HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	レジン系シーラーの種類と根充方法が根尖封鎖性に及ぼす影響
Author(s)	中澤，篤史；菅谷，勉；川浪，雅光
Citation	北海道歯学雑誌，34(2)，87-96
Issue Date	2014-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55160
Type	journal article
File Information	34-02_05_nakazawa.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道歯誌　34：87-96，2014.

原　著

レジン系シーラーの種類と根充方法が根尖封鎖性に及ぼす影響

中澤　篤史　　菅谷　　勉　　川浪　雅光

抄　録：根尖孔が大きく開大し偏平な根管の場合は，接着性レジンシーラーの使用が有効とされているが，シーラーが極端に厚くなる部位が生じ，気泡の混入や硬化時の寸法変化，乾燥が不十分な部位が生じ，封鎖性が低下する危険性がある．そこで，接着性レジンシーラーのみで根管充填を行い，根管の乾燥方法や充填方法，シーラーの種類が，封鎖性や根管の充足性に及ぼす影響を検討した．

実験１では，レジンが接着しないテフロンチューブに根充シーラーを充填し，硬化後にチューブ内面積と根充シーラーの面積を測定して，硬化に伴う空隙の発生状態をスーパーボンド根充シーラー（SBS），スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR），リアルシールSEシーラー（RS）の３種類を用いて評価した．硬化後0.5mm間隔で切断し，充足率，チューブに接した空隙率，根充材内部の空隙率を算出した結果，SBSはRSに比較して，チューブに接した空隙率と根管充填材内部の空隙率が有意に大きかった．

実験２では，抜去歯を用いて根管の乾燥方法，根管充填方法，シーラーの種類で根管封鎖性と充足性を比較した．根管乾燥はエアードライとペーパーポイントによる乾燥，根管充填方法はシリンジを用いた充填とさらにガッタパーチャポイントを用いたポンピングを併用する方法とし，色素侵入距離，色素侵入率，充足率を測定した．その結果，SBSとSBRでは根管乾燥方法や充填方法に関わらず，色素侵入距離は0.5mm以下，色素侵入率は１％程度で有意差はなかったが，リアルシールは色素侵入距離が1.3mm，色素侵入量率が75％で，SBSとSBRに比べて有意に大きかった．SEM観察では，レジンタグの形成はエアードライしてSBRを充填した群が最も確実であった．

以上の結果から，根尖孔が開大し加圧が十分に行えず，さらに根管が偏平でシーラーが厚くなる場合には，根管をエアードライしてシリンジでスーパーボンド混和ラジオペークを充填する方法が，最も高く安定した封鎖性が得られると考えられた．

キーワード：充填方法と乾燥方法，接着性根充シーラー，根尖封鎖性

緒　　言

根尖性歯周炎の予後不良の原因の一つとして，湾曲根管を根管拡大形成時に直線化し，根尖孔の位置が変移して偏平になっている場合がある[1]．このような根管では根尖孔も大きく開大していることが多く，ガッタパーチャを用いた根管充填では，十分な加圧が行えないため高い封鎖性が得られず，予後を悪化させる原因の一つになっている[2]．根尖孔が大きく加圧根管充填のための根管形成が十分に行えない場合には，従来の側方加圧充填法や垂直加圧充填法に比較して，接着性レジンシーラーを用いた単一ポイント法の方が高い封鎖性が得られると報告されている[3]．しかし，根管が偏平な場合には，単一ポイント法ではシーラーが極端に厚くなる部位が生じ，接着性レジンシーラーの重合収縮により封鎖性が低下する危険性がある．接着性レジンシーラーとガッタパーチャを併用して封鎖性を検討した報告は多いが[3-13]，接着性レジンシーラーの厚みが封鎖性に及ぼす影響については検討されていないのが現状である．

一方，接着性レジンシーラーを用いる場合には，根管の乾燥状態が封鎖性に大きく影響すると考えられる．一般に根管の乾燥にはペーパーポイントが用いられるが，エアードライに比べると乾燥状態は低い上に，偏平な根管をペーパーポイントで乾燥すると根管壁にペーパーポイントが触れずに乾燥が不十分な部位が生じる危険性もある．接着性レジンの接着性は水分の影響を受けやすいものがあることから[14-17]，シーラーの種類によっては封鎖性が著しく低下する可能性がある．

さらに，シーラーが厚くなる部位では，根管充填時の気泡の混入が封鎖性に影響する可能性がある．気泡の混入を少なくするために，一般にはレンツロを用いる方法やガッ

〒060-8586 札幌市北区北13条西７丁目
北海道大学大学院歯学研究科　口腔健康科学講座　歯周・歯内療法学教室（主任：川浪雅光 教授）

タパーチャポイントでポンピングする方法でシーラーが根管内に充填されているが[18,19]，とくに接着性レジンシーラーを用いる場合には，一旦重合が始まった根管壁に触れると接着を破壊して重合収縮による根管壁からの剥離が生じやすくなり，封鎖性が低下する危険性がある．しかし，接着性レジンシーラーの根管内への充填方法が封鎖性に及ぼす影響を検討した研究はない．

本研究の目的は，接着性レジンシーラーのみで根管充填を行った場合に，根管の乾燥方法やシーラーの種類，充填方法の違いが，根尖封鎖性や根管の充足性（空隙の発生）に及ぼす影響を検討することである．

材料と方法

実験１．接着性レジンシーラーの種類と空隙の発生状態

接着性レジンシーラーには，①スーパーボンド根充シーラー（サンメディカル，滋賀，以下SBS），②スーパーボンド混和ラジオペーク（サンメディカル，滋賀，以下SBR），③リアルシールSEシーラー（ペントロン　ジャパン，東京，以下RS）の３種類を使用した．メーカー指示通りに混和した各シーラーを，内径1.4mm長さ20mmのテフロンチューブ（ファンフロー®，パイロットコーポレーション，東京）に吸引後，37℃湿度100％にて24時間水中保存した（各群N＝３）．

