

模型実習用人工歯材料に対する コンポジットレジンの接着性

菅島正行

Adhesion of the Composite Resins to the Typodont Tooth Materials

Masayuki SUGASHIMA

In order to examine a possibility of typodont tooth materials for adhesive restoration approach in place of human tooth, the adhesive strength and the durability of 3 kinds of raw materials presently used for the typodont tooth were examined in comparison with those of human tooth. For these determinations, a shear adhesion test was performed after a specimen was kept in 37°C distilled water for 24 hours followed by loading with a thermal cycle up to 10,000 times. The adhesion interface was then evaluated and observed by means of SEM. The following findings were obtained.

1. Adhesion strength at base line

1) Each composite resin tested was found to adhere most strongly to epoxy resin followed by melanin resin and UDMA resin. 2) Each composite resin tested was found to adhere almost equally or more strongly to epoxy resin as compared with human teeth; however, the adhesiveness to the remaining 2 resins was lower than that to human teeth.

2. Adhesion durability

1) As to epoxy resin, each composite resins tested showed a similar tendency to that to human teeth to the extent of T.C 5,000. 2) As to melanin resin, each composite resin tested had a lower adhesiveness as compared with the adhesiveness to human teeth, showing a somewhat dissimilar tendency. 3) As compared with human teeth, UDMA resin showed a lower adhesion value as compared with human teeth with a dissimilar tendency as well.

3. Fracture mode of adhesion surface (a test group stored in 37°C water for 24 hours)

Though both cohesive and mixed fracture were observed with epoxy resin similarly to the human tooth, the remaining 2 resins showed only an interfacial failure.

4. A modest possibility as an alternative material for human teeth was indicated, however, it seemed necessary to use these materials in consideration of its differed adhesion mechanism from that in the case of human tooth substances.

Key words : adhesion, composite resin, typodont tooth material

緒 言

歯科保存学における基礎実習は、臨床をシュミレートするため本来は天然歯でおこなうべきものであるが、模型実習に使用し得るヒト抜去歯は年々入手が困難となっており、保存修復学分野においても多くの課題実習に人工歯を代用している。一方、現在必須の技法となった接着技法を応用した修復法の実習でもその特殊性からヒト抜去歯を使用してきたが、近年、歯科医療および術式等の進歩により抜歯の適応が少なくなり、入手が困難となった。したがって今後は人工歯によるものへの移行を検討することが急務と考えられる。これまでに、新谷ら¹⁾により、フィラーを含有する樹脂をエナメル質代用とする二重人工歯が開発され、さらに天然歯に近い切削感をもった人工歯の開発²⁻¹⁰⁾、その切削性がエナメル質類似の結晶化ガラス模型歯^{11,12)}も開発された。しかし、修復学の基礎実習用人工歯に求められる性質には単に切削性が天然歯に類似しているということにとどまらず、近年進歩の著しい接着技法を応用した修復法を習得するために、接着が可能な人工歯が必要で

あるとの観点から、古川ら¹³⁾は、自家製の酸処理剤を考案し、結晶化ガラスや他のコンポジット系模型歯との接着強さについて報告している。しかしながら、実際の臨床に使用するレジンシステムを用いて、基礎実習で現在使用されている人工歯に対する接着に関する報告は極めて少ないのが実情である。

そこで本研究では、現在使用されている模型実習用人工歯を用い、その素材材料に対するコンポジットレジンの接着特性を調べ、模型実習用人工歯としての適性について検討した。

材料および方法

1. 実験材料

1) 人工歯材料

人工歯材料はニッシン社より提供を受けたエポキシ樹脂、メラミン樹脂、ウレタンジメタクリレート樹脂（以後UDMAと略す）、の3種を用いた。対照材料としてはヒトの抜去臼歯の象牙質を用いた。

2) 接着材料

接着材料を表1示す。各ボンディング材は以下

表1 実験に使用した接着システムとレジン材料

接着システム	成 分	レジン	製造業者
Clearfil mega bond	Primer : MDP, HEMA, dimethacrylates, photoinitiator, water Bond : MDP, HEMA, Bis-GMA, dimethacrylates, photoinitiator, microfiller	Clearfil AP-X	クラレメディカル
AQ bond plus	キャタ スポンジ : 芳香族アミン, p-トルエンスルフィン酸ナトリウム Bond : アセトン, water, 4-META, dimethacrylate, モノメタクリレート, 光重合開始剤	Metafil C	サンメディカル
UniFil bond	Primer : Ethanol, water, 4-MET, HEMA, 重合開始剤 Bond : UDMA, HEMA, シリカフィラー, トリエチレングリコールジメタクリレート, 重合開始剤	Solare	GC
Fluoro bond	FB Primer : A : アセトン, water, 重合触媒 B : HEMA, 4-AET, アセトン FB Bond : UDMA, TEGDMA, HEMA, 4-AET, filler, 光重合触媒	Beautiful	松風

の組み合わせで用いた。①ボンディング材として Clearfil mega bond を、コンポジットレジンとして Clearfil AP-X (Kuraray) を使用した。②ボンディング材として AQ bond plus を、コンポジットレジンとして Metafil C (Sun medical) を使用した。③ボンディング材として UniFil bond を、コンポジットレジンとして Solare (GC) を使用した。これらの組み合わせを以下の実験に供した。④ボンディング材として Fluoro bond を、コンポジットレジンとして Beautifil (Shofu) を使用した。

2. 実験方法

1) 試片の作製手順

各人工歯材料を定形（エポキシとUDMA樹脂では直径15mm、厚さ7mm、メラミン樹脂では、大白歯歯頬中央断）に仕上げ、それらを樹脂包埋した。ついで、被着設定面を耐水研磨紙（丸本工業）にて#1,000までを用いて研磨した後、被着面に内径6mmの穴の開いたシールを貼付し、各接着システムを用いて表面処理を行った。次に、同処理面に合わせ、透明チューブを正置し、内部に厚さ2mmでレジンを築盛し、光照射して硬化させた（図1）。なお、光照射器はLABOLIGHT LV-III (GC) を用いて40秒間照射した。その後、透明チューブを除去して試験体とした。

