

多孔質中空フィラーを用いた 耐摩耗性コンポジットレジンに関する研究

Study on a composite material with high abrasion-resistance using
porous and hollow fillers

倉田 茂昭

神奈川歯科大学 生体材料器械学講座

Shigeaki KURATA

Department of Biomaterials and Devices, Kanagawa dental college

要 旨

多孔質中空フィラーと多官能性シロキサンオリゴマーとが相互に侵入した網目構造をもち、フィラー/レジン界面の問題もない新しい複合材の可能性を検討した。その結果、従来のシラン処理したフィラー複合レジンに比べ、本複合レジン材料は、圧縮や曲げ強さおよび耐摩耗性に優れていた。その理由は、フィラーとレジンの間に界面のない、多孔質中空フィラーとマトリックスレジンが相互に侵入した網目構造によると考えられる。

キーワード：多孔質中空フィラー，コンポジット，耐摩耗性

The purpose of this study was to examine the possibility a new composite material with the structure of interpenetrating polymer network and without the interface between filler and resin. The composite was prepared from matrix monomers and follow and porous filler which was treated with the polyfunctional siloxane oligomers. As the results, the composites showed good mechanical properties, such as compressive and bending strength and abrasion resistance. This is provably due to the formation of the interpenetrating polymer network between the follow and porous filler and matrix monomers.

Keywords: Follow and porous filler, Composite, Abrasion resistance

緒言

充填用コンポジットレジン（以後、CRと略す）は、治療のためにう蝕部を削除した窩洞に充填する修復材料である。その成分はコア材であるシリカなどのフィラーと重合硬化するマトリックスモノマーからなる。無機材料であるフィラーは、有機材料であるマトリックスレジンとシランカップリング剤により化学的に結合している。CRはフィラーの形状ならびに粒径分布などの改良により、マトリックスレジン中へのフィラー含有量を重量比で約80%以上という高充填を成し遂げ、その物性を一段と向上させた。しかしながら、口腔内は高湿潤下であり、レジンを通してレジン／フィラー境界層に水が浸透し、レジンとフィラーとの結合を担っているシランカップリング剤のシロキサン結合が加水分解され、レジンとフィラーとの間に亀裂が生じ、圧縮強さや耐摩耗性などの機械的性質が低下すると報告されている¹⁻⁴⁾。例えば、CRの摩耗の機構は、咀嚼などの口腔内の応力により、フィラーに比べて軟らかいレジン部が摩耗し、吸水によりレジンとフィラー間の結合が加速的に低下し、表面に現れたフィラーが脱落し、またレジンが摩耗する繰り返しと考えられている（Fig.1）。そのため従来のシラン処理とは異なるグラフト処理なども行われているが⁵⁾、シラン処理との明確な差は得られていない。

本研究では、従来のカップリング剤による表面処理法とは異なり、高強度多孔質中空フィラーと無機骨格を主鎖にもつ多官能性オリゴマーを含むマトリックスモノマーとが、硬化後、相互に侵入した網目構造をもつ新しい複合材の可能性を検討した。Fig.2にその概念図を示す。このような複合材は、従来のコンポジットレジンとは異なり、フィラー／レジン界面の処理の問題もなく、耐摩耗性や耐水耐久性に優れているものと考えられる。また、中空フィラー中にフッ素化合物や薬物を導入することにより、フッ素イオンや薬物徐放性の生体材料を創製できる。