その後，自動精密切断機（ISOMET，BUHLER，USA）を用いて0.5mm間隔で切断し，光学顕微鏡（BX50，Olympus，東京）を用いて中央部の６枚の切片を4.0倍で撮影した．画像をパーソナルコンピューターに取り込み，画像解析ソフト（Image J，NIH）を用いてチューブ内面積と接着性レジンシーラーの面積，チューブ内壁に接した空隙の面積，根管充填材内部の空隙面積を計測し，充足率（根充材面積/チューブ内面積），チューブに接した空隙率（チューブに接した空隙面積/チューブ内面積），根充材内部の空隙率（根充材内部の空隙面積/チューブ内面積）を算出した．

実験２．根管封鎖性と充足性の検討

１．根管形成

患者が実験への使用を承諾し，患者個人と連結不可能な状態で冷凍保存したヒト新鮮抜去歯から，根管治療が行われていない単根歯70本を用いた．歯根表面の軟組織をスケーラーで除去し，根管長が10mmとなるよう歯冠を切断して，根管上部1/2はピーソーリーマー #1～ #3（MANI，栃木）にてフレアー形成し，根尖部はKファイル（MANI，栃木）を用いて根尖孔を#140まで根管拡大した．拡大終了後，根尖部はスティッキーワックスで被覆した．

２．根管乾燥方法

根管内を十分に水洗後，エアーブローにて乾燥した．SBS，SBRで根管充填する60本は，10％クエン酸３％塩化第２鉄溶液（表面処理材グリーン®，サンメディカル，滋賀，以下10-3溶液）で10秒間処理後，シリンジを用いて根尖部まで十分に水洗し，次の２つの方法で乾燥を行った．①エアードライ：洗浄針をつけたエアスプレーで根管内を十分に乾燥した．②ペーパーポイント乾燥：#100ペーパーポイントを用いて，ペーパーポイントに水分が確認できなくなるまで繰り返し乾燥した．またRSを用いる10本は，メーカー指示に従ってEDTA（ウルトラデントEDTA18％，ULTRA DENT，USA）で60秒間処理し，水洗後②の方法で乾燥した．

３．接着性レジンシーラーの充填方法

SBS，SBRは，メーカーの指示に従ってモノマー４滴キャタリスト１滴ポリマー粉末１カップを筆で混和し，次の２つの方法で根管内に充填した．①シリンジ：ポリプロピレン製プラスチックニードル（ニシカスピン，日本歯科薬品，山口）を付けたシリンジに混和泥を吸引し，プラスチックニードルを根尖まで挿入してゆっくり練和泥を注入した．②ポンピング：①の方法で混和泥を注入後に，#130ガッタパーチャポイントにて10回ポンピングを行い，ガッタパーチャは根管内に残さず接着性レジンシーラーのみで根管充填を行った．RSは付属のミキシングチップで混和泥を直接根管内に充填し，歯冠側より光照射器（JETLITE3000®，モリタ製作所，京都）で40秒間光照射した．

根管の乾燥方法，充填方法，接着性レジン系根管充填材の組み合わせで，以下の７群の方法で根管充填を行った（各群N＝10）（表１）．

①ASS群：エアードライ＋シリンジ充填＋スーパーボンド根充シーラー（SBS）

②APS群：エアードライ＋ポンピング充填＋スーパーボンド根充シーラー（SBS）

表１．各実験群の乾燥方法，充填方法，接着性レジンシーラー

	ASS群	PSS群	ASR群	PSR群	APS群	APR群	PRS群
乾燥方法	エアードライ	ペーパーポイント	エアードライ	ペーパーポイント	エアードライ	ペーパーポイント	ペーパーポイント
充填方法	シリンジ		シリンジ		ポンピング		ミキシングチップ
接着性レジンシーラー	スーパーボンド根充シーラー（SBS）LOT:VX1		スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）LOT:EG1		スーパーボンド根充シーラー（SBS）LOT:VX1	スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）LOT:EG1	リアルシールSEシーラー（RS）LOT:4624274

③ASR群：エアードライ＋シリンジ充填＋スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）
④APR群：エアードライ＋ポンピング充填＋スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）
⑤PSS群：ペーパーポイント乾燥＋シリンジ充填＋スーパーボンド根充シーラー（SBS）
⑥PSR群：ペーパーポイント乾燥＋シリンジ充填＋スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）
⑦PRS群：ペーパーポイント乾燥＋ミキシングチップ充填＋リアルシールSEシーラー（RS）

根充後はいずれも根管口をグラスアイオノマーセメント（FujiⅨGP，ジーシー，東京）で封鎖し，37℃湿度100％にて24時間保存した．

4．色素侵入試験

根尖孔のスティッキーワックスを除去し，根尖孔を除く全ての面をマニキュアで3層コーティーングして，0.5％塩基性フクシン溶液に浸漬した．24時間後，ISOMETを用いて根尖部3mmを0.5mm間隔で歯軸に垂直に切断して6枚の標本を作製し，光学顕微鏡を用いて切断面を4.0倍で撮影した画像をパーソナルコンピューターに取り込み，画像解析ソフト（Image J）を用いて，根管の面積，根充材の面積，根管壁に接した空隙面積，根充材内部の空隙面積，根管壁の外周，侵入した色素の長さをそれぞれ計測し，色素侵入率（色素侵入長さ/根管外周），根管充足率（根充材面積/根管面積），根管壁に接した空隙率（根管壁に接した空隙面積/根管面積），根充材内部の空隙率（根充材内部の空隙面積/根管面積）を算出，6枚の標本の平均値を各被検歯の値とした．さらに，色素侵入が認められた最歯冠側の標本と根尖との距離を色素侵入距離とした．統計処理は，SPSS 10.0J®（IBM，東京）を用いて，一元配置分散分析およびpost hoc testとしてTukey's-testを行った．

5．SEM観察

色素侵入試験後の試料をアルミナバフ研磨し，6N塩酸5秒，1％次亜塩素酸ナトリウム7分の処理を経て自然乾燥後，イオンスパッター装置（S-1030，日立，東京）でPt-Pd蒸着，走査型電子顕微鏡（S-4000，日立ハイテクフィールディング，東京，以下SEM）を用いて加速電圧10kVで観察した．

結　　果

実験1．接着性レジンシーラーの種類と空隙の発生状態

スーパーボンド根充シーラーが（SBS），スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR），リアルシールSEシーラー（RS）の3群とも，チューブと根管充填材との間には三日月状の間隙が見られたが，根管充填材内部の空隙はきわめて少なく，とくにRSではまったく認められなかった（図1）．