2) 実験項目

(1) 剪断接着強さの測定

剪断接着強さの測定には、試片を37℃水中24時間保管後に行う基本的接着強さの測定試験群と、試片に低温槽4℃、高温槽60℃、各槽浸漬時間30秒間の蒸留水中浸漬によるサーマルサイクル（以後T.Cと略す）、を負荷した後に行う接着耐久性の測定試験を行った。なお、T.C回数は1,000、5,000、10,000とした。両群の試験は、万能試験機（MODEL 1310DW、アイコーエンジニアリング）を用いてクロスヘッドスピード0.5mm/minにて行った。試片数は各群とも、人工歯材料では10個、天然歯では5個とした。

(2) 界面の破壊様式の観察

基本的接着強さの試片群について、試験後の接着界面の肉眼的観察による破壊様式の分類と評価を行った。接着体表面での破壊を界面破壊、被着

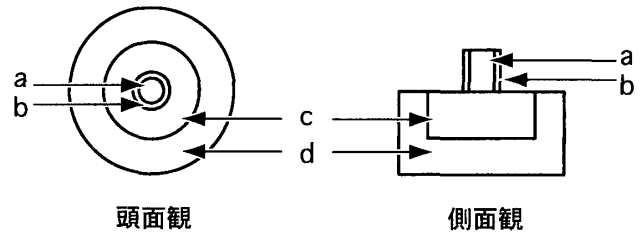


図1 試片の模式図

a : 各修復材料, b : チューブ, c : 人工歯材料,
d : 包埋樹脂

体またはレジン材料いずれかの破壊を凝集破壊、界面破壊と凝集破壊の混合したものを混合破壊とした。

(3) 接着界面の観察

基本的接着強さ測定用試片群では、試験前に樹脂包埋し、接着界面に対し垂直に切断し、研磨した後、蒸着装置（Ionsputter E110, Hitachi）を用いてPdコーティングし、走査型電子顕微鏡（S-450, Hitachi）にて接着界面の観察を行った。

(4) 統計学的処置法

群間の統計処理はKruskal-Wallis H testで行い、有意差を認めた場合は、多重比較をMann-Whitney U-test with Bonferroni correctionにて行った。なお、統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

結 果

1. 剪断接着強さの測定

1) 基本的接着強さ

接着強さの成績は、通例に準じ、試片の37℃水中保管24時間後の測定値をベースラインとし、“基本的接着強さ”と決めて評価を行った。接着強さの試験成績を表2に、統計学的処理結果を表3に示した。図2に各被着体に対する接着強さを左からメガボンド、AQボンドプラス、ユニフィルボンド、フルオロボンドの順に示した。各接着システムの3種人工歯材料に対する接着強さの比較では、エポキシ樹脂、メラミン樹脂、UDMA樹脂の順で高い傾向を示した。各接着システムの接着強さは天然歯では10MPa以上であったのに対し、人工歯材料ではエポキシ樹脂のみ10MPa

表2 各被着体に対するレジンの基本的接着強さ (MPa)

被着体	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	UDMA樹脂	天然歯
メガボンド	17.0±1.9	9.2±1.9	6.1±1.4	10.6±2.5
AQボンドプラス	8.4±0.5	4.1±0.8	0.9±0.9	10.5±2.1
ユニフィルボンド	15.2±1.3	3.2±0.5	3.2±0.5	18.3±3.7
フルオロボンド	19.9±0.7	7.8±1.7	6.6±0.6	20.7±4.0

表3 24時間水中保管における被着体材料間の有意差検定

メガボンド

	天然歯	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	UDMA樹脂
天然歯	-	-	-	-
エポキシ樹脂	-	-	-	-
メラミン樹脂	-	*	-	-
UDMA樹脂	-	*	-	-

AQボンドプラス

	天然歯	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	UDMA樹脂
天然歯	-	-	-	-
エポキシ樹脂	-	-	-	-
メラミン樹脂	*	*	-	-
UDMA樹脂	*	*	*	-

ユニフィルボンド

	天然歯	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	UDMA樹脂
天然歯	-	-	-	-
エポキシ樹脂	-	-	-	-
メラミン樹脂	*	*	-	-
UDMA樹脂	*	*	*	-

フルオロボンド

	天然歯	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	UDMA樹脂
天然歯	-	-	-	-
エポキシ樹脂	-	-	-	-
メラミン樹脂	*	*	-	-
UDMA樹脂	*	*	*	-

*p<0.05

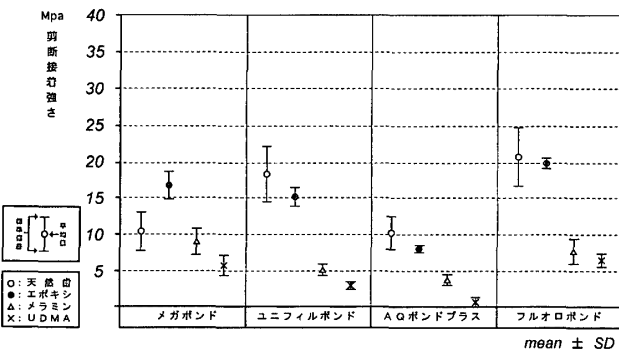


図2 各被着体に対するレジンの基本的接着強さ

表4 各被着体に対するメガボンドの接着耐久性試験成績 (MPa)

被着体	条件	24時間水中保管	T.C1,000	T.C5,000	T.C10,000
天然歯		10.6±2.5	15.2±1.4	16.2±2.9	11.6±1.4
エポキシ樹脂		17.0±1.9	21.0±2.5	25.0±1.2	25.7±4.0
メラミン樹脂		9.2±1.9	8.9±1.9	8.0±1.0	0.5±0.1
UDMA樹脂		6.1±1.4	0.5±0.1	0.5±0.1	0.3±0.2