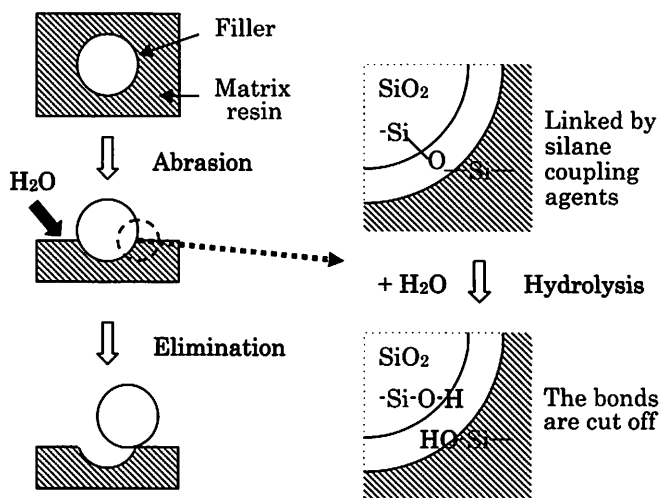


Fig.1 The destruction of composite resin by abrasion and hydrolysis.

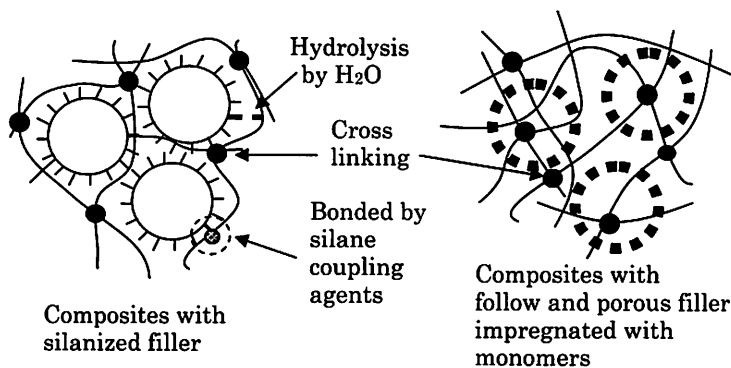


Fig.2 Schema of the composite with follow and porous fillers.

材料および方法

1. 材料

実験に用いたフィラーは、 SiO_2 系の球状多孔質および球状多孔質中空フィラーで（鈴木油脂工業株式会社、それぞれE16およびB16と略す）、各フィラーの性状をTable 1に示す。また、フィラーの処理に用いた表面処理剤の化学式をTable 2に示す。シロキサンオリゴマー（Siloxane oligomer、以下Siloxaneと略す）は、以下の方法により調製した⁶⁾。すなわち、3-MPS 0.150mol（信越化学）をTHF 300mlに溶解し、攪拌しながら、シランの3モル倍量の水25mlと濃塩酸5mlの混合液を滴下した。滴下後、室温で24時間放置した。次に飽和食塩水

にて中性となるまで洗浄し、無水硫酸マグネシウムで脱水後、ろ過し、ろ液を脱溶媒し、Siloxaneを得た。

フィラーの処理は、3-MPSでは通法により行った²⁾。すなわち、100mlのポリプロピレン製ビーカーにフィラーを所定量採取し、Table 4以下のContent値の3-MPSを加え、エチルアルコールを溶媒とし、3-MPSの反応性を促進するために酢酸を3-MPSの質量に対し1wt%、ならびに3-MPSの3モル倍量の水を加え、24時間放置し、アルコールと酢酸臭がなくなるまで経日的に攪拌と放置を繰り返した。1週間後、60℃のオープンに3時間入れ、アルコールと酢酸を完全に除去した。TEGDMA、TMPTおよびSiloxaneの処理では、ポリプロピレン製ビーカーに所定量の処理剤とフィラーに溶媒としてMMAを加え、超音波照射で懸濁した後、風乾し調製した。マトリックスモノマーの組成をTable 3に示す。モノマーにはBisGMAとTEGDMAを、重合開始剤にはカンファキノンおよびジエチルアミノエチルメタクリレート（BisGMAは新中村化学、他は東京化成）を用いた。コンポジットレジンでは処理フィラーをマトリックスレジンに対し、約40wt%となるように混合し調製した。

2. 試験片の作製

調製したコンポジットレジンを、4φ×8mmの穴開きテフロンモールドに填入し、上下面をセルロイドストリップス（GC社製）で覆い、2台の照射器（3M社製XL3000）を上下面に接し、同時に1分間照射し、圧縮試験片を調製した。曲げ試験片は、3×3×25mmの長形に穴の開いたステンレス製2分割金型にコンポジットレジンを填入し、上下面をストリップスで覆い、上面の中央部を1分間、続いて両端を各1分間照射し調製した。下面は上面を照射中、厚さ1.3mmのガラス板を介し、上面照射開始と同時に100Wハロゲンランプで照射し続けた。摩耗試験片は、9φ×3mmの穴開きモールドを用い、圧縮試験片と同様に調製した。

Table 1 Characteristics of spherical porous filler and porous and follow filler.