充足率（根充材面積/チューブ内面積）は，SBSが89.9±1.9％，SBRが93.4±1.5％，RSが95.7±0.4％で，3群間に有意差はなかった．チューブに接した空隙率（チューブに接した空隙面積/チューブ内面積）はそれぞれ10.0±1.8％，6.6±1.5％，4.2±0.4％，根充材内部の空隙率（チューブ内部の空隙面積/チューブ内面積）はそれぞれ0.06±1.8％，0.02±1.6％，0％で，いずれもSBSはRSに比較して有意に大きかった（表2）．

表2．充足率と空隙率

	SBS	SBR	RS
充足率（％）	89.9±1.9	93.4±1.5	95.7±0.4
チューブ壁空隙率（％）	10.0±1.8^{A}	6.6±1.5	4.2±0.4^{A}
根充材内部空隙率（％）	0.06±1.8^{B}	0.02±1.6	0±0^{B}

同一記号間で有意差あり（$p<0.05$）

実験2．根管封鎖性と充足性の検討

1．乾燥方法による比較

スーパーボンド根充シーラー（SBS）とスーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）を用いて，エアードライとペーパーポイント乾燥で比較を行った．すなわち，ASS群とPSS群，ASR群とPSR群を比較した結果，色素侵入距離は

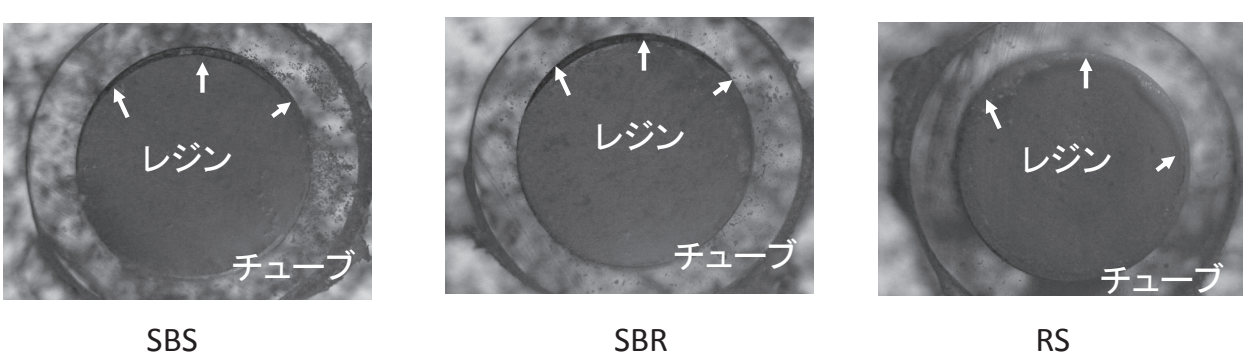

図1．テフロンチューブに充填した接着性レジンシーラー
スーパーボンド根充シーラー（SBS），スーパーボンド混和ラジオペーク（SBR），リアルシールSEシーラー（RS）とも，チューブと根管充填材との間には間隙が見られたが，根管充填材内部の空隙はほとんどみられなかった．

0～0.50mm，色素侵入率は0～22.01％で有意差はなかった（表3）．根管充足率はそれぞれ83.9～90.7％，根管壁空隙率はそれぞれ0.6～6.8％，根充材内部空隙率は6.7～13.6％で根管充足率と根管充填材内部空隙率にはいずれも有意差がなかったが，根管壁空隙率は，ASS群がPSS群に比較して有意に大きかった（$p<0.05$）（表4）．

SEM観察では，ASS群とASR群はレジンタグが象牙細管内に長く侵入していたが，PSS群とPSR群は根管壁とレジンの間に間隙がない部分でも，レジンタグが短いものやほとんど侵入していなものが見られた（図2）．

表3．色素侵入距離と色素侵入率

	ASS群	PSS群	ASR群	PSR群	APS群	APR群	PRS群
色素侵入距離（mm）	0.15 ± 0.11^{A}	0.45 ± 0.22^{B}	$0. \pm 0.^{C}$	0.50 ± 0.25^{D}	0.15 ± 0.08^{E}	0.15 ± 0.08^{F}	$1.30 \pm 0.26^{A-F}$
色素侵入率（%）	2.27 ± 1.83^{G}	16.36 ± 8.60^{H}	0 ± 0^{I}	22.01 ± 10.68^{J}	3.29 ± 1.69^{K}	3.79 ± 2.22^{L}	$75.11 \pm 9.10^{G-L}$

同一記号間で有意差あり（$p<0.05$）

表4．根管充足率と空隙率

	ASS群	PSS群	ASR群	PSR群	APS群	APR群	PRS群
根管充足率（%）	86.5 ± 1.8	83.9 ± 2.7	90.7 ± 1.4	90.4 ± 2.1	78.5 ± 3.3	90.5 ± 2.4	83.3 ± 2.3
根管壁空隙率（%）	$6.8 \pm 1.0^{A-D}$	3.2 ± 0.8	0.6 ± 0.4^{A}	2.5 ± 1.5	0.6 ± 0.3^{B}	0.5 ± 0.3^{C}	0.7 ± 0.2^{D}
根充材内部空隙率（%）	6.7 ± 1.9	12.9 ± 2.2	8.7 ± 1.4	7.1 ± 1.7	21.9 ± 3.2	9.0 ± 2.4	16.0 ± 3.0