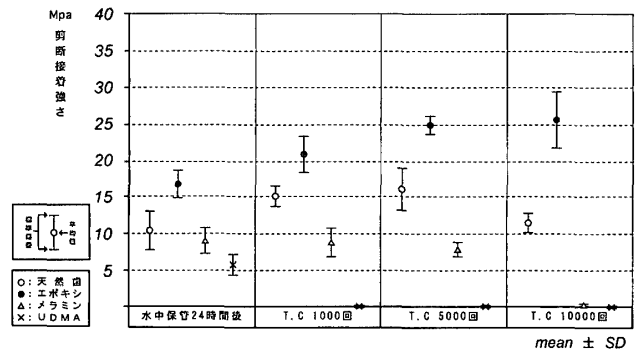


図3 各被着体に対するメガボンドの接着耐久性試験成績

を超える接着強さが得られた。また、天然歯とエポキシ樹脂間で有意差は見られなかった。人工歯材料間ではエポキシとメラミン樹脂、エポキシとUDMA樹脂間に有意差が見られた。

2) 接着耐久性

(1) メガボンド

メガボンドの各人工歯材料に対する接着耐久性試験の結果を図3、表4に、統計学的処理結果を表5-1, 2に示した。天然歯の接着耐久性試験成績は、T.C5,000でピーク値が見られ、その接着強さは16MPa程度であったが、T.C10,000では11.6MPa程度に減少した。エポキシ樹脂ではT.C回数の増加に伴って接着強さも大きくなりT.C10,000でその接着強さは25.7MPa程度であったがT.C5,000とは有意差は認められなかった。メラミン樹脂の接着強さはT.C1,000で10MPa程度であったが、T.C5,000で減少し、T.C10,000では1MPa以下となった。UDMA樹脂ではいずれのT.C回数においても、その接着強さの値は1MPa以下であった。

メガボンドの接着耐久性試験では、全ての条件において天然歯と有意差が見られた。各人工歯材料間においては、すべての条件でエポキシ樹脂は

表 5-1 各実験条件下における被着体材料間の有意差検定 (メガボンド)

エポキシ樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	-		T.C5,000	
T.C5,000	*	-		T.C10,000
T.C10,000	*	-	-	

メラミン樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	-		T.C5,000	
T.C5,000	-	-		T.C10,000
T.C10,000	*	*	*	

UDMA樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	-		T.C5,000	
T.C5,000	*	-		T.C10,000
T.C10,000	*	-	-	

天然歯

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	-		T.C5,000	
T.C5,000	*	-		T.C10,000
T.C10,000	-	*	-	

*p<0.05

表 5-2 各被着体材料の接着耐久性へのサーマルサイクル条件下の影響についての有意差の検定 (メガボンド)

24時間水中保管

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	-		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	-	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	-	*	-	

T.C1,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	*		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C5,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	*		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C10,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	*		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	-	

*p<0.05

表 6 各被着体に対するAQボンドプラスの接着耐久性試験成績 (MPa)

被着体	条件	24時間水中保管	T.C1,000	T.C5,000	T.C10,000
天然歯		10.5±2.1	14.3±2.9	14.5±2.2	15.1±3.2
エポキシ樹脂		8.4±0.5	12.0±2.7	20.6±2.4	19.4±1.0
メラミン樹脂		4.1±0.8	3.2±0.6	4.5±1.1	0.4±0.1
UDMA樹脂		0.9±0.9	0.4±0.1	0.5±0.2	0.4±0.2

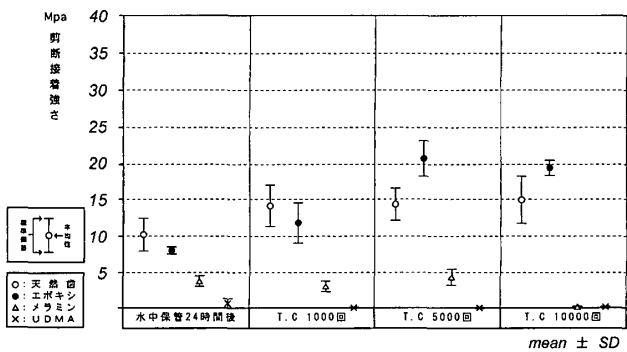


図 4 各被着体に対するAQボンドプラスの接着耐久性試験成績

有意に高い値を示した。

(2) AQボンドプラス

AQボンドプラスに対する各人工歯材料に対する接着耐久性試験成績を図4、表6に、統計学的処理結果を表7-1,2に示した。接着耐久性試験成績は、天然歯ではT.C10,000にピーク値となり、3種人工歯ではT.C5,000にピーク値が見られた。接着強さは天然歯ではT.C1,000~10,000において14~15MPa程度であった。エポキシ樹脂は、T.C1,000で12MPa程度を示しT.C5,000で20.6MPa、T.C10,000では19.4MPa程度となった。メラミン樹脂はT.C1,000、5,000では4MPa程度で、T.C10,000では1MPa以下となった。UDMA樹脂では、いずれのT.C回数においても1MPa以下を示した。

AQボンドプラスでは、天然歯に対してエポキシ樹脂では有意差が見られなかったが、メラミンおよびUDMA樹脂は有意差があった。各人工歯材料間ではすべての条件で、エポキシとメラミンおよびUDMA樹脂との間に有意差が見られた。

(3) ユニフィルボンド

ユニフィルボンドに対する各人工歯に対する接着耐久性試験の結果を図5、表8に、統計学的処

表 7-1 各実験条件下における被着体材料間の有意差検定 (AQボンドプラス)

エポキシ樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	*	*		T.C10,000
T.C10,000	*	*	—	

メラミン樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	*	*	*	

UDMA樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	—	—	—	

天然歯

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	—	—	—	

*p<0.05

表 7-2 各被着体材料の接着耐久性へのサーマルサイクル条件下の影響についての有意差の検定 (AQボンドプラス)

24時間水中保管

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C1,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C5,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C10,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	—	

*p<0.05

表 8 各被着体に対するユニフィルボンドの接着耐久性試験成績 (MPa)

