、歯冠部残存歯質の量および高さを変化させ、これに口腔内でおこる機能的な側方力を想定しくり返し荷重を加え、保持力の変化を検討し、以下の結論を得た。

1. 合釘長は、8 mm の長さをもっていれば、保持力については十分であると思われ、3, 5 mm のものでは、冠支台にある程度以上の高さをもつ歯冠部残存歯質が必要である。
2. 歯冠部残存歯質をもたない根面板形態のものは、側方荷重が作用した場合に、その保持力の減少が甚だしく、築造体の形態として適当でない。
3. 歯冠部残存歯質の量、および高さについては、歯冠部残存歯質のタイプが、1/2 タイプでは冠支台の 1/2 以上の高さを、1/4 タイプでは 3/4 以上の高さをもつものでは、側方力が作用することによる保持力の減少が少なく、補綴物の保持という観点から有効である。
4. 荷重方向と歯冠部残存歯質の関係については、荷重に相対する側に残存歯質を残したほうが保持力の減少は少ない。しかし、荷重量 3 kg まででは荷重方向による差はほとんどみられず、荷重量 5 kg においても、荷重方向による差は比較的少なく、荷重に相対する側に残存歯質を残せない場合には、荷重がかかってくる側に残存歯質を残すことも有効と思われる。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました花村典之教授に深く感謝の意を捧げるとともに、ご校閲をいただいた、本学歯学部保存学教室河野 篤教授、補綴学教室細井紀雄教授に深謝いたします。また、研究の遂行にあたりご協力くださいました青木潤一本学講師ならびに歯科補綴学第二講座の教員諸兄に厚く感謝の意を表します。

なお、本論文の要旨の一部は昭和 58 年度日本補綴歯科学会関東支部会学術例会（昭和 58 年 6 月 18 日）において発表した。

文 献

- 1) 林 裕美, 三保以知子, 野口幸彦, 佐藤博信, 花村典之: 諸種補綴物の比較統計的観察 IV, 鶴見歯学, 9: 317~325, 1983.
- 2) 神崎秀一, 生田奈緒子, 今井敬晴, 片山佐知子, 野口幸彦, 花村典之: 諸種補綴物の比較統計的観察 V, 鶴見歯学, 10: 275~283, 1984.
- 3) 生田奈緒子, 神崎秀一, 鶴田一世, 佐藤美由紀, 野口幸彦, 花村典之: 諸種補綴物の比較統計的観察 VI, 鶴見歯学, 11: 69~78, 1985.
- 4) 戸代原孝義, 渡辺律子, 丹下幸信, 池島久美子, 竹下 忠, 福島俊士, 花村典之: 支台築造に関する臨床的観察 (2) —脱落歯冠修復物における支台築造—, 補綴誌, 28: 271~283, 1984.
- 5) 末瀬一彦, 沢村直明, 土佐淳一, 田中昌博, 佐古好正, 川口多津子, 上村宏之, 南 正高, 井上 宏: 補綴修復物の破損および脱離に関する調査 その 1. 歯冠継続架工義歯について, 歯科医学, 44: 801~807, 1981.
- 6) 岡崎卓司: 支台築造, 7~48, クインテッセンス出版, 東京, 1979.
- 7) 染谷成一郎: 歯根破折と支台築造, 補綴臨床, 17: 53~73, 1984.
- 8) Shillingburg, H.T.: 臨床支台築造, 13~44, クインテッセンス出版, 1984.
- 9) 花村典之: 支台築造の維持力, 歯界展望, 53: 565~571, 1979.
- 10) 花村典之: 新臨床歯科学講座 (4), 154~164, 医歯薬出版, 1978.
- 11) 中尾勝彦: 条件の悪い支台築造への対応, 補綴臨床, 17: 33~42, 1980.
- 12) 花村典之, 中村幸博: 支台築造法, 歯科ジャーナル, 13: 331~337, 1981.
- 13) Watson, R.J.: The amalgam core, J. Prosthet. Dent., 23: 58~65, 1970.
- 14) 竹花庄治: Metal core について, 歯科時報, 26: 16~18, 1972.
- 15) 山田早苗, 川添和幸: 築造を考える (上), 日本歯科評論, 435: 25~32, 1979.
- 16) Sheets, C.E.: Dowel and core foundations, J. Prosthet. Dent., 23: 58~65, 1970.
- 17) Baraban, D.J.: A simplified method for making posts and cores, J. Prosthet. Dent., 24: 287~297, 1970.
- 18) Kurer, P.F.: The Kurer Anchor System, 13~182, Quintessence Publishing Co., Chicago, 1984.
- 19) 中尾勝彦, 林 優美, 山田早苗: 支台築造を考える, 日本歯科評論, 448: 37~44, 1980.
- 20) 岡崎卓司: 支台築造法「SCREW POST と COMPOSIT RESIN を使用して」, 日歯医師会誌, 37: 249~258, 1984.
- 21) 花村典之: 支台築造の最近の進歩, 日歯医会報, 6: 3~6, 1980.
- 22) 星野 哲, 佐野好孝, 花村典之: 支台築造の比較統計的観察, 鶴見歯学, 5: 5~9, 1979.
- 23) 入野 誠, 渡辺勇一, 穂積英男, 吉田恵夫: 各種補綴物の統計 (2), 補綴誌, 19: 317~324, 1975.
- 24) 丹下幸信, 池島久美子, 渡辺律子, 戸代原孝義, 竹下 忠, 花村典之: 支台築造に関する臨床的観察 (1), 補綴誌, 27: 475~484, 1983.
- 25) 鶴山秀夫: 支台築造に関する力学的研究, 鶴見歯学, 7: 1~20, 1981.
- 26) 青山 繁: 支台築造に関する力学的研究, 二根管に保持を求めた場合, 鶴見歯学, 10: 121~145, 1984.
- 27) 鶴山秀夫, 飯村美奈子, 青木保之, 花村典之: 各種合釘形態の違いが支台歯根に及ぼす影響, 鶴見歯学, 5: 69~80, 1979.
- 28) 神山範子: 支台築造に関する力学的研究, 特に脱落時の変化について, 鶴見歯学, 10: 399~418, 1984.
- 29) 横山建介: 前歯部に応用されるキャスト・コアの形態に関する力学的研究, 補綴誌, 21: 43~55, 1977.
- 30) 西山大介: 前歯部に応用される Cast Core の形態に関する力学的研究, 歯冠部歯質の残存程度による影響について, 補綴誌, 25: 381~394, 1981.
- 31) 大塚 潔: 前歯における合釘ならびに歯根部歯質の応力解析, 補綴誌, 27: 1001~1020, 1983.
- 32) 大塚 潔, 末瀬一彦, 甘利光治, 阪本義典, 川上 健, 坪田雅雄, 古森輝彦: 合釘の長さ, 太さの変化にともなう合釘および支台歯の力学的挙動について, 歯科医学, 45: 99~107, 1982.
- 33) 高橋典章, 北上徹也, 甘利光治, 阪本義典, 村井則明, 小森忠幸: 無髄歯支台における補綴歯冠形態の差が残存歯質に及ぼす力学的影響, 歯科医学, 42: 72~80, 1979.
- 34) 大谷昌弘: ポスト・コア支台におけるジャケットクラウンの応力分布について, 歯科医学, 4: 73~116, 1978.
- 35) 花村典之: 継続歯合釘に関する研究, 第一報 合釘のたわみ強さについて, 補綴誌, 8: 145~161, 1964.
- 36) 花村典之: 継続歯合釘に関する研究, 第二報 合釘のテーパー, 長さの保持力に及ぼす影響について, 補綴誌, 8: 162~172, 1964.
- 37) 青木保之: 合釘の形態による保持力の差について, 鶴見歯学, 6: 181~197, 1980.
- 38) 荒木章純, 荻田訓久, 磯村通和, 竹花庄治: 鑄造による築造体の保持力について, 愛院大歯誌, 19: 103~107, 1981.
- 39) Myers, G.E.: Textbook of crown and bridge pro-

- thodontics. 11~13, The C.V. Mosby Co., 1969.
- 40) 末瀬一彦：全部鑄造冠の維持力に関する合着セメント層の力学的研究，歯材器誌，37：53~84，1980.
- 41) 青木潤一：全部鑄造冠の支台歯形態と保持力に関する実験的研究，補綴誌，25：695~713，1981.
- 42) 青木潤一，富金原則子，清浦祝子，花村典之：全部鑄造冠の軸面傾斜角について第一報，補綴誌，24：1~7，1980.
- 43) 野口幸彦，青木潤一，中村幸博，栗家 洋，花村典之：全部鑄造冠の軸面傾斜角について 第二報 術者の経験年数による差異，補綴誌，26：710~720，1982.
- 44) 塩沢育巳，中野雅徳，三間清行，森川昭彦，中里紀之，兼子晴美，田端恒雄：軸面テーパ値と不快症状発生率に関する臨床的研究，補綴誌，22：515~520，1978.
- 45) 青木潤一，花村典之，青木保之：継続歯の矢状断面X線写真の観察 第二報 合釘の長さ，太さ，口病誌，42：478~481，1975.
- 46) 池島久美子，丹下幸信，渡辺律子，高萩佐知子，戸代原孝義：支台築造に関する臨床的観察 第二報，鶴見歯学，8：272，1982.
- 47) 山本鉄雄：全部鑄造冠支台軸面の表面あらさと保持力に関する実験的研究，鶴見歯学，9：29~47，1983.
- 48) 大島志保，三輪悦子，滝新典生，森戸光彦，宮田孝義，細井紀雄，尾花基一：鑄造冠の適合試験について，補綴誌，26：747~753，1982.
- 49) 住井俊夫：歯科用恒温 練板・クールトロン，DE，34：13~15，1975.
- 50) Myers, C.L., Drake, J.T., Brantley, W.A.: A comparison of properties for zinc phosphate cements mixed on room temperature and frozen slabs., J. Prosthet. Dent., 40：409~412，1978.
- 51) 福島俊士：講座 歯科技工アトラス 8 (キャストコア考)，36，医歯薬出版，東京，1984.
- 52) 萩原重一，横塚繁雄：合釘とは，日歯医師会誌，34：167~171，1981.
- 53) 橋本 収：鑄造冠の支台歯形態に関する実験的研究，補綴誌，16：88~93，1967.
- 54) 花村典之，小佐野雅貴，津田 豊，邑田才幸：メタルコアの研磨，歯科技工別冊「研磨」：107~114，1979.
- 55) 青木潤一，清水忠明，山本鉄雄，野口幸彦，川和忠治，花村典之：切削器具の差異が支台歯の表面性状に及ぼす影響，鶴見歯学，9：131~141，1983.
- 56) Colley, I.T., Hampson, E.L., Lahman, M.L.: Retention of post crowns, Brit. Dent. J., 124：63~66，1968.
- 57) Smith, B.G.N.: The effect of the retention of castings, J. Prosthet. Dent., 23：187~198，1970.
- 58) Øilo, G., Jørgense, K.D.: The influence of surface roughness on the retentive ability of the dental luting cement, J. oral. rehabil., 5：377~389，1978.
- 59) 照井保之：インレー保持に関する研究 (第二報)，日歯保誌，14：147~160，1972.
- 60) 岩本次男：磷酸亜鉛セメントの被膜厚と合着力，歯材器誌，4：98~106，1959.
- 61) 倉賀野勲：カルボキシレート，コンポジットタイプおよびリン酸セメントの操作条件が合着性能に及ぼす影響，歯材器誌，32：231~261，1976.
- 62) 花村典之，本間盛太郎，大杉尚之，鹿沼晶夫：継続歯根面板および合釘の臨床的適合度の1例，補綴誌，15：117~120，1971.
- 63) 花村典之，岩本次男，長谷川二郎，勝山 茂：座談会「各種合着材を総合評価する」，デンタル・ダイヤモンド，9 (14)：200~221，1984.
- 64) 高橋典章，末瀬一彦，村井則明，甘利光治，里見雅光，森勝利，林 明輝：荷重下でのクラウン合着セメント層の応力解析，歯科医学，42：81~86，1979.
- 65) 遠藤達雄：鑄造修復物合着用セメントに関する研究 2. 合着用セメントの諸性質と保持力，日歯保誌，26：1~27，1983.
- 66) Hanson, E.C., Caputo, A.A.: Cementing mediums and retentive characteristics of dowel, J. prosthet. Dent., 32：551~557，1974.
- 67) 井田一夫，森脇 豊，山賀礼一：歯科用セメントと象牙との接着性に関する研究 第4報 各種セメントの機械的性質について，歯材器誌，30：41~51，1973.
- 68) 大谷 宏，後藤隆泰：クラウンの保持力におよぼすリン酸セメントの被膜厚さと側壁の傾斜角の影響，歯理工誌，20：217~220，1979.
- 69) Woolsey, G.D., Mitich, J.A.: The effect of axial grooves on the resistance form of cast restorations, J. Amer. Dent. Ass., 97：978~981，1978.
- 70) Trabert, K.C., Caput, A.A., Abou-Rass, M.: Tooth Fracture—A comparison of Endodontic and Restorative Treatment, J. Endo., 4：341~345，1978.
- 71) Ruemping, D.R., Lund, M.R., Schnell, R.J.: Retention of dowels subjected to tensile and torsional forces, J. Prosthet. Dent., 41：159~162，1979.
- 72) Tjan, A.H., Miller, G.D.: Comparison of retentive properties of dowel forms After application of intermittent torsional forces, J. Prosthet. Dent., 52：238~242，1984.
- 73) Reisbick, M.H., Shillingburg, H.T.: Effect of preparation geometry on retention and resistance of cast gold restorations, J. Calif. Dent. Ass., 3：51~59，1975.
- 74) Körber, K.: ケルバーの補綴学 第一巻，21~117，245~365，クインテッセンス出版，東京，1982.

- 75) 田中貴信：頬舌側方咬合力について，補綴誌，16：321～349，1973.
- 76) Adler, P. : Sensibility of teeth to loads applied in different direction, J. Dent. Res., 26 : 279～289, 1947.
- 77) 前谷照男，安部倉仁，林 昌代，行本安志，三好良一，浜田泰三：X線像による支台築造の臨床的調査，廣大歯誌，14：186～191，1982.
- 78) Eissman, H.F., Radke, R.A. : Post-Endodontic restoration in Cohen, S. and Burns, R.C. : Pathways of the Pulp, 537～575, St. Louis, C.V. Mosby Co., 1976.
- 79) Desort, K.D. : The prosthodontic use of endodontically treated teeth, Theory and biomechanics of post preparation. J. Prosthet. Dent., 49 : 203～206, 1983.
- 80) 門平忠一郎：臼歯全部鑄造冠の支台歯形態と歯髓腔との関係，歯科学報，72：138～188，1972.
- 81) Hegdahl, T., Silness, J. : Preparation areas resisting displacement of artificial crowns, J. Oral. Rehab., 4 : 201～207, 1977.