同一記号間で有意差あり（$p<0.05$）

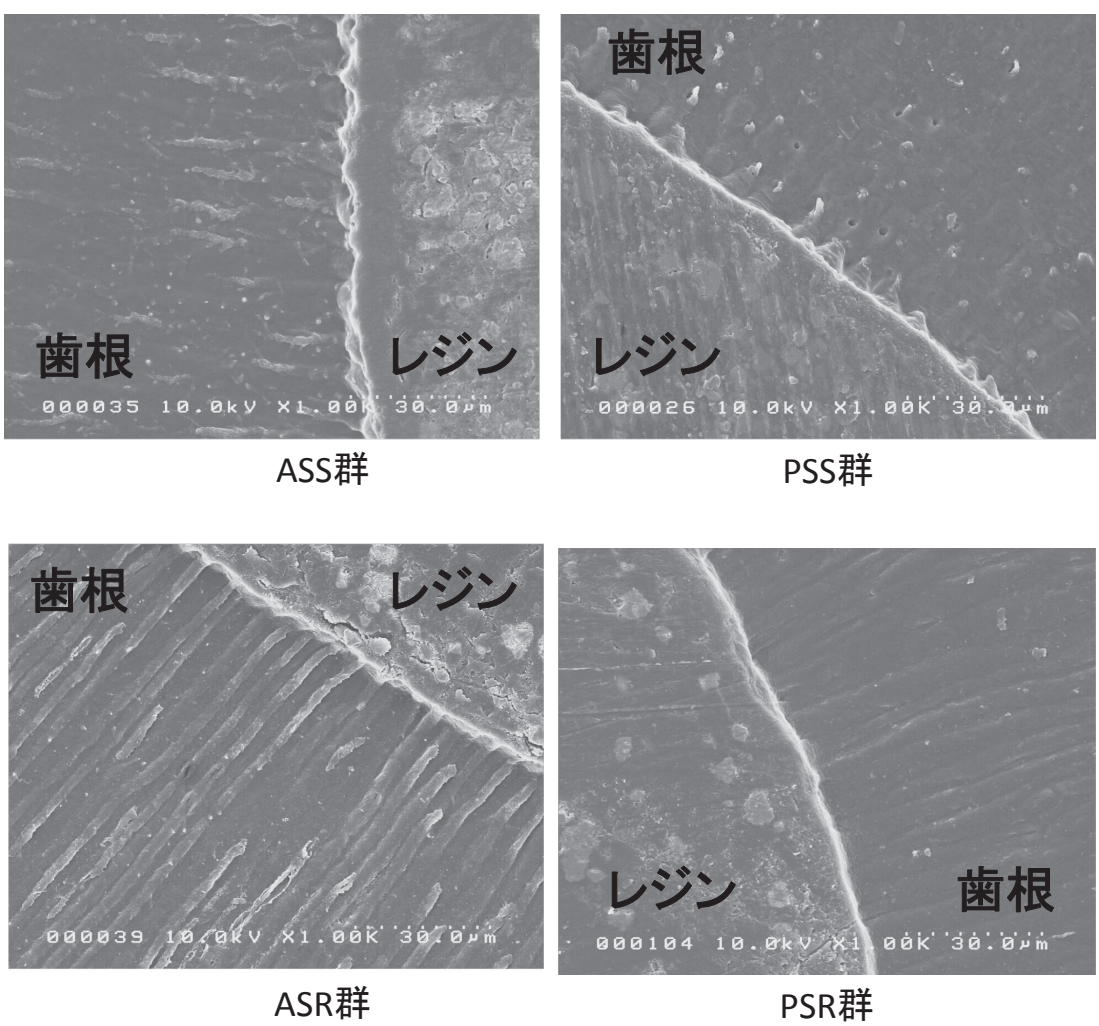

図2．ASS群，ASR群，PSS群，PSR群のSEM像
ASS群とASR群は長いレジンタグがみられたが，PSS群とPSR群はレジンタグが短くほとんど侵入していない部位も見られた．

２．充填方法による比較

スーパーボンド根充シーラー（SBS）とスーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）を用いて，シリンジによる充填とポンピングで比較を行った．すなわち，ASS群とAPS群，ASR群とAPR群をそれぞれ比較した結果，色素侵入距離は０～0.15％，色素侵入率は０～3.79％でいずれも有意差はなかった（表３）．根管充足率は78.5～90.7％，根管壁空隙率は0.5～6.8％，根管充填材内部空隙率は6.7～20.9％で，根管充足率はいずれも有意差はなかったが，根管壁空隙率はASS群がAPS群より有意に大きかった（p＜0.05）（表４）．

SEM観察では，SBSとSBRを用いた群は空隙の大きさに関わらず根管壁にはレジンが認められ，根管壁との間には空隙がない部分が多かった（図３）．

３．根充シーラーの違いによる比較

スーパーボンド根充シーラー（SBS）とスーパーボンド混和ラジオペーク（SBR）を用いて，根管をエアードライしてシリンジによる充填，さらにリアルシールSEシーラーを用いて，ペーパーポイント乾燥してミキシングチップで直接根管に充填して比較を行った．すなわち，ASS群，ASR群，PRS群で比較を行った結果，色素侵入距離はそれぞれ0.15±0.11mm，0mm，1.3±0.26mmで，色素侵入率はそれぞれ2.27±1.83％，０％，75.11±9.1％で，PRS群は他の２群に比較していずれも有意に大きな値であった（p＜0.05）（表３）．根管充足率は83.3～90.7％で３群間に有意差はなかった．根管壁空隙率はそれぞれ6.8±1.0％，0.6±0.4％，0.7±0.2％でASS群が他の２群に比較して有意に高い値を示した（p＜0.05）．根充材内部空隙率はそれぞれ6.7～16.0％で有意差はなかった（表４）．

SEM観察では，根管充填材と根管壁が接している部位には，３群とも界面にはハイブリッド層が形成され象牙細管内にはレジンタグが認められた（図２，４）．一方，根管壁付近で空隙が生じている部位では，ASS群とASR群は根管壁に一層のレジンが確認できる部位が多かったのに対して，PRS群では根管壁にレジンの残存や象牙細管内にレジンタグがみられない部位が多かった（図５）．また，PRS群は根管充填材内部に根管壁と平行な方向の亀裂が，根管壁から内部まで一応に認められた．