被着体	条件	24時間水中保管	T.C1,000	T.C.5,000	T.C10,000
天然歯		18.3±3.7	22.8±4.5	21.6±2.0	23.8±2.5
エポキシ樹脂		15.2±1.3	14.2±1.3	20.4±1.1	20.9±3.0
メラミン樹脂		3.2±0.5	3.0±0.6	2.9±0.3	0.5±0.1
UDMA樹脂		3.2±0.5	3.6±1.0	5.5±0.7	5.3±0.9

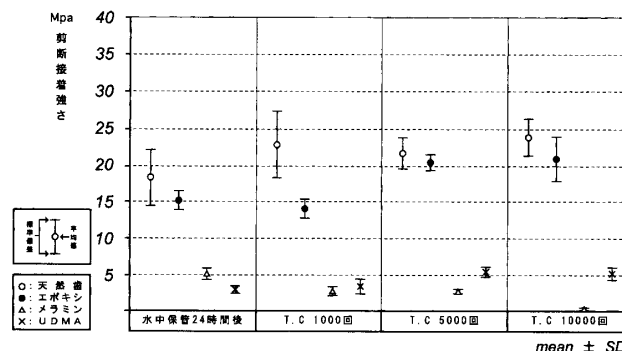


図 5 各被着体に対するユニフィルボンドの接着耐久性試験成績

理結果を表 9-1, 2 に示した。接着耐久性試験では、天然歯とエポキシ樹脂はT.C10,000でピーク値を示したが、メラミン樹脂ではT.C1,000に、UDMA樹脂はT.C5,000にピーク値が見られた。接着強さは天然歯では、いずれのT.C回数においても20MPa以上となり、エポキシ樹脂はT.C5,000, T.C10,000で20MPa以上の値を示した。メラミン樹脂では、いずれのT.C回数においても5MPa以下の値を、UDMA樹脂は3.6~5.3MPa程度の接着強さを示した。

ユニフィルボンドでは天然歯に対しては、エポキシ樹脂との間においてはT.C1,000にのみ有意差が見られ、メラミン、UDMA樹脂との間では全ての条件において有意差が見られた。各材料間ではエポキシ樹脂は全ての条件下でメラミンおよびUDMA樹脂より有意に高い接着強さを示した。

(4) フルオロボンド

フルオロボンドに対する各人工歯に対する接着耐久性試験の結果を図 6, 表10に、統計学的処理結果を表11-1, 2 に示した。接着耐久性試験では、天然歯、エポキシ樹脂、UDMA樹脂はT.C10,000にピーク値が見られ、メラミン樹脂のみ

表9-1 各実験条件下における被着体材料間の有意差検定 (ユニフィルボンド)

エポキシ樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	*	*		T.C10,000
T.C10,000	*	*	—	

メラミン樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	*	*	*	

UDMA樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	*	*		T.C10,000
T.C10,000	*	—	—	

天然歯

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	—	—	—	

*p<0.05

表9-2 各被着体材料の接着耐久性へのサーマルサイクル条件下の影響についての有意差の検定 (ユニフィルボンド)

24時間水中保管

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C1,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	*		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	—	

T.C5,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C10,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

*p<0.05

表10 各被着体に対するフルオロボンドの接着耐久性試験成績 (MPa)

被着体	条件	24時間水中保管	T.C1,000	T.C5,000	T.C10,000
天然歯		20.7±4.0	23.0±4.6	22.3±3.6	25.1±2.3
エポキシ樹脂		19.9±0.7	18.8±1.3	23.0±1.6	31.4±5.2
メラミン樹脂		7.8±1.7	8.8±1.1	7.6±0.8	0.4±0.1
UDMA樹脂		6.6±0.9	7.0±0.7	10.2±1.2	13.8±2.3

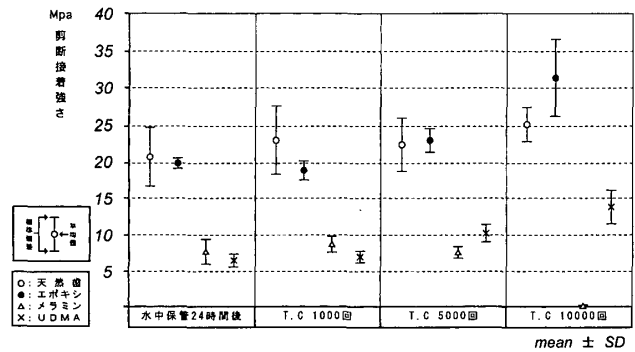


図6 各被着体に対するフルオロボンドの接着耐久性試験成績

T.C1,000にピーク値が見られた。接着強さは天然歯では22.3~25.1MPa程度を示し、エポキシ樹脂では、T.C回数の増加に伴い接着強さも増加し、その接着強さは18.8~31.4MPa程度を示した。メラミン樹脂は、T.C回数の増加に伴い接着強さは減少し、T.C1,000のピーク値でも10MPa以下を示し、UDMA樹脂では、T.C回数の増加に伴い接着強さも増加したが、ピーク値でも13.8MPa程度であった。

フルオロボンドでは、天然歯に対してエポキシ樹脂はどの条件下においても有意差が見られなかったが、メラミン、UDMA樹脂はともに有意差が見られた。人工歯材料間では、エポキシ樹脂は全ての条件下でメラミン、UDMA樹脂より有意に高い接着強さを示した。

2. 接着界面の観察

1) 肉眼的観察

接着界面の破壊様式を表12に示す。天然歯は5個、人工歯材料では10個について評価を行った。メラミン樹脂とUDMA樹脂では接着システムの全てにおいて界面破壊であった。メガボンドでは、天然歯は界面破壊が2個、混合破壊が3個見られ、エポキシ樹脂では凝集破壊が6個、混合破壊が4

表11-1 各実験条件下における被着体材料間の有意差検定 (フルオロボンド)

エポキシ樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	*	*	*	

メラミン樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	*	*	—	

UDMA樹脂

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	*	*		T.C10,000
T.C10,000	*	*	*	