Characteristic		Porous E16	Porous & follow B16
Particle size range	(μm)	0.5~16	0.5~16
Mean particle size	(μm)	6.5	6.5
Density	(g/cm)	2.1	2.1
Bulk density	(g/cm)	0.32	0.27
Surface pore radius	(Å)	50~150	50~150
Specific surface area	(m ² /g)	694	631
Total pore volume	(ml/g)	1.03	1.23
Absorption oil rate	(ml/100g)	125	155

Table 2 Chemical formulas and codes of surface treatment agents used in this study.

Chemical formula and name	Code
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_2=\text{C}-\text{COO}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_3-\text{OC}-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$ <p>Triethyleneglycoldimethacrylate</p>	TEGDMA
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{C}_2\text{H}_5-\text{C}-\text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}=\text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$ <p>Trimethylolpropanetrimethacrylate</p>	TMPT
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C}-\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3 \end{array}$ <p>3-Methacryloyoxypropyltrimethoxysilane</p>	3-MPS
$\begin{array}{c} \text{R} \qquad \qquad \text{R} \\ \qquad \qquad \\ \text{HO}-[\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}]_n-\text{H} \\ \qquad \qquad \\ \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \\ \text{HO}-[\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}]_n-\text{H} \\ \qquad \qquad \\ \text{R} \qquad \qquad \text{R} \end{array}$ <p>R= $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{OOC}-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$</p> <p>Siloxane oligomer</p>	Siloxane

Table 3 Composition of matrix resin.

Matrix resin (abbreviation)	
Bisphenol A diglycidyl dimethacrylate (BisGMA)	15.0 g
Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)	15.0 g
Camphorquinone	0.15 g
Diethylaminoethyl methacrylate	0.30 g

3. 試験条件

各試験片は、37℃水中に2日間保存後、試験に用いた。試験器は島津社製オートグラフ AGS-500を用い、試験速度は、圧縮試験では2mm/min、曲げ試験では1mm/minで行った。なお、曲げ試験は、支点間距離20mmの3点曲げで行い、光照射器で照射した面を下側に向け試験した。摩耗試験は、歯ブラシ摩耗試験機（東京技研モデル K172）を用い、試験片は4℃と60℃の水中に各1分間浸漬を1サイクルとするサーマルサイクル1000回を行った後、試料1個あたり115gの荷重を負荷し、5cmを1ストロークとし、12万回行い、摩耗前後の重量差を比較した。なお、圧縮、曲げ、そして摩耗試験における試験片の数は、それぞれ5、5、3個である。

4. 統計処理

実験により得られた値は、それぞれの平均値および標準偏差を求め、一元配置分散分析後、Student-Newman-Keuls 多重比較を行い、危険率5%未満でデータ間の差の検定を行った。

結果および考察

1. 複合レジン の 圧縮強さ

各種処理剤および処理濃度で処理した多孔質フィラー E16ならびに多孔質中空フィラー B16を複合したレジンの圧縮強さをそれぞれ Table 4 および 5 に示す。E16 フィラーを複合したレジンの圧縮強さは、3-MPS および TEGDMA 処理では、処理量が10wt% のとき最も大きく、それぞれ約98 および 88MPa を示し、TMPT を処理では15wt% の処理量のとき、約104MPa を示した。