考　　察

湾曲根管を直線化して根尖孔が開大するとともに，位置が変移して偏平になっている場合，ガッタパーチャを用いた根管充填では封鎖性が低いことから，接着性レジンシー

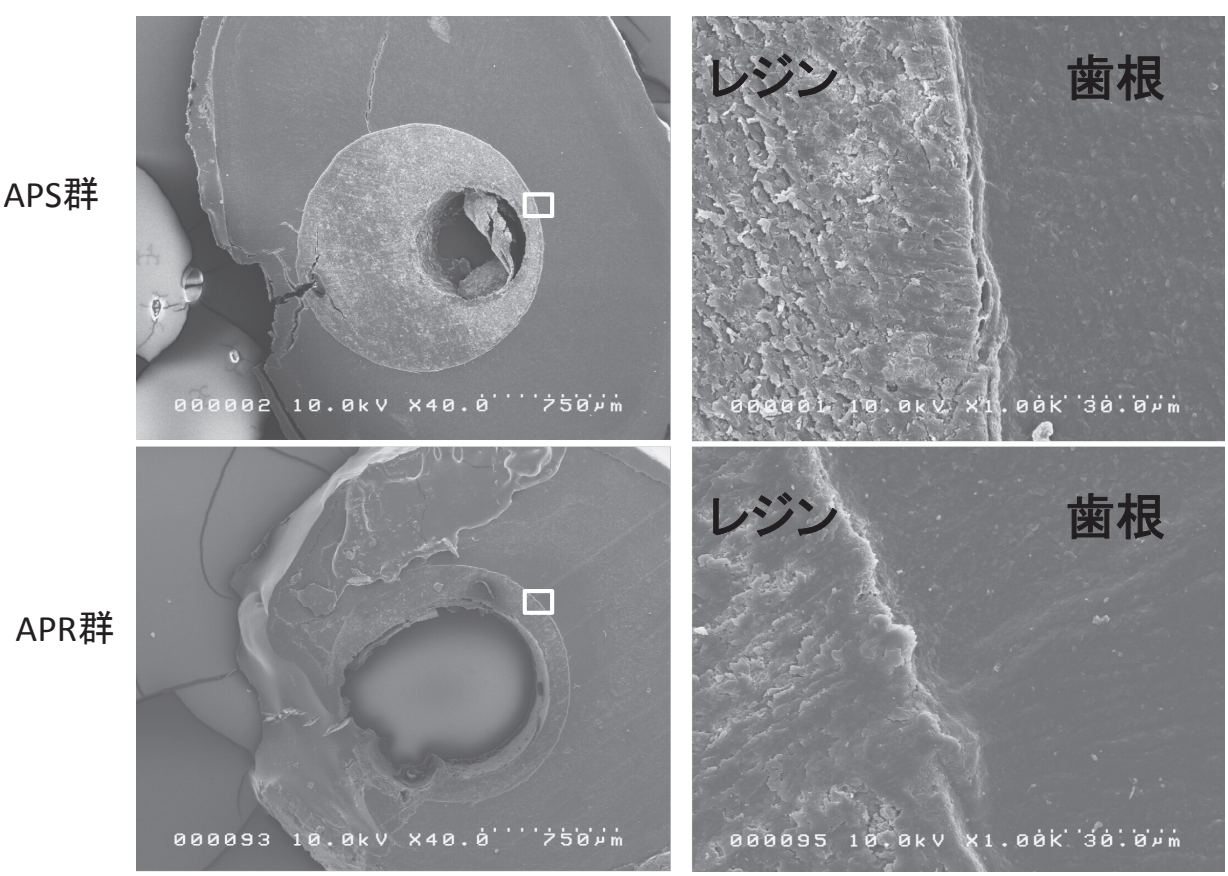

図３．APS群とAPR群のSEM像
APS群とAPR群は，大きな空隙があっても根管壁にはレジンが認められ空隙はない部分が多かった．

ラーの効果が期待される．しかし，シーラーが厚くなる部位では，根管充填時に気泡が混入しやすくなったり[20,21]，重合収縮により根管壁との間にギャップが生じたりしやすくなる[22]．さらに，乾燥が不十分な部位が生じて接着が障害される危険性があることから，本研究ではこれらの点について検討を行った．

根管の断面形態を規格化するために，根尖孔を#140まで根管形成を行った．予備実験として，根管形成のサイズを#50，#90，#140としてスーパーボンド根充シーラーのみで根管充填を行い，色素侵入試験を行った結果，根管のサイズに関わらず高い封鎖性を示したことから，本実験では根管形成のサイズを#140とした．

接着性レジンシーラーとして，スーパーボンド根充シーラー（SBS）とスーパーボンド混和ラジオペーク（SBR），リアルシールSEシーラー（RS）の３種を選んだ．SBSは，tri-n-butylborane（TBB）を重合触媒としているため，水分を含む根管壁側から重合が開始され[23]，重合収縮に伴う根管壁でのギャップ形成に対して有利な重合様式と思

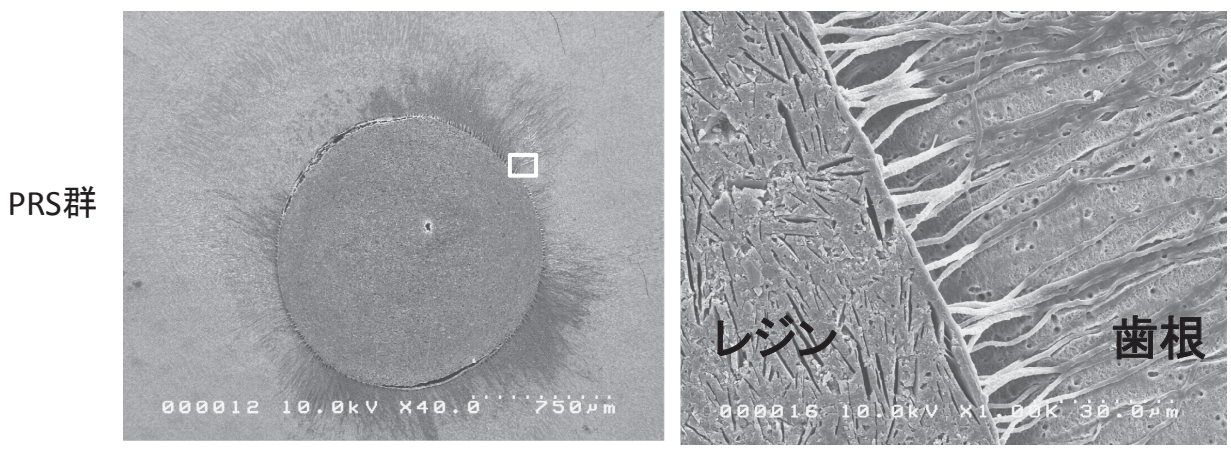

図４．PRS群のSEM像
PRS群の根管充填材と根管壁が接している部位では，界面にハイブリッド層と思われる層が形成されレジンタグが認められた．レジン内部には多数の亀裂も見られた．

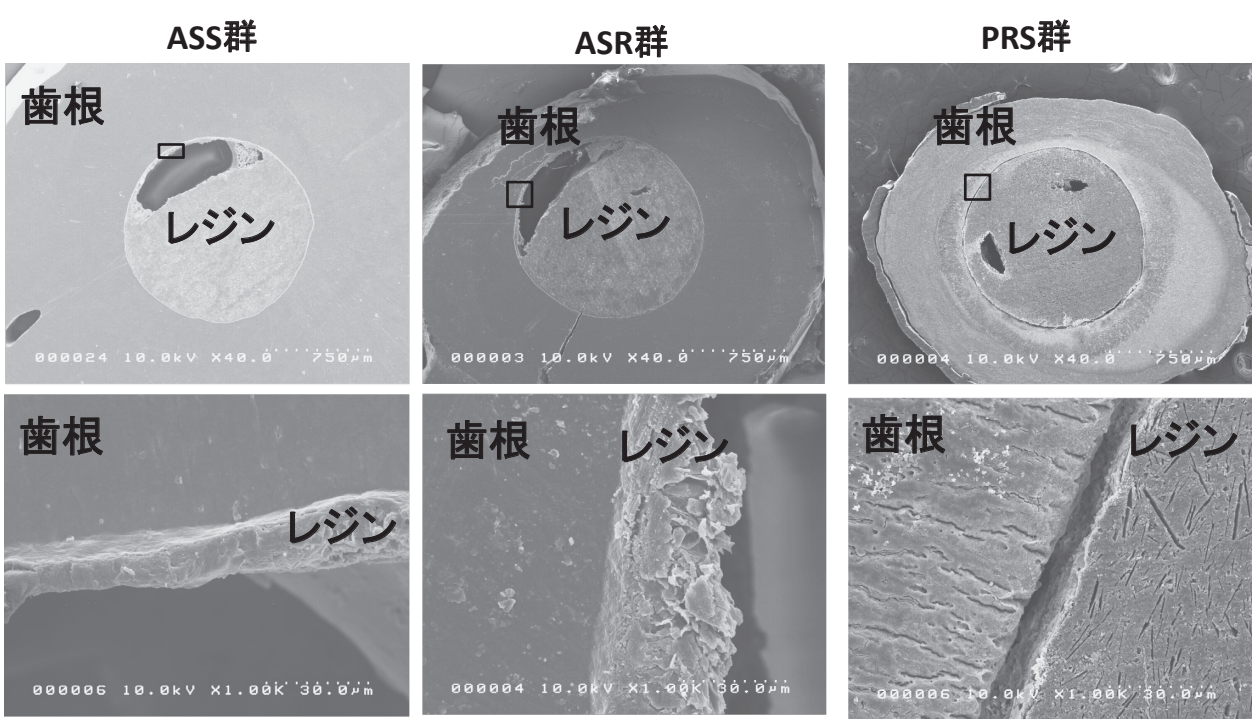

図５．ASS群とASR群，PRS群のSEM像
根管壁付近で空隙が生じている部位では，ASS群とASR群は根管壁に一層のレジンがみられるが，PRS群では間隙が生じてレジンタグがみられない部位が多かった．

われることから選択した．SBRは，根管充填用シーラーとして販売されているわけではないが，造影性を付与するための酸化ジルコニウムの含有量が少ないもののSBSと基本的な組成は同じであり，ポリマー粉末形態の違いから高い流動性があること，SBSは冷却したダッペンディッシュを使用して温度をコントロールしないと操作時間が確保できないが，SBRは常温で使用できること，硬化時間がSBSの約40分に対してSBRは約７分であることなどから，操作性に優れているため根管充填材として使用した．RSは高い封鎖性が報告されていること[24-26]，根管が太い場合にはミキシングチップから直接根管内に充填できること，セルフエッチングシステムで根管壁の水分を過剰に乾燥せずに接着すること，重合形式がデュアルキュアなため歯冠側部はすぐに重合が完了できることなどから，シーラーが厚くなる場合の根管充填材として高い封鎖性が期待できると考え選択した．

根管の乾燥方法は，エアードライとペーパーポイントの２つの方法を選んだ．一般に，接着性レジンを象牙質面に接着させる場合，ウェットボンディングシステムを除き，接着操作前に被着面の水分は十分に除去することが重要で[14-17]，気銃でエアードライが行われている．しかし，根管では強圧で乾燥すると気腫を作ったり根尖部から出血したりする危険性があることから，非接着性シーラーを用いる場合には，一般にペーパーポイントによる乾燥が行われている．しかし，接着性レジンシーラーを用いる場合には，根管が偏平でペーパーポイントが直接接しない根管壁では乾燥が不十分になって十分に接着しない危険性がある．一方，根管が太い場合には洗浄針をノズルの先端に取り付けることで，根尖部までエアードライが可能であることから，エアードライとペーパーポイントによる乾燥で比較を行った．

その結果，エアードライを行うと，SBS，SBRともに色素浸入距離は0.15mm以下，色素侵入率は２～４％程度と高い封鎖性を示したが，ペーパーポイント乾燥では，色素侵入距離はそれぞれ0.45mmと0.50mm，色素侵入率は16％と22％でエアードライに比べて高い値を示し，標準偏差も大きくなった．また，SEM観察では，いずれの乾燥方法でも接着している部分には界面にハイブリッド層が形成されていたが，象牙細管内のレジンタグはエアードライを行った方が長く形成されていた．このことから，ペーパーポイント乾燥では根管壁表面は接着可能なレベルに乾燥できている部分でも，象牙細管内には水分が残存していたために，エアードライに比べて象牙細管内へのレジンの侵入が短くなったと考えられ，エアードライの方がより確実な接着が得られると思われた．ペーパーポイント乾燥でも色素侵入は根尖孔から１mm以内であり，一般的に根管充填は根尖孔から0.5～１mm歯冠側まで行うとされていることから[18,19]，ペーパーポイント乾燥でも，臨床的には良好な予後が得られる可能性はあると考えられる．しかし，ペーパーポイント乾燥では色素侵入率にばらつきが大きく，接着が不十分な試料がみられたこと，SEMでもエアードライの方がレジンタグが長くより確実に接着していると考えられたことから，安定した成績を得るためにはエアードライの方が有利と思われた．