天然歯

	24時間			
24時間		T.C1,000		
T.C1,000	—		T.C5,000	
T.C5,000	—	—		T.C10,000
T.C10,000	—	—	—	

*p<0.05

表11-2 各被着体材料の接着耐久性へのサーマルサイクル条件下の影響についての有意差の検定 (フルオロボンド)

24時間水中保管

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	—	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	—	*	—	

T.C1,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	—	

T.C5,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

T.C10,000

	天然歯			
天然歯		エポキシ樹脂		
エポキシ樹脂	—		メラミン樹脂	
メラミン樹脂	*	*		UDMA樹脂
UDMA樹脂	*	*	*	

*p<0.05

表12 界面の被壊形式とその発生頻度

		界面破壊	凝集破壊	混合破壊
メガボンド	a	0	6	4
	b	10	0	0
	c	10	0	0
	d	2	0	3
AQボンドプラス	a	6	4	0
	b	10	0	0
	c	10	0	0
	d	1	4	0
ユニフィルボンド	a	0	3	7
	b	10	0	0
	c	10	0	0
	d	2	0	3
フルオロボンド	a	0	6	4
	b	10	0	0
	c	10	0	0
	d	0	5	0

a. エポキシ b.メラミン c.UDMA d.天然歯

個見られた。AQボンドプラスでは、天然歯とエポキシ樹脂で界面破壊と凝集破壊が見られ、天然歯では界面破壊が1個、凝集破壊が4個、エポキシ樹脂は界面破壊が6個、凝集破壊が4個見られた。ユニフィルボンドでは、天然歯で界面破壊が2個、混合破壊が3個見られ、エポキシ樹脂では凝集破壊が3個、混合破壊が7個見られた。フルオロボンドでは、天然歯で凝集破壊のみ見られ、エポキシ樹脂は凝集破壊が6個、混合破壊が4個見られた。

2) SEM観察

基本的接着強さ測定に用いた試片界面のSEM観察像を図7に示す。全ての接着システムにおいては、エポキシ樹脂のみ、被着体とボンディング材との接着界面は境界不明瞭の像が見られた。また被着体表層には気孔様構造物が散見された。メラミン樹脂とUDMA樹脂ではメガボンドとAQボンドプラスに被着体とボンディング材との間に明瞭な空隙が見られた。また、メラミン樹脂ではフルオロボンドに空隙が見られた。なお、メラミン樹脂では内部に細長の亀裂様構造が散見され、UDMA樹脂では大小様々の不規則な構造物や、ほぼ球状のフィラー様物も観察された。天然歯は、メガボンドのみ明瞭な空隙が見られ、ほとんどの材料で天然歯とボンディング材の間は境界不明瞭であり接着層が観察された。