一方、B16 を複合したレジンの圧縮強さは、Siloxane、TEGDMA、そして TMPT とともに処理量が5wt% のとき、それぞれ大きな値を示した。Siloxane および TMPT 処理では、約125 および 127MPa を示した。多孔質中空の B16 フィラー含む複合レジンの方が、高い圧縮強さを得られることが分かった。

3 種の処理剤間で比較すると、3-MPS と TMPT が TEGDMA に比べ高い値を示した。TEGDMA は、

Table 4 Compressive strength of the composite with E16 filler treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	3-MPS	TEGDMA	TMPT
3	89.4 (4.4) ¹ _a	70.6 (16.1) ¹ _b	73.3 (8.9) ² _b
5	95.0 (8.8) ¹ _a	84.8 (8.3) ¹ _b	82.8 (8.9) ² _b
10	98.3 (17.8) ¹ _a	88.2 (18.5) ¹ _a	91.1 (8.9) ² _a
15	67.7 (16.7) ² _b	73.3 (16.7) ¹ _b	103.9 (12.2) ¹ _a
MPa (SD)			

Table 5 Compressive strength of the composite with B16 filler treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	Siloxane	TEGDMA	TMPT
3	—*1	55.0 (21.1) ³	—
5	125.0 (10.0) ¹ _a	80.0 (16.1) ¹ _b	126.7 (11.1) ¹ _a
10	105.0 (8.3) ² _a	71.7 (7.8) ^{1,2} _b	108.8 (5.0) ² _a
15	94.4 (5.6) ³ _b	63.1 (3.3) ^{2,3} _c	113.9 (7.2) ² _a
MPa (SD)			

*1:The test piece can not be prepared.

分子骨格に直鎖状のトリエチレングリコールをもち、その重合物は柔らかいため他の処理剤に比べ強度が低いと考えられる。一方、TMPTは二重結合を3つもつ三官能性モノマーであり、硬化後の架橋密度は二重結合を2つもつTEGDMAに比べ高く、硬いレジンを与えるので、強度はTEGDMAに比べ高い値を示したと思われる。また、フィラー間で比較すると、3-MPSを除くTEGDMAやTMPTで処理したE16フィラーを複合したレジンでは、マトリックスモノマーが架橋したレジンを形成し、フィラーを覆っているが、フィラーとの反応性基をもたないので、応力によりフィラーとレジン間に亀裂が生じやすい。一方、B16フィラー複合では、フィラーとレジンとが相互に侵入し三次元網目構造をもつため、E16フィラーに比べ高い値を示したと考

えられる。

2. 複合レジンの曲げ強さおよび曲げ弾性率

多孔質フィラー E16 ならびに多孔質中空フィラー B16 を複合したレジンの曲げ強さを Table 6 および 7 に示す。多孔質フィラー E16 を複合したレジンの曲げ強さは、10wt% の 3-MPS で処理したとき、最も高い値約 69MPa を示した。次いで 10wt% 処理の TMPT で約 61MPa を示した。

B16 複合レジンの場合、TMPT は処理量に関係なく、また、Siloxane は 10wt% 処理で高い値を示し、それぞれ約 76 および 75MPa であった。3 種の処理剤間で比較すると、圧縮強さと同様、TEGDMA で処理したフィラーを含む複合レジンの曲げ強さが低い。

Table 6 Bending strength of the composite with E16 filler treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	3-MPS	TEGDMA	TMPT
3	56.3 (6.3) ^{2a}	46.3 (5.3) ^{2b}	53.4 (4.3) ^{2a}
5	57.8 (9.7) ^{2a}	49.3 (3.8) ^{1,2a}	56.3 (2.5) ^{2a}
10	68.8 (5.3) ^{1a}	47.5 (6.3) ^{1,2c}	60.9 (4.3) ^{1b}
15	44.1 (8.4) ^{3b}	51.6 (3.4) ^{1a,b}	53.1 (5.6) ^{2a}

MPa (SD)
Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column (p<0.05).
Super characters with different letters indicate a statistically significant difference for each horizontal column (p<0.05).