根管充填方法については，シリンジで根尖部まで充填する方法と，シリンジで充填後さらにガッタパーチャポイントでポンピングを加える方法を検討した．接着性レジンシーラーは温度によって重合速度が大きく左右されることから，室温や冷却したディッシュ上では操作時間は十分に設定されているものの，約37度の根管壁に触れると急速に重合が始まると考えられ，何度も追加充填すると気泡の混入や接着の障害になる可能性がある．予備実験で，レンツロやガッタパーチャポイントのポンピングでSBSを根尖方向に送り込む方法では，多量の気泡が混入されていたことから，短時間に十分な量を根管内に充填し，しかも最根尖側から歯冠側に向かって充填することが可能なシリンジによる充填法を行うこととした．さらに，シリンジで充填しても接着性レジンシーラーの混和時に混入する気泡や，シリンジ内に吸引する際に気泡が混入する可能性もあり，非接着性シーラーではポンピングを行うことが気泡の排出に有効とされていることから[17,18]，ガッタパーチャポイントを用いてポンピングを行った．

その結果，ポンピング操作を追加しても，SBRでは根管充足率にほとんど差はなく，SBSでは有意差は検出されなかったが86.5％から78.5％に低下した．すなわち，シリンジを用いてSBSを根管内に充填した後にポンピング操作を行うことは，むしろ気泡の混入を増加させる危険性があると考えられた．しかし，気泡の発生部位をみると根管壁では減少していて，レジン内部での気泡が増加していた．さらに，SEMでも気泡と根管壁との間には一層レジンが残存してハイブリッド層やレジンタグが認められる部位が多く，ポンピング操作は根管壁とレジンとの接着を破壊することはなく，気泡が混入した場合には根管壁全面にシーラーを塗付する効果があると考えられた．

実験２でSBSやSBRの内部に発生した空隙は，根管壁から重合が開始するため，重合収縮にともなってレジンが根管壁方向に引っ張られて発生する可能性と，レジンの混和時や充填時に混入した気泡が考えられる．実験１では，ほとんどの空隙がレジンと接着しないテフロンチューブと接着性レジンシーラーとの界面に見られ，レジン内部にはほとんど空隙がなかったことから，実験１で発生した空隙は混和や吸引に伴うものではなく重合収縮によるものが大部分であると考えられた．そこで実験１と２でSBSとSBRの充足率を比較すると，SBSは実験１では89.9％であったの

に対して実験２では78.5～86.5%，SBRはそれぞれ93.4%と90.4～90.7%であり，実験１に比較して実験２の方が空隙は大きく，しかも充填方法によっては空隙率が著しく高くなっていた．根管壁から重合が開始して重合収縮が根管壁側に向かって発生するために内部で空隙が発生するのであれば，実験１より空隙が大きくなることは考えにくいことから，実験１と２の空隙の差は根管内への充填時に生じるテクニカルエラーが大きな役割を果たしていると考えられた．

一方，リアルシールSEシーラーで根管充填したPRS群は，SBSやSBRを使用した群に比較して，色素侵入距離と色素侵入率は著しく大きかった．また，SEM観察で，SBSやSBRを使用した群は空隙が見られた試料でも根管壁にレジンの残存が見られたのに対して，RSでは根管壁とレジンの界面に間隙が生じているものが多かった．これは，SBSやSBRがTBBを重合触媒としているため，水分の多い根管壁から重合が開始され重合収縮によるギャップが生じにくいのに対して，RSではレジン全体で重合が始まるため，根管壁との界面に空隙が生じやすいためと考えらえた．

根管を接着性レジンシーラーで封鎖する場合，全周が被着面で囲まれているため空隙の発生に対する重合収縮の役割はきわめて大きいと考えられる[22]．しかし，実験１ではSBSはRSより寸法変化が大きかったのに対して，実験２では色素侵入はRSを用いた方が著しく大きな値を示した．したがって，根管の封鎖性は重合収縮量より重合様式の方が大きな影響を与えるものと考えられ，スーパーボンドが根管壁から重合が開始することが大きな利点になっていると思われた．

本研究結果により，太い根管でもスーパーボンド根充シーラーやスーパーボンド混和ラジオペークのみで根管充填することで，加圧することなく良好な封鎖性が期待できることが示された．このことは，ガッタパーチャで加圧根管充填するために根管に適切な形態を付与することが重要となっている現在の根管拡大形成の概念に，大きな変革をもたらす可能性を示すものである．

結　　論

#140まで拡大形成した根管を接着性レジンシーラーのみで根管充填を行い，色素侵入試験を行って封鎖性を検討するとともに，空隙の発生状態を調べた．その結果，以下の結論を得た．

１．スーパーボンド根充シーラーとスーパーボンド混和ラジオペークは，根管をエアードライしてもペーパーポイントで乾燥しても色素侵入に差はなかった．

２．スーパーボンド根充シーラーは，シリンジで充填後にポンピング操作を加えることで根管壁での空隙は減少した．

３．スーパーボンド根充シーラーとスーパーボンド混和ラジオペークは，間隙が根管壁ではなくレジン内部に生じることが多かったが，リアルシールSEシーラーは根管壁に発生することが多く，色素侵入も有意に大きかった．

４．根尖孔が大きな症例では，根管をエアードライしてスーパーボンド混和ラジオペークをシリンジで充填する方法が，確実に高い封鎖性を得る根管充填法になる可能性が示唆された．

謝　　辞

本稿を終えるにあたり，終始御指導，御助言頂きました北海道大学大学院歯学研究科口腔健康科学講座歯周・歯内療法学教室の教室員の皆様に心より感謝いたします．

参 考 文 献

１）興地隆史：歯内療法の争点―難治性根尖性歯周炎の病因と臨床―．新潟歯学誌，36：1-15，2006.

２）勝海一郎：根管充填を再考する．日歯保存誌　51：587-592，2008.

３）石村　瞳，吉岡隆知，須田英明：接着性根管充填材のコロナルリーケージに関する評価．日歯保存誌，52：131-137，2009.

４）Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM : A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. J Endod 17 : 495-499, 1991.

５）Wu MK，Ozok AR，Wesselink PR : Sealer distribution in root canals obuturated by three techniques. Int Endod J 33 : 340-345, 2000.

６）馬場忠彦，藤田　有，堀　良之，逸見浩史，曽　維平，戸田忠夫：試作レジン系根管用シーラーの封鎖性に対する根管清掃法の影響．日歯保存誌　46：382-390，2003.

７）Economides N, Kokorikos I, Kolokouris I, Panagiotis B, Gogos C : Comparative study of apical sealing ability of a new resin-based root canal sealer. J Endod 30 : 403-405, 2004.

８）Ishimura H, Yoshioka T, Suda H : Sealing ability of new adhesive root canal filling materials measured by new dye penetration method. Dent Mater J 26 : 290-295, 2007.

９）市村賢二，須田光昭，乾はな子，福岡陽子：接着性シーラーの封鎖性について．日歯内療誌　28：87-91，2007.

10）平嶺倫子，大浜美穂，徳永幸世，秋山勝彦，三橋 晃，永井旺介，石井信之：加熱軟化根管充填 Obtura II におけるガッタパーチャと接着性レジン系シーラーの根

尖封鎖性に関する研究．日歯内療誌 31：229-234, 2010.
11）石村 瞳，坂上 斉，花田隆周，吉岡隆知，須田英明：レジン系根管充填用シーラー（MetaSEAL™）の根管封鎖性に影響する因子について．日歯保存誌 53：159-165，2010.
12）小里達也，藤田 光，関根哲子，川島 正，辻本恭久，松島 潔，池見宅司：接着性レジン系ルートキャナルシーラーの接着性評価．日歯保存誌，53：534-543，2010.
13）三上大輔，菅谷 勉，川村直人，川浪雅光：根管充填法の違いが根尖孔の大きい根管の封鎖性に及ぼす影響．北歯学誌 32：124-134，2012.
14）上田裕彦：口腔内環境における接着性レジンセメントおよびレジン強化型グラスアイオノマーセメントの象牙質に対する接着強さについて．歯科医学 59：24-26，1996.
15）千葉康史，坪田圭司，浅賀庸平，高見澤俊樹，黒川弘康，陸田明智，宮崎真至，安藤 進，藤本善裕：被着面の湿潤状態がレジン系セメントの象牙質接着性に及ぼす影響．接着歯学 23：105-109，2005.
16）Chiba Y, Rikuta A, Yasuda Genta, Yamamoto A, Takamizawa T, Kurokawa H, Ando S, Miyazaki M: Influence of moisture conditions on dentin bond strength of single-step self-etch adhesive systems. J Oral Scie 48 : 131-137, 2006.
17）Hashimoto M, Fujita S, Endo K, Ohno H: Effect of dentinal water on bonding of self-etching adhesives. Dent Mat J 28 : 634-641, 2009.
18）加藤 熙：歯学生のための歯内療法学．218-221，医歯薬出版，東京，2000.
19）勝海一郎：第15章 根管充填．240-258，須田英明，中村 洋編：エンドドンティックス 第３版．永末書店，京都，2010.
20）坂上 斉，吉岡俊彦，須藤 享，花田隆周，石村 瞳，吉岡隆知，須田英明：接着性材料を用いた根管充填の内部に発生した空隙の評価．日歯保存誌 53，376-383，2010.
21）Anbu R, Nandini S, Velmurugan N: Volumetric analysis of root fillings using spiral computed tomography: an in vitro study. Int Endod J. 43 : 64-68, 2010.
22）Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH: Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. J Endod 31 : 584-9, 2005.
23）今井庸二：歯科におけるトリブチルボランを重合開始剤とするMMAレジンに関する研究．生体材料工学研報．37：4-15，2003.
24）Shipper G, Ørstavik D, Teixeira FB, Trope M, : An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). J Endod 30 : 342-347, 2004.
25）Nielsen BA, Baumgartner JC. Spreader penetration during lateral compaction of resilon and gutta-percha. J Endod 32 : 52-54, 2006.
26）Maltezos C, Glickman GN, Ezzo P, He J. Comparison of the sealing of Resilon, Pro Root MTA, and Super-EBA as root-end filling materials: a bacterial leakage study. J Endod 32 : 324-327, 2006.

ORIGINAL

Apical sealing with different resin sealers and filling techniques.

Atsushi Nakazawa, Tsutomu Sugaya and Masamitsu Kawanami

ABSTRACT : Using adhesive resin sealers has been reported to be effective in cases of the flattened root canals with widened apical foramen. However, the sealability of the foramen can decrease due to curing shrinkage of resin sealers, air bubbles, the wet conditions of the root canal, etc. We examined apical sealing with different drying and filling methods, and different adhesive sealers in the root canals with widened apical foramen. Experiment I: Teflon-tubes with an internal diameter of 1.4mm, which were not bonded with adhesive sealer, were filled with Super bond canal sealer for group SBS, Super bond immixture radiopaque for group SBR, or Real seal SE sealer for group RS. After the setting of the sealers, these tubes were crossed with 0.5mm intervals. The fill-rates of the sealers, the areas of bubbles in contact with inside wall of the tube and of bubbles inside of sealer, were measured on each cross section. As a result, SBS showed significantly larger rates of areas of bubbles than RS. Experiment II: The influence of types of adhesive sealers, drying methods, and sealing methods on apical sealability was investigated in the root canals with apical foramen widened to 1.4mm in diameter. After drying the root canal with air or paper point, SBS, SBR or RS was filled into the canals using a micro syringe with or without concurrent pumping with a gutta-percha point. As a result, there were no significant differences between SBS and SBR. Dye leakage lengths of SBS and SBR were less than 0.5mm, and the dye leakage rates were around 1% regardless of drying or sealing methods. On the other hand, the dye penetration length of RS was 1.3mm, and the dye penetration rate was 75%, which were significantly different from those of SBS and SBR. At the dentin-sealer interface of SBR specimens, resin tug formation was the most distinctly observed by SEM. According to the above results, for the best stable sealing of the flattened root canal with widened apical foramen with adhesive resin sealers, it is suggested that after air drying of the canal, SBR should be filled with syringe.

Key Words : chemical enlargement of root canal, Super bond RC sealer, apical sealing, bond strength

Department of Periodontology and Endodontology, Division of Oral Health Science, Hokkaido University Graduate School of Dental Medicine (Prof. Masamitsu Kawanami) Kita 13 nishi7, kita-ku, Sapporo, 060-8586, Japan