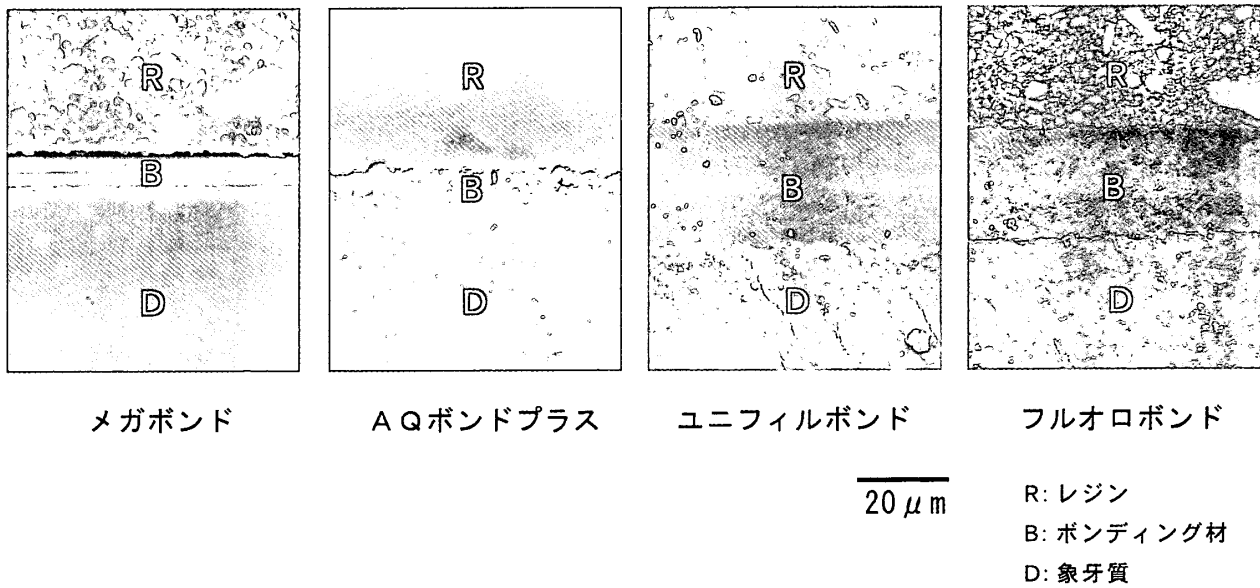


図7-1 天然歯と各種レジンの接着界面

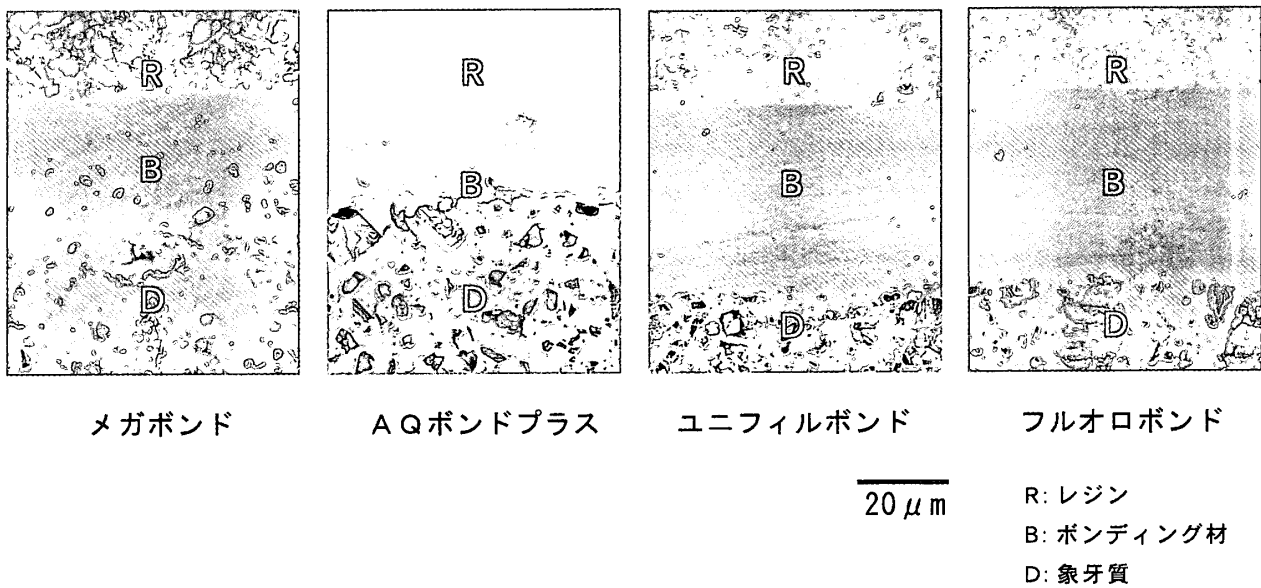


図7-2 エポキシ樹脂と各種レジンの接着界面

考 察

保存修復の分野においては特に、近年進歩の著しい接着技法を応用した修復法を習得するためには、本来であれば天然歯を用いるのが最も良好な手法であるが、歯学の進歩、歯科医療技術の革新とその普及に伴い8020運動など、臨床的に抜歯は困難となりつつある。

保存修復学模型実習にとって必要な事として、

①切削性および、切削技法に関する実習②接着技法、が考えられる。①の切削技法は、天然歯と類似の硬さや粘性の面から判断して、天然歯の代替材料の模型歯が得られている。しかし、②の接着技法については、まだ得られていない。そこで、現存する人工歯の素材に対し、実際の臨床で使用されている接着システムを用いて接着させ、どの素材のものが、模型実習において最適か比較検討を行った。