Table 7 Bending strength of the composite with B16 filler treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	Siloxane	TEGDMA	TMPT
3	—*1	46.6 (5.5) ¹	—
5	50.2 (3.9) ^{3b}	49.4 (3.5) ^{1b}	71.0 (10.2) ^{1a}
10	76.4 (6.6) ^{1a}	47.8 (6.3) ^{1b}	74.9 (6.7) ^{1a}
15	61.1 (5.5) ^{2b}	51.8 (3.1) ^{1c}	74.9 (7.0) ^{1a}

Strength after 2 days in 37°C water : MPa (SD).
*1:The test piece can not be prepared.
Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column (p<0.05).
Super characters with different letters indicate a statistically significant difference for each horizontal column (p<0.05).

多孔質フィラー E16 ならびに多孔質中空フィラー B16 を複合したレジンの曲げ弾性率を Table 8 および 9 に示す。E16 を複合したレジンの曲げ弾性率は、3-MPS および TEGDMA 処理では、処理量による大きな差は認められなかった。TMPT 処理では、10wt% 処理で約 3.9GPa とやや高い値を示した。一方、B16 を複合したレジンでは、Siloxane および TMPT 処理では、各処理剤ならびに処理量による有意差は認められなかった。TEGDMA 処理では、Siloxane および TMPT に比べ低い値を示した。TEGDMA が二官能性のモノマーであるのに対し、Siloxane の分子骨格はシリカと同様の結合間の短いシロキサン結合(-Si-O-Si-)

をもつ八官能性モノマーであり⁷⁾、TMPT は三官能性モノマーである (Table 2)。Siloxane や TMPT の硬化後に得られる処理層の架橋密度は TEGDMA に比べ高く、TEGDMA に比べ高い強度を示したと考えられる。本実験では、同様の大きさの多孔質ならびに多孔質中空フィラーを用いたため、処理剤の処理量を調節するのが難しい。すなわち、中空フィラーの場合、中空内にほとんどの処理剤が含浸すると、処理剤が表面を十分に覆いきれず、マトリックスモノマーと反応する確率が下がり、複合レジンの強度は向上しないと考えられる。非中空および中空フィラーの最適処理量を調整することは今後の課題である。

Table 8 Bending modulus of the composite with E16 filler treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	3-MPS	TEGDMA	TMPT
3	3.57 (0.10) ¹ _a	3.27 (0.28) ¹ _b	3.57 (0.28) ² _a
5	3.58 (0.29) ¹ _a	3.26 (0.19) ¹ _b	3.56 (0.10) ² _a
10	3.48 (0.28) ¹ _b	3.38 (0.10) ¹ _b	3.87 (0.19) ¹ _a
15	3.45 (0.23) ² _a	3.28 (0.29) ¹ _b	3.58 (0.28) ² _a

Modulus after 2 days in 37°C water : GPa (SD).
Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column (p<0.05).
Super characters with different letters indicate a statistically significant difference for each horizontal column (p<0.05).

Table 9 Bending modulus of the composite with B16 fillers treated with the treatment agents at various concentration.

Agent content (wt%)	Treatment agent		
	Siloxane	TEGDMA	TMPT
3	—*1	3.35 (0.10) ¹	—
5	3.45 (0.19) ¹ _a	3.04 (0.09) ¹² _b	3.44 (0.19) ¹ _a
10	3.49 (0.50) ¹ _a	3.01 (0.50) ² _b	3.55 (0.19) ¹ _a
15	3.45 (0.28) ¹ _a	3.34 (0.10) ¹ _b	3.55 (0.09) ¹ _a

Modulus after 2 days in 37°C water : GPa (SD).
*1:The test piece can not be prepared.
Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column (p<0.05).
Super characters with different letters indicate a statistically significant difference for each horizontal column (p<0.05).

3. 複合レジンの耐摩耗性

多孔質フィラー E16 ならびに多孔質中空フィラー B16 を複合したレジンの摩耗量を Table 10 および 11 に示す。比較に用いたポリメチルメタクリレート (PMMA) の摩耗量は 11.8 cm^3 で、今回調製した E16 ならびに B16 を含む複合レジンの摩耗量は、いずれの場合も PMMA に比べ低い値を示した。摩耗量が減少した理由は、PMMA が線状の有機高分子からなるのに対し、複合材料の成分は多官能性のモノマーが架橋し、三次元網目構造をとり硬くなったレジンを 60wt% 含み、さらにレジンより硬い無機質フィラーを 40wt% 含むためである。

Table 10 Abrasion loss of the composite with E16 fillers treated with the treatment agents and PMMA as a comparison.

Agent	Agent content (wt%)	Abrasion loss (mm^3)
PMMA	—	11.8 (1.88) ¹
TEGDMA	3	4.84 (0.42) ²
TMPT	3	3.36 (0.27) ³
	5	4.14 (0.50) ^{2,3}
	10	3.37 (0.80) ³
3-MPS	3	1.89 (0.12) ⁴

Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column ($p < 0.05$).

Table 11 Abrasion loss of the composite with B16 fillers treated with the treatment agents and PMMA as a comparison.

Agent	Agent content (wt%)	Abrasion loss (mm^3)
PMMA	—	11.8 (1.88) ¹
TEGDMA	3	3.33 (0.38) ²
TMPT	5	2.58 (0.50) ³
	10	2.00 (0.50) ³
	20	2.64 (0.92) ^{2,3}
Siloxane	10	0.71 (0.38) ⁴
	15	0.38 (0.23) ⁴
	20	0.27 (0.23) ⁴

Superscript values with different numbers indicate a statistically significant difference for each vertical column ($p < 0.05$).

E16 と B16 のフィラー間で比較すると、TEGDMA および TMPT を見ても分かるように、多孔質中空フィラー B16 複合レジンの方が、E16 複合レジんに比べ、いずれも低い値を示している。Fig.2 に示したように、中空でない多孔質フィラー E16 を TEGDMA および TMPT で処理した複合レジンの場合、フィラーはマトリックスの三次元架橋高分子に覆われてはいるが、フィラーとマトリックスレジン間に結合はない。一方、多孔質中空フィラーを複合した場合、重合により硬化した三次元架橋レジンとフィラーとが相互に侵入した網目構造を形成し、フィラーとマトリックスレジンを機械的に嵌合され、摩耗によるフィラーの脱落を抑制していると考えられる。

3-MPS で処理した E16 フィラー複合レジンの比較的良好な耐摩耗性を示した。3-MPS は、処理フィラー表面上で縮合し、1～4 量体のシロキサン分子を形成する。しかも縮合過程でフィラーと反応し結合するシラノール基をもつため (Fig.2)、良好な耐摩耗性を示したのだろう。ただし、溶液中で合成した Siloxane とは異なり、その分子量分布は広く、低分子量物や未反応のシラノール基を含むため、Siloxane より耐摩耗性が向上しなかったと考えられる。

Siloxane で処理した B16 フィラーを複合したレジンの摩耗量は、Siloxane の添加量と共に減少傾向を示し、他の処理剤に比べて低い。その理由は、本研究の Siloxane は、分子骨格がシリカや石英と同じ $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ の架橋点間の短いシロキサン結合をもち、ラダータイプの構造をもつ分子量が約 1,200 のオリゴマーで、分子中に二重結合を 8 個もつ高多官能性モノマーである。分子内に二重結合を 3 つもつ TMPT と比べても、処理層は高度に架橋した硬いレジンを形成する。また、Siloxane は分子の一部にシラノール基 ($-\text{Si}-\text{OH}$) をもち (Table 2)、フィラー表面のシラノール基と縮合反応するため、フィラーとレジンとが一体化することにより、摩耗量を低下させたと考えられる。今回、マトリックスレジンに BisGMA と TEGDMA の 1 対 1 の混合物

を用いたが、本 Siloxane をマトリックスモノマーとして用いることも可能である。

4. 複合レジン間の機械的強さと処理剤の分子構造

複合レジン間の機械的強さの差、すなわち処理剤の効果の差を処理剤の分子構造から考察する。複合材レジンの強さは、各処理剤の分子骨格と1分子中の二重結合数の差、すなわち、官能基数の差に影響されると考えられる。TEGDMA は、分子骨格が柔らかいトリエチレングリコール鎖をもち、二官能性モノマーなので他の処理剤に比べ架橋密度は低い。その結果、TEGDMA で処理した E16 ならびに B16 フィラーを複合したレジンの圧縮強さは、他の処理剤に比べ小さい値を示したのであろう。TMPT は三官能性モノマーで、しかも二重結合間の原子数が TEGDMA に比べ少なく、すなわち、架橋点間の距離が短く、重合反応によりフィラー表層で形成される架橋密度は高く、硬い三次元網目構造を形成するため、圧縮強さが TEGDMA より高い値を示したと考えられる。Siloxane については、先述したように、分子骨格がシリカや石英と同じシロキサン結合 ($-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$) をもち、架橋点間が短く、分子中に二重結合を8個もつ高多官能性モノマーであり、他と比べて硬くなる構造を備えているため、高い耐摩耗性を示したのであろう。一方、Silane である 3-MPS は、フィラー処理時にトリエトキシシリル基 ($-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$) が加水分解に続き縮合し、Siloxane とよく似た多官能性のモノマーとなる。そのため Siloxane と同様に高い圧縮強さを示したと思われる。

まとめ

多孔質中空フィラー B16 ならびに多孔質フィラー E16 を複合したレジンの圧縮および曲げ強さ、ならびに耐摩耗性を検討し、次の結果を得た。

多孔質中空フィラー B16 を複合したレジンの圧縮および曲げ強さ、ならびに耐摩耗性は、多孔質フィラー E16 を含むレジンに比べ高い値を示した。

特にシロキサンオリゴマー (Siloxane) で処理した B16 フィラーを複合したレジンの耐摩耗性は、B16 を複合したレジンの方が、E16 を複合したレジンに比べ優れていた。B16 を複合したレジンの優れた機械強度は、中空フィラーとレジンが相互侵入した網目構造をもつことによると考えられる。

謝 辞

多孔質中空フィラーを快く提供して下さった鈴木油脂工業株式会社に深く感謝いたします。

文 献

1. 倉田茂昭, 山崎 升: イソシアナトおよびアルコキシシラン系ならびにジルコアルミネート系カップリング剤の処理効果. 歯科材料・器械, 6, 679-684, 1988.
2. 倉田茂昭, 山崎 升: イソシアナト系シランカップリング剤をプライマーとして用いたセラミックスとレジンの接着. 歯科材料・器械, 7, 729-735, 1988.
3. 石田初男: 分子論的にみた複合材料の界面, 高分子, 36(1), 205-209, 1961.
4. 新井浩一, 八木恭司, 坂本 功, 浅田真琴, 橋本弘一: 市販コンポジットレジンフィラーの表面処理状態について, 歯科材料・器械, 30, 22-28, 1973.
5. 中嶋 正, 倉田茂昭: 光重合コンポジットレジンの水中保管による物性変化について - シラン処理およびグラフト処理の相違 -, 日本歯科保存学雑誌, 39, 218 - 226, 1996.
6. 倉田茂昭, 山崎 升: 分子複合材を用いる歯科用レジンに関する研究 第1報多官能シロキサンオリゴマー・MMA 共重合体の圧縮強さ, 歯科材料・器械, 4, 568-572, 1985.
7. 倉田茂昭: 分子複合材を用いる歯科用レジンに関する研究 - ラダー構造を有するシロキサンオリゴマーの分子複合による PMMA レジンの強化 -, 歯科材料・器械, 6, 529-540, 1987.