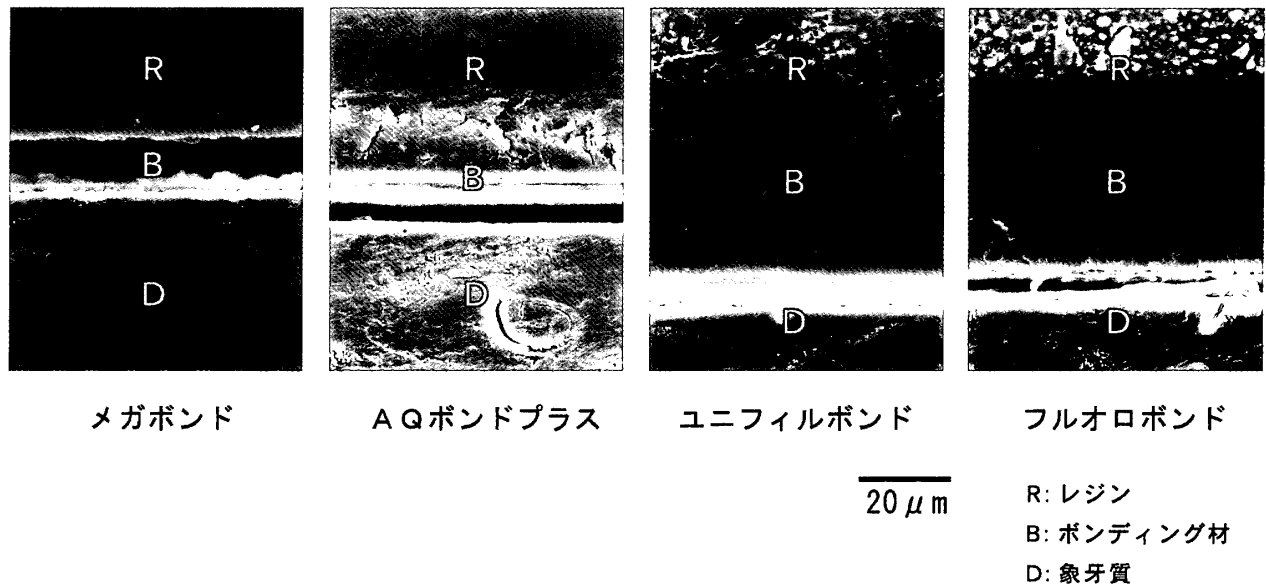


図7-3 メラミン樹脂と各種レジンとの接着界面

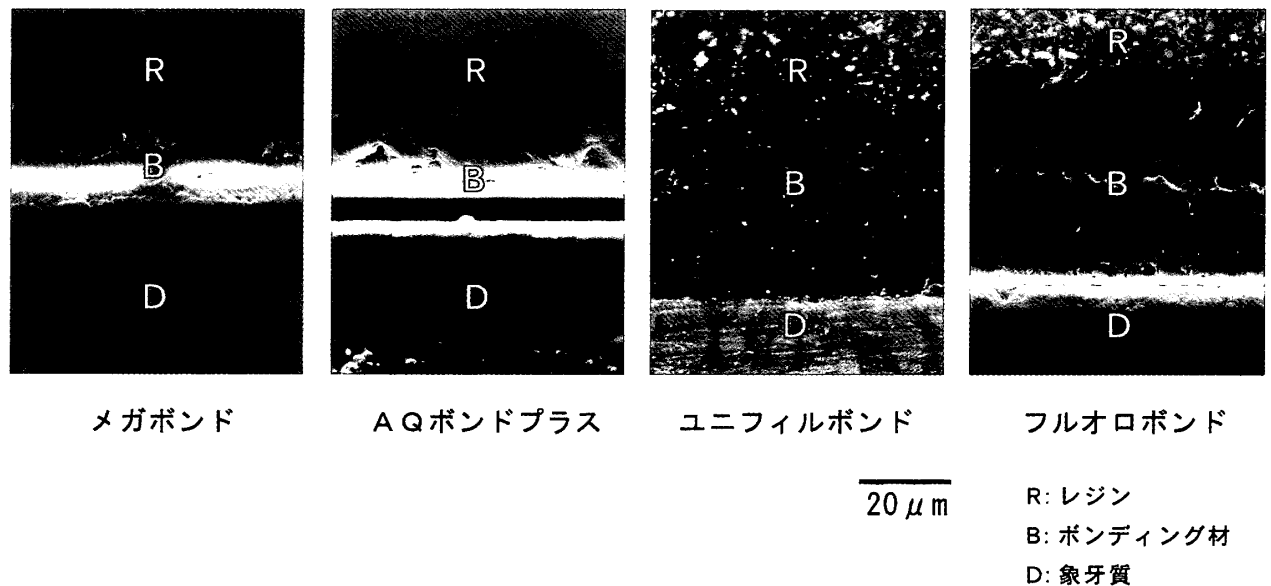


図7-4 UDMA樹脂と各種レジンとの接着界面

1. 人工歯材料への基本的接着様式について

各接着システムの3種人工歯材料に対して見られたレジンの接着様式については以下のように考えられる。エポキシ樹脂とボンディングレジンとの間は高倍SEM像では境界が不明瞭であり、両者間には強い親和性が認められた。これは両者の組成材料間の分子レベルでの融合が生じたためと考えられる。またエポキシ樹脂中の気孔体構造物の存在は、これを通じて嵌合効力が生じている可

能性¹⁸⁾も考えられた。

一方、メラミンとUDMA樹脂では、ボンディングレジンとの間に明瞭な空隙が見られたので、両材料とボンディングレジンとの間には強い親和性はないものと考えられた。また、UDMA樹脂で接着強さが低かったのは、フィラー様物が多数存在しており、これがボンディング材との接着を阻害しているものと考えられる。各樹脂材料とボンディングレジンとの親和性については、エポキ

シ樹脂では上記の分子レベルでの融合に加え、化学的因子として分子中に極性の水酸基やエーテル結合を持つこと、メラミン樹脂においては、官能基であるアミノ基を持つこと、UDMA樹脂においては、反応基であるメタクリロキシ基を持つことがそれぞれ関与している¹⁷⁾ものと推察される。

2. 人工歯材料に対する接着耐久性

各接着システムの3種人工歯材料に対する接着強さは、エポキシ樹脂、メラミン樹脂、UDMA樹脂の順で高い傾向を示した。特に各レジン、エポキシ樹脂に対して高い接着性と接着耐久性を示した。

エポキシ樹脂に対する接着性が高い理由については前述の通りであるが、その耐久性も高かったのは分子レベルの微小嵌合が効果的であったことと、樹脂分子中の多数の反応基と接着システムの構成モノマーとの化学結合が大きく関与しているものと推察される²⁰⁾。その中でも、エポキシ樹脂に含まれる水酸基が大きく関与していると思われる。また、接着耐久性が経時的に上昇したのは、サーマルサイクルによる加熱によりモノマーの重合が進行し、レジンの強さが増加されたためと推察される。

次に、対照である天然歯と比較し、低い値であり異なる傾向を示したメラミン樹脂、UDMA樹脂について考察する。まず、メラミン樹脂において見られた接着性の低下については、樹脂側の官能基と接着システムの構成モノマーの親和性が低く、さらにそれがサーマルサイクルにより、劣化されたためと考えられた。また、メラミン樹脂は他の合成樹脂に比べ、耐水性に優れるため¹⁶⁾、基本的に親水性のボンディング材との接着性が低いものと推察される¹⁸⁾。さらに、大きな欠点としてひび割れが起こりやすいことが報告¹⁶⁾されているが、同様な所見が本研究におけるSEM像においても観察された。しかしながら、このひび割れ構造物内に接着システムのレジンが入り込んだ像は観察することはできなかったため、このひび割れは、試料作製時に生じたものと考えられる。

次に、UDMA樹脂については、ユニフィルボンド、フルオロボンドのように、接着システムにベースモノマーとしてUDMAが含まれる材料に

は比較的強固な接着が見られた。これは、修復材料硬化時に同じベースモノマーであるUDMA同士の重合結合が生じ、接着強さに関与したものと推察される¹⁴⁾。しかしながら、メラミン樹脂と同様他材料において天然歯と比較し低い値であり、異なる傾向を示した結果から、接着に必要な接着システム側の要件について考慮する必要があると考えられる。即ち、まず対応する接着システムの成分としては、UDMA分子が含まれていることが必要条件であると考えられた。また、UDMA樹脂にはフィラー様物が多く含まれているため、接着性を高めるためには表面研磨により露出したフィラーに接着させるシラン処理剤が必要不可欠と考えられる^{15,19,21)}。

3. 模型実習用天然歯代替材としての人工歯材料検討上の考慮点

模型実習用代替人工歯としては、天然歯と同等に接着システムの使用法や操作が行われ得ることに重点を置く必要がある。このことから、人工歯材料を検討する上で、必要なことは、天然歯と同等の接着強さであることは避けられない。この点ではエポキシ樹脂応用の有効性は高いと考えられる。しかし、接着力が天然歯と比較し高い、低いということはあるが、天然歯と類似している事、接着耐久性の傾向も類似していることが必要である。その点から考えると本研究の結果で、必ずしもエポキシ樹脂が満足しているとはいえない結果であった。そのため、使用する接着システムに対する人工歯の選択が必要になる。一方、接着機構を考えると、天然歯ではその主体はレジントグや樹脂含浸層であり、他方、樹脂製人工材料では化学的接着が主であるという違いが存在する。従って、模型実習としての天然歯代替材の応用の可能性を探るためには、さらに広範な検討が必要と考えられる。

総括および結論

天然歯に代る模型実習用人工歯の接着技法を応用した修復法への応用可能性を探るために、現在使用されている3種人工歯の素材料に着目し、コンポジットレジンとの接着強さとその接着耐久性を調べ、さらに接着界面の肉眼的およびSEMに

よる観察を行った。その結果、以下の所見を得た。

1. 基本的接着強さにおいて、ほとんどのレジンの接着強さが天然歯に最も近似していたのはエポキシ樹脂であったがメガボンドの場合は、メラミン樹脂に対する接着強さが天然歯に近似していた。

2. 天然歯と接着耐久性の傾向が類似していたのはエポキシ樹脂であった。メラミンとUDMA樹脂は天然歯と比較して接着耐久性に劣り、接着強さの低下傾向も異なっていた。

3. 天然歯と各種レジンの接着界面の破壊様式には界面破壊、凝集破壊、混合破壊全てが見られた。このような破壊様式を示したのはエポキシ樹脂のみであり、メラミンおよびUDMA樹脂の破壊様式は全て界面破壊であった。

4. SEMによる接着界面の観察から天然歯と同様の境界不明瞭の像が見られたのはエポキシ樹脂であり、メラミン樹脂、UDMA樹脂は境界明瞭の像が見られた。

以上の結果から、天然歯と類似の基本的接着強さ、接着耐久性、接着界面構造を示したのはエポキシ樹脂であった。したがって、天然歯の模型実習用代替材としての可能性については、その端緒は見えたと思われる。しかしながら、代替材料としての広範な応用性については天然歯との接着機構の相違を考慮した対応が必要と考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇篤なる御指導、御校閲を賜りました本学生体材料学講座主任長山克也教授ならびに、前奥羽大学歯科保存学講座高津寿夫教授、口腔外科学講座歯科麻酔学山崎信也講師に謹んで感謝の意を表します。また、数々のご協力を戴いた講座員各位に感謝いたします。

本論文の要旨は、第37回奥羽大学歯学会（2004年6月郡山）において発表した。

文 献

1) 新谷英章，井上時雄：人工歯，顎模型の材質について；教育実習用人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省化学研究費補助金研究成果報告書，研究課題番号57370031；1-3 1983.

2) 長谷川慧，笈 明，近藤健示，勝山 茂：人工歯材料切削時の振動周波数に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書，研究課題番号57370031；4-9 1983.

3) 藤井弁次，成川公一：人工歯材の切削感およびブリネル硬度；教育実習用人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書，研究課題番号57370031；10-14 1983.

4) 細田裕康，高津寿夫，山田敏元：新しい実習用人工歯の開発に関する研究-人工歯材料の高速切削時の被切削時および被切削性と切削器具の摩滅度について-；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；1-17 1983.

5) 浅井康宏：歯内療法基礎実習用の人工歯に関する検討；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；18-20 1983.

6) 齊藤 毅，明石俊和：人工歯開発に関する報告書；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；21-22 1983.

7) 永澤 恒，中牟田博敬，木村正子，財津潤子：歯内療法実習用歯牙模型の検討；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；23-25 1983.

8) 木下四郎，野口俊英：歯周治療の基礎実習のための模型の開発に関する報告書；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；26 1983.

9) 佐藤徹一郎：歯周療法基礎実習模型に関する研究；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；27-28 1983.

10) 篠原正氣，高崎靖士，新谷英章，井上時雄：教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究-試作人工材料と天然歯の被削性について-；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和57年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書；29-32 1983.

11) 笈 明，近藤健示，勝山 茂：人工歯材料切削時の振動に関する研究；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和58・59・60年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書，研究課題番号58370040；3-6 1986.

12) 藤井弁次，井上正義：齶蝕人工歯の開発に関する研究；教育実習人工歯ならびに顎模型の改善に関する研究 昭和58・59・60年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書，研究課題番号58370040；7-8 1986.

13) 古川満太，高橋 泉，三枝尚登，鈴木雅之ほか：コンポジットレジジンとレジジン系合着材の模型用

- レジンに対する接着性. 日歯保誌 **32**; 677-687 1989.
- 14) 岩久正明, 河野 篤, 千田 彰, 田上順次監修: コンポジットレジン修復 3. 接着システム保存修復 21 改訂版第 1 刷; 129-137 永末書店 京都 2002.
 - 15) 岩久正明, 河野 篤, 千田 彰, 田上順次監修: コンポジットレジン修復 3. 接着システム保存修復 21 改訂版第 1 刷; 142-145 永末書店 京都 2002.
 - 16) 村橋俊介, 小田良平, 井本 稔 編集: 熱硬化性プラスチックメラニン樹脂 改訂版 プラスチックハンドブック; 220-238 朝倉書店 東京 1972.
 - 17) 村橋俊介, 小田良平, 井本 稔 編集: 熱硬化性プラスチック UDMA 樹脂 改訂版 プラスチックハンドブック; 272-290 朝倉書店 東京 1972.
 - 18) 井上 稔, 黄 慶雲: 1. ガラス板と水, 2. 水で濡れるということ, 3. 濡れやすさの目安 第 1 刷 接着とはどういうことか; 6-37 朝倉書店 東京 1980.
 - 19) Lloyd Baum, Ralph W. Phillips, Melvin R. Lund: Tooth-Colored Restoratives Third Edition Text book of Operative Dentistry; 220-269 1995.
 - 20) R. W. Phillips: CHEMISTRY OF THE SYNTHETIC RESINS. SKINNER'S NINTH EDITION SCIENCE OF DENTAL MATERIALS; 157-176 1991.
 - 21) Clifford M Sturdevant, Theodor M. Roberson, Harold O. Heymann, John R. Sturdevant: CHAPTER 6 THIRD EDITION THE ART AND SCIENCE OF OPERATIVE DENTISTRY THIRD EDITION; 252-262 1995.
- 著書への連絡先: 菅島正行, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科保存学講座
Reprint requests: Masayuki SUGASHIMA, Department of Conservative Dentistry, Ohu University Graduate School of Dentistry
31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan