

歯根保全のための支台構造に関する研究 —歯根破折におけるポスト材の形状と弾性係数の影響—

菊井 徹哉 山崎 崇秀 田中 梨恵
昆野加奈子 山田 嘉重

Influence of Shape or Elastic Modulus of Post Materials on Flexural Strength of Abutment Construction to Preserve Root of Endodontically Treated Teeth

Tetsuya KIKIU, Takahide YAMAZAKI, Rie TANAKA
Kanakano KONNO and Yoshishige YAMADA

Purpose : The aim of this study was to evaluate the influence of shape and elastic modulus of posts on the flexural resistance of abutments for endodontically treated teeth.

Methods : The crowns of 40 extracted human maxilla premolars and canines were used in this study, and randomly divided into 4 groups. The posts used in this study were stainless post (ST), experimental fiber-reinforced plastic post (FRP), experimental tapered NiTi post (NiTi) and tapered polypropylene point (PP). Specimens were stored in distilled water for 24 hours at 37°C. Static compression load was applied in the bucco-palatinal direction of the specimen until failure at a crosshead speed of 0.5 mm/min at 45 degrees to the long axis of the root. Calculated flexural strength from the failure load and significant difference of strength among the 4 groups were determined by Kruskal-Wallis test ($P<0.05$).

Results : Failures were detected at the rein-dentin interface in all specimens, and combination failure involving root fracture was mostly observed in ST and FRP, while in NiTi and PP failure occurred mostly at the resin-dentin interface. The means of flexural strength of each post were as follows : ST= 3.26 ± 4.7 , FRP= 24.50 ± 5.76 , NiTi= 21.81 ± 3.36 and PP= 11.21 ± 6.32 (MPa). The value for ST was significantly greater than the others, and there was no significant difference between FRP and NiTi. The correlation between flexural strength and adhesive area of root was not significant, and flexural strength was influenced not by the adhesion area of root but by the elastic modulus of each post.

Conclusion : FRP caused root fracture in all specimens, and cracks were generated along the long axis of the root at the post portion. This failure mode may be impossible to repair when using FRP, with a greater elastic modulus than dentin. The flexural

strength of NiTi compares favorably to that of FRP. NiTi was useable as a post material, even though its diameter was smaller than that of FRP. Tapered NiTi post was effective for the preservation of root via its shape and elastic modulus.

Key words : FRP post, Tapered NiTi post, Flexural strength, Root preservation, shape of post, elastic modulus of post

緒言

齶蝕により歯冠歯質を失った歯の機能回復には、鑄造合釘による支台築造法が広く行われてきたが、ポストに用いられる歯科用合金の弾性係数 (100~200 G Pa) は象牙質 (12~13GPa)¹⁾ より大きく、支台歯に作用する咬合力により歯根破折が惹起されて歯の喪失原因の一因となっている。鑄造合釘による歯根破折の発生率は年率で支台処置歯の20~30%とされ²⁾、その予防法を探るために歯根破折メカニズムの解明³⁾ や有限要素法による応力解析³⁻⁶⁾ による再評価において、1950年代に確立した支台築造法の再検討が行われている^{7,8)}。

歯冠修復は1980年代からのコンポジットレジンならびに歯質接着材の改良により、従来金属材料が適応された領域は可能な限りコンポジットレジンに置き換えられ、支台築造に関してもコンポジットレジンと金属ポストの併用による支台築造が行われている⁹⁻¹¹⁾。間接法に比較して直接法のレジンコアは歯質切削量を低減でき歯根の脆弱化を回避できる。しかし、補強用金属ピンは光透過性がなく、歯質やコンポジットレジンよりも弾性係数ならびに熱膨張係数が大きいためレジンとの接着界面に剥離を生じ、レジンの吸水により腐食・変色して審美性を十分回復できなかった。

これらを改善するために1988年に炭素繊維を応用した繊維強化プラスチック (FRP) ポストが開発された^{12,13)}。その後、色調の問題からガラス繊維に変更されて臨床に应用されている。市販されている FRP ポストは曲げ弾性係数が14~140GPa と幅があるため歯根保護性には差があると考えられる^{14,15)}。また、形状は金属ポストに類似するためポスト周囲に応力集中を生じ歯根破折を招く可能性がある¹⁾。歯根保護においてはポストの弾性係数を歯質に近づけることに加えて形状の改変も寄与すると考えられる。

本研究では、ポスト材の形状と弾性係数の歯根破折への影響について比較検討した。

材料および方法

1. 材 料

冷蔵保存されたヒト抜去歯40本 (上顎犬歯20本、小臼歯20本) を用いた。ポスト材には試作 FRP ポスト (以下 FRP, ガラス繊維+ポリエステル樹脂, 日本特殊塗料, ϕ = 約1.8mm), 試作 NiTi ポスト (以下 NiTi, スプレッダー・ウルトラ #25 を応用, YDM) を製作。また、既製ステンレスポスト (以下 ST, RTP ポストステンレス, ϕ = 1.8mm, デンテック) を陽性対照, ポリプロピレンポイント (以下 PP, FLEXPPOINT NEO #40, ネオ製薬工業) を陰性対照とした (Table 1)。支台用材料には象牙質接着性に優れる Mega BOND と歯冠修復用レジン Clearfil AP-X (以下 CR, クラレ)¹⁶⁾ を用いた。本研究は奥羽大学倫理審査委員会の承認を得た (承認番号115)。

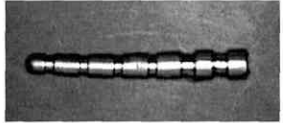
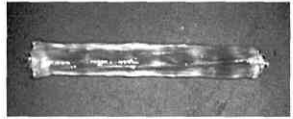
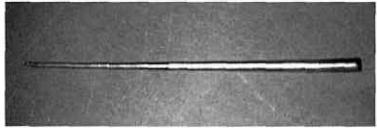
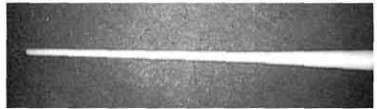
2. 試作ポストの製作方法および物性

試作 FRP ポストはグラスファイバー (ϕ = 10 μ m) を束ねてパストールピペット先端部に通し、ポリエステル樹脂 (FRP 手積用ポリエステル樹脂, 日本特殊塗料) を塗布しながら引き出し、常温で72時間硬化させて製作した。試作 FRP ポストには約4200本のグラスファイバーを封入した (Fig. 1)。試作 FRP ポストの曲げ弾性係数は31.5GPa, 曲げ強さは506.0MPa であった。なお、試作 NiTi ポストは曲げ弾性係数7.8~9.8GPa, 曲げ強さ1175~1370MPa で曲げ強さに優れている (Table 2)。

3. 支台築造の構造

ヒト抜歯歯冠をエナメル・セメント境で切断・根管内容物を除去した。任意の犬歯5本, 小臼歯5本の計10本を1つの支台様式として4群に分け、ポスト形状により継続型と一貫型の2様式と

Table 1 Materials

Human dental root	upper 20 premolars and 20 canines (cold storage, removed crown)	
Materials for core	Composite resin : Clearfil AP-X, Adhesive system : Mega BOND (CRALY)	
Cementing materials for post	Glass-ionomer cement sealer for root canal filling (Ketac molar Aplicap, ESPE)	
	Resin modified glass-ionomer cement (Fuji Lute, GC)	
Post materials		
Stainless post (ST) (as a positive control)	$\phi = 1.8\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$, L=13mm (RTP, DENTEC, Japan)	
Experimental fiber reinforced plastic post (FRP)	Glass fiber + polyester, $\phi = 1.8\text{mm}$, L=15mm (Nihonn tokusyu toryou, Japan)	
Experimental tapered NiTi post (NiTi)	Applied "Spreader Ultra 0.25S", $\phi = 250\ \mu\text{m} \sim 900\ \mu\text{m}$, L=15mm (YDM, Japan)	
Tapered polypropylene post (PP) (as a negative control)	FLEXPOINT NEO #40 (Neo dental, Japan)	

した。継続型ポスト群 (ST および FRP) では通常により根管形成・充填を行い, ポストホールをオットレンギリーマー #3 を用いて長さ 8 mm に形成^{17,18)}し, ポストをレジン添加型ガラスアイオノマーセメント (Fuji Lute (GC), 化学硬化型)^{19,20)}を用いて着合した。また, 一貫型ポスト群 (NiTi および PP, 歯冠側から根尖孔方向にテーパのある形態) では #40 のリーマーにより最終的な根管形成を行い, 根管充填用ガラスアイオノマーセメント (Ketac molar Aplicap, ESPE) でポストを根管に直接着合した。双方ともにコア部分は CR を根面より 6 mm 程度築盛した (Fig. 2)。

4. 支台歯の抗折試験

各構造に調整された支台歯は 37°C 蒸留水中に 24 時間浸漬して抗折試験に供した。各支台歯をコア・歯質の接合部から約 2 mm 下方部までアルミニウム管内に常温重合レジン (トレーレジン II, GC) で埋入して試験体とした。試験体を水平面に対し 45° の傾き^{18,21)}で測定用ジグに固定し, 頬-口蓋方向に cross head speed = 5 mm/min で破折まで荷重した (万能試験機 AG-10kNE, 島津製作所) (Fig. 3)。根面接着面積の近似値を $(2 \times \pi ((\text{根面の長径} + \text{短径})/2)^2)$ とし, 抗折強さ $(8 \times \text{実効荷重} \times \text{支台歯長}) / (8\pi \times \text{歯根長径}^3)$, (実効

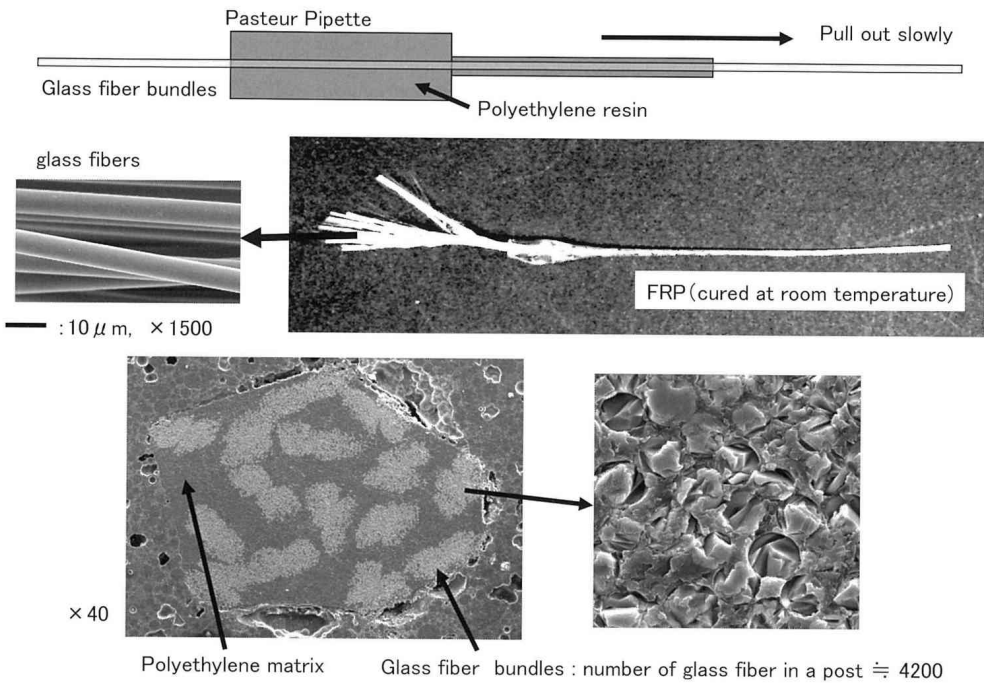


Fig. 1 Fabrication of Experimental Fiber Reinforced Post (FRP)

Table 2 Property of post materials and dentin

Elastic modulus of dentin ¹⁾	12~13 (GPa)	
Commercial fiber posts ¹⁵⁾	Flexural elastic modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)
C-post/Composipost	120~140	1500~1700
Light-post	44	1600
Aestheti-plus post	44	1600
FibreKor	29.2	990
ParaPost Fiberwhite	29.2	990
Snowlight	16	1543
Snowpost	14	1426
Experimental posts		
Experimental FRP post	31.53	506.04
Experimental NiTi post	7.8~9.8	1175~1370

荷重=破壊荷重×sin(45°))を求めた²²⁾。

5. 統計学的分析

各支台構造の抗折強さを Kruskal-wallis 検定

により危険率5%にて多重比較により有意差を檢定した。また、試験体の破折様相を実体顕微鏡ならびにX線写真により観察し比較した。

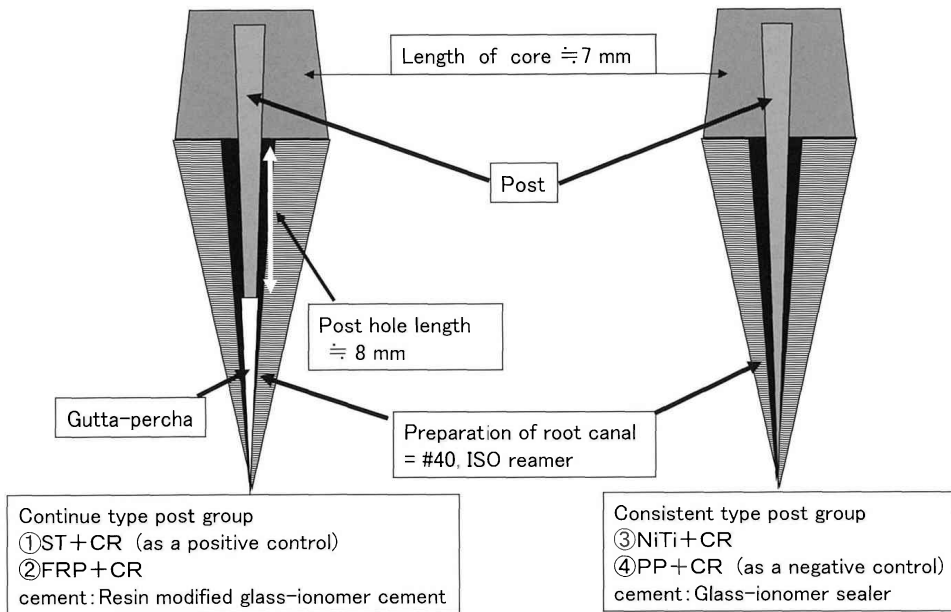


Fig. 2 Schematic illustration of structure of abutment teeth

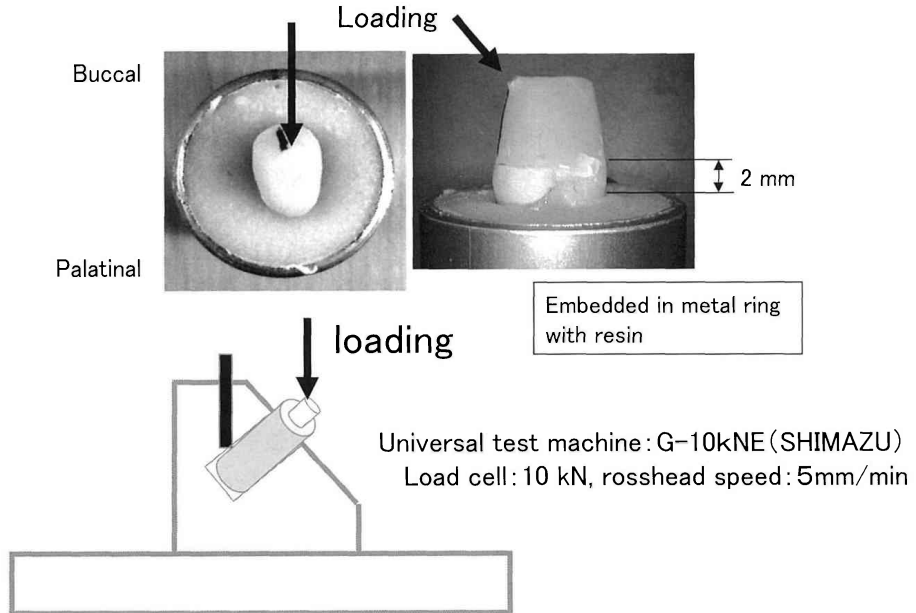


Fig. 3 Illustration of flexural strength test setup and specimen preparation

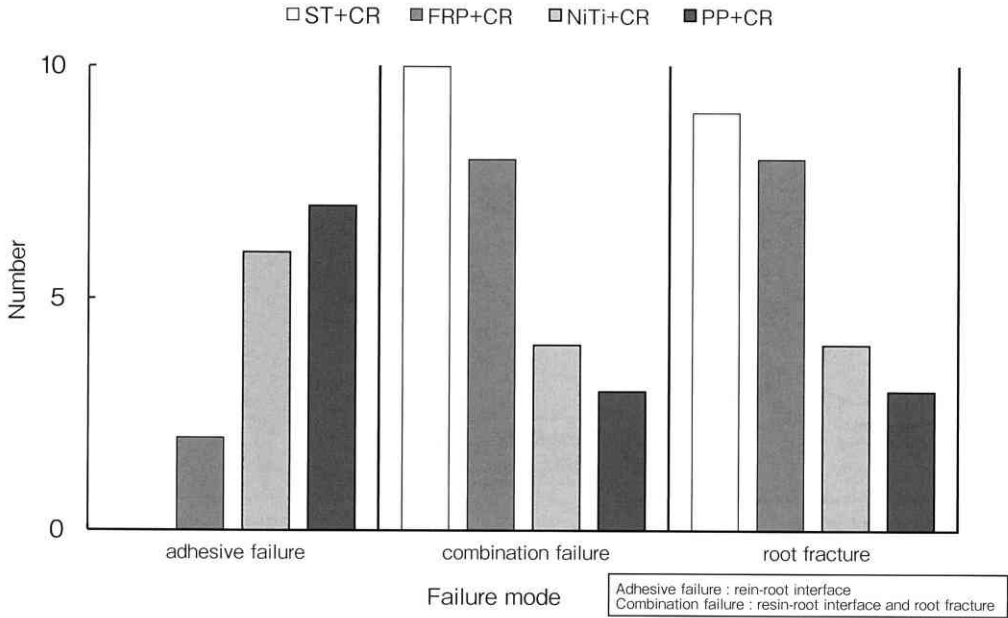


Fig. 4 Number of failure mode of each abutment (n=10)

結 果

1. 支台構造と破壊様式の違い

堅固なポスト (ST, FRP) ではレジン・歯根接着界面の破壊に歯根破折を伴う混合破壊が多く、柔軟なポスト (NiTi, PP) ではレジン・根接着面での界面破壊が多く観察された (Fig. 4)。ST+CR では10例全てが混合破壊であり、うち9例に歯根破折が認められた (Fig. 5)。試作 FRP+CR では2/10例が界面破壊、8/10例に歯根亀裂を伴う混合破壊を生じ、うち1例に歯根の凝集破壊が観察された (Fig. 6)。試作 NiTi+CR では6/10例が界面破壊、4/10例が混合破壊で根に亀裂を生じた (Fig. 7)。PP+CR では界面破壊が7/10例、混合破壊が3/10例であった。ポストの強さが低い PP+CR での混合破壊は界面破壊に付随した小規模の歯根外側部破折であった (Fig. 8)。エックス線所見では歯根破折はいずれも力点から反対側根面に斜めに生じ、歯根のレジン埋入部付近において水平方向に変化して浅く破折していた。亀裂はレジン・歯根接着界面で発生してポスト挿

入部位に一致して歯軸方向に亀裂伝搬を生じていた。

2. 各支台における抗折強さと有効根面接着面積との相関性

各支台歯の抗折強さは ST+CR : 33.26 ± 4.70 , FRP+CR : 24.50 ± 5.76 , NiTi+CR : 21.81 ± 3.36 , PP+CR : 11.21 ± 6.32 (MPa) であった。ポストの弾性係数の大きさに順じて抗折強さは ST+CR > FR+CR, また、NiTi+CR > PP+CR で有意に大きい。FRP+CR と NiTi+CR の間に有意差を認めなかった (Table 3, fig. 9, $P < 0.05$)。PP+CR に対する補強率は ST で3倍、FRP および NiTi では約2倍であった (fig. 9)。根面接着面積と抗折強さとの関係では NiTi+CR にやや関連性があるが、いずれの支台様式においても相関性は非常に弱く、抗折強さの大小はポストの弾性係数が影響していた (Fig. 10)。

考 察

鑄造ポストの保持はポストのテーパー、根管壁への適合性、特に根管長に対するポストの長さの

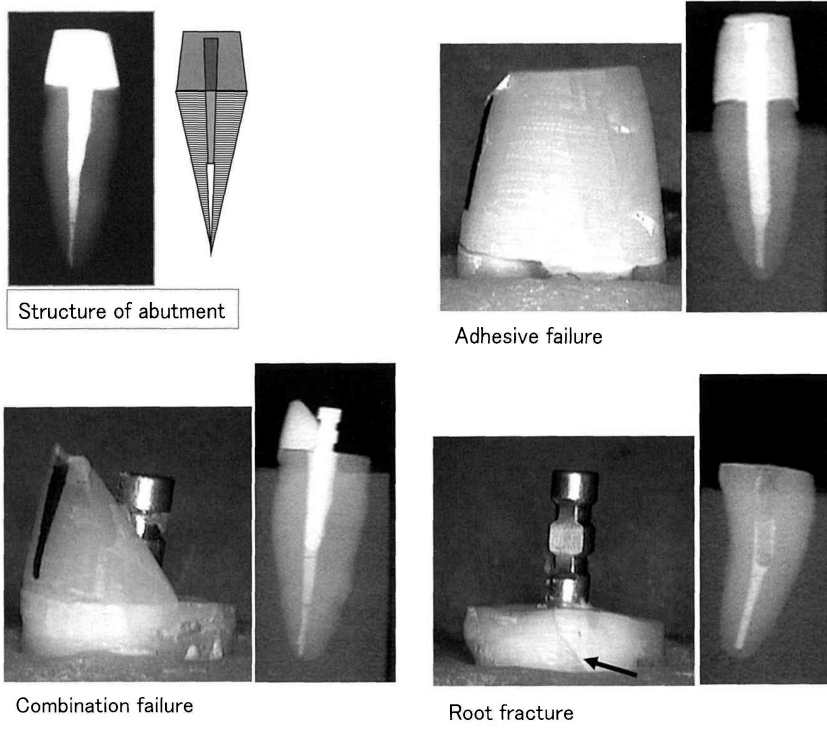


Fig. 5 Fracture mode of ST+CR abutment

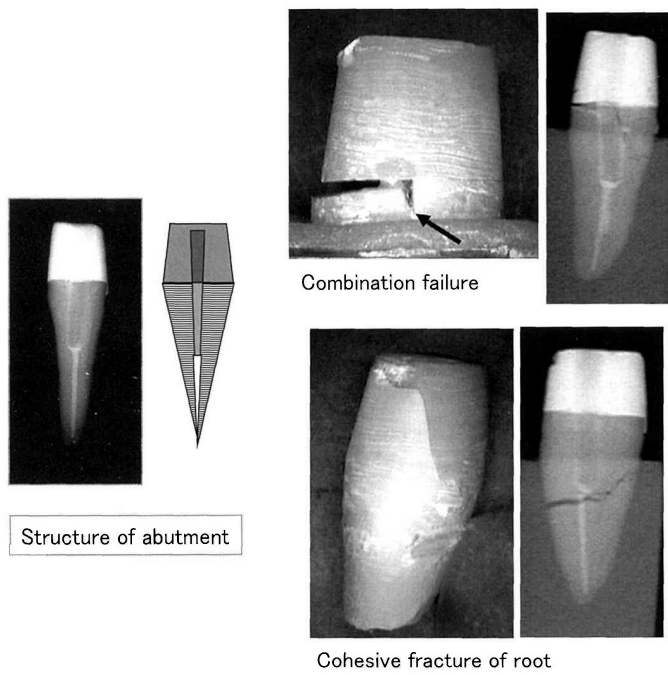


Fig. 6 Fracture mode of FRP+CR abutment

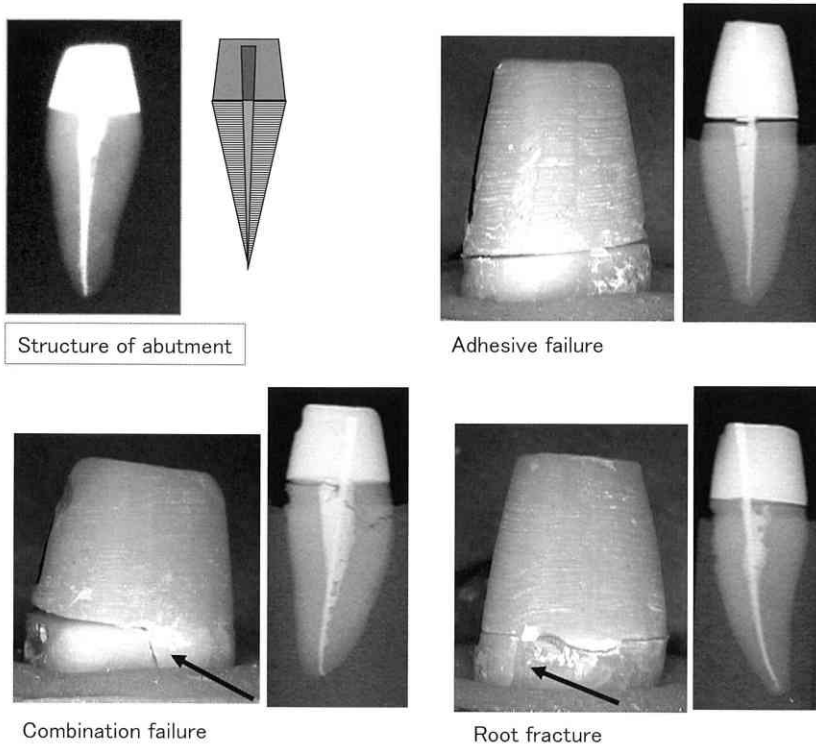


Fig. 7 Fracture mode of NiTi+CR abutment

影響が大きい¹⁷⁾とされるため歯根長の2/3を基準としてポストホール形成が行われてきた。鳩山ら²³⁾のポスト周囲の光弾性試験ではポストが長いほど歯根にかかる応力が小さいと報告されているが、根管長は犬歯を除くと11~13mm、根尖孔の封鎖確保に必要な根管充填材を5mm程度残すと形成可能なポスト長は7~9mmと報告されている¹⁷⁾。また、支台歯の歯根破折の発生はポスト材の弾性係数^{1,6)}と共に残存歯質に左右される²⁴⁾。病的歯質のみ除去して歯冠修復する“Minimal intervention 概念”は歯根破折防止にも有効と考えられることから、本研究では小口径テーパードポストによる支台築造を検討した。

1. 支台歯の抗折強さ

咀嚼による咬合力は前歯部で15~20kgf、小白歯部で20~30kgf、大白歯部で30~60kgfとされ²⁵⁾、力は咬合面や根の形状、歯根膜によって緩衝されるが瞬間的にはより大きな力が歯に加わる。咀嚼

は主に臼歯で行うが、実験の単純化のために単根歯の上顎犬歯および小白歯を用いた。小白歯歯根は頬舌的に長楕円形でありこの方向に歯質が厚く抵抗性があると考えられるが、応力解析では頬舌方向に破折しやすいことが示されている²⁶⁾。本実験でのポストホールは平均で太さ2.3mm、長さ8mm、支台築造用コンポジットレジンが接着する平均根面接着面積は31.26mm²、根管口部の歯質厚さは平均2.21mmである (Table 3)。咀嚼運動時に歯に作用する力の方向は複雑に変化するが、本実験では根の頬舌方向、水平面に対して45°で静的に荷重して破壊試験 (抗折強さ) を行った。

1) 継続型ポスト支台について

FRP+CRの抗折強さ (24.50±5.76 MPa) は弾性係数の大きいST+CRに比較して有意に小さいが、FRPポストにおいても浅い歯根破壊を伴う混合破壊が多く観察された。FRPは市販ファイバーポスト¹⁵⁾の中間程度の物性を示しているが、

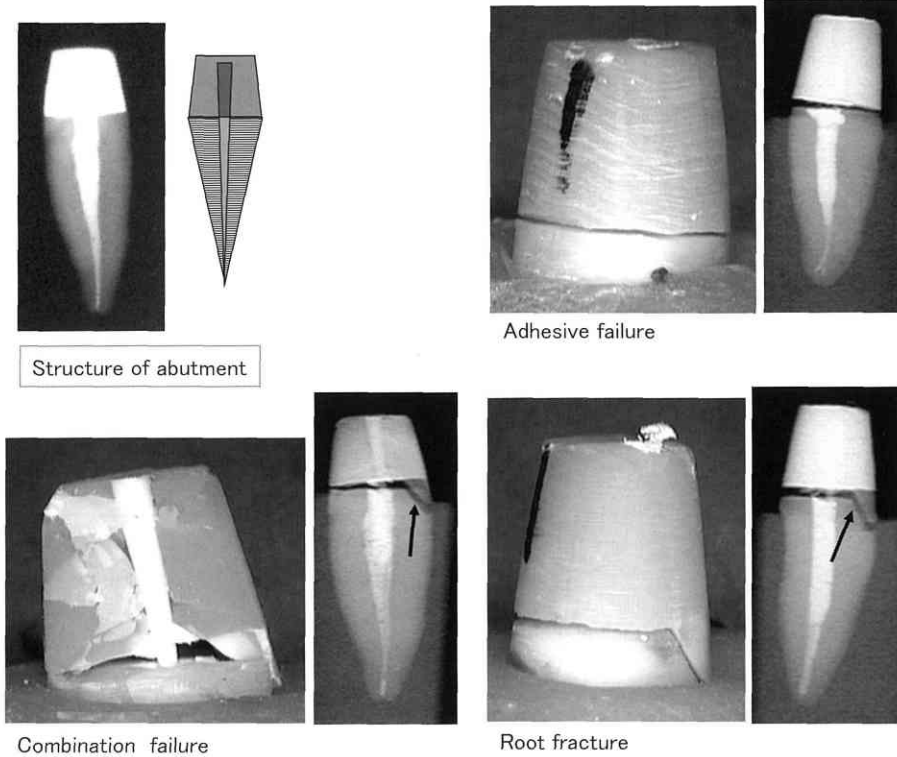


Fig. 8 Fracture mode of PP+CR abutment

弾性率（曲げ弾性係数）が象牙質より大きい場合は歯根破壊を生じることが示された。FRP+CRはポストが根管壁に比較的密着しているため根管口部の応力集中により亀裂を生じたと考えられる。本実験と同様に橋本ら²⁴⁾の既製金属ポストを用いた実験において、ポストがレジジン中に浮いた状態に比較して根管壁に接している場合に歯根破壊が大きい傾向が示されている。また、金属ポストとファイバーポストにおいて有限要素法により歯根部歯質の応力分布を比較した岡本ら⁹⁾の結果では、金属ポストは厚い歯根壁では根管口部に引張応力、ポスト先端部に剪断応力を生じ、薄い根管壁では根尖部に引張応力ならびに剪断応力の双方の発生が示されている。一方、ファイバーポストでは歯根壁の厚さに無関係に根管口部に引張応力ならびに剪断応力が生じることが示されている。これはポストの撓みによる影響でありファイバーポストで破折線が比較的浅くなる要因であると報告され

ている²⁶⁾。ファイバーポストの太さによる保持力を比較したJohnら²⁷⁾の実験では直径1.00mmよりも1.25mmで有意に保持力が大きく、ファイバーポストの表面積増加による合着材との接着強さの増加が関係すると報告している。本実験でのFRPは直径が1.8mmで接着面積は大きいが撓みが小さいため根管口部に応力が集中して亀裂を生じたと考えられる (Fig. 6)。継続型ポストで歯根保護を図るには可及的に長いポストを適応して応力を分散することが望ましい^{1,28)}とされているが、再治療において長い金属製ポストの除去は根管壁穿孔の危険を伴い困難である。再根管治療の便宜のためには、より除去が容易なポストが望まれる。

2) 一貫型ポスト支台について

試作 NiTi 合金製テーパードポストは小口径で弾性的性質に優れるため根尖付近までのポスト長を確保できる。また、ポストホール形成に伴う根

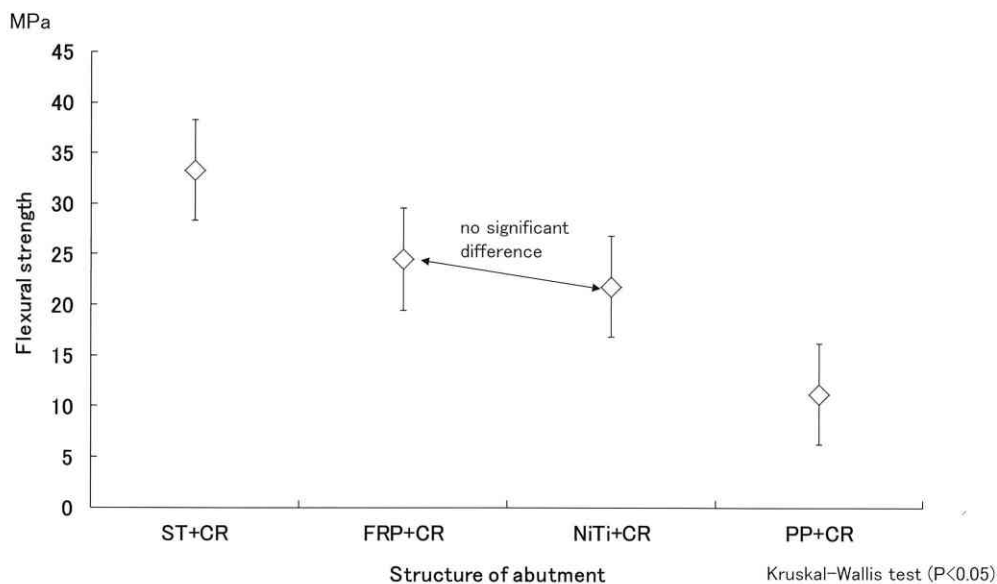


Fig. 9 Flexural strength of each abutment

Table 3 Flexural strength and condition of abutments

(Mean ± S.D., n=10)

Structure of abutment	Diameter of post hole at root surface (mm)	Height of abutment (mm)	Adhesive area of root surface (mm ²)	Failure load (N/mm ²)	Flexural strength (MPa)
ST+CR	2.20±0.35	7.21±0.52	29.90±4.67	715.18±127.52	33.26±4.70
FRP+CR	2.01±0.02	7.80±0.71	30.51±3.77	477.40±188.19	24.50±5.76
NiTi+CR	2.60±0.46	7.52±0.98	33.60±4.56	462.38±274.67	21.49±3.36
PP+CR	2.30±0.42	6.66±0.48	31.01±8.24	297.99±216.66	11.21±6.32

管壁切削は歯髄あるいは感染歯質除去に必要な最小限に止めることができる。支台歯における歯根保護として、コア脱落時に接合界面で剥離しポストが引き抜けるように構造を計画した。根管歯質・合着材およびポスト相互の接着強さの調整として、NiTi ポストは根管充填用グラスアイオノマーセメントを用いた。一方、RFP ではより強い接着性のあるレジン添加型グラスアイオノマーセメント²⁰⁾を用いて抗折強さを比較した。抗折強さはFRP ポスト (24.50±5.76 MPa) に比較してNiTi ポストはやや小さい (21.81±3.36 MPa) が有意差は認

められずポスト材として有効であった (Fig. 9)。金属ポストを用いた Trabert らの実験²⁹⁾においてもポスト径の大きさは支台歯の抗折強さに寄与しないと報告されている。PP+CR 支台ではPPにセメントは接着しないため根管歯質とコンポジットレジンの接着強さである。

2. 歯根破折の様相

本実験の試験体はレジン包埋材で直接支持され根の拘束性が高いため根管口部に生じた亀裂はレジン埋入部付近で水平に変化したと考えられる (Fig. 5~8)。長田ら¹⁸⁾も支台歯の亀裂は築造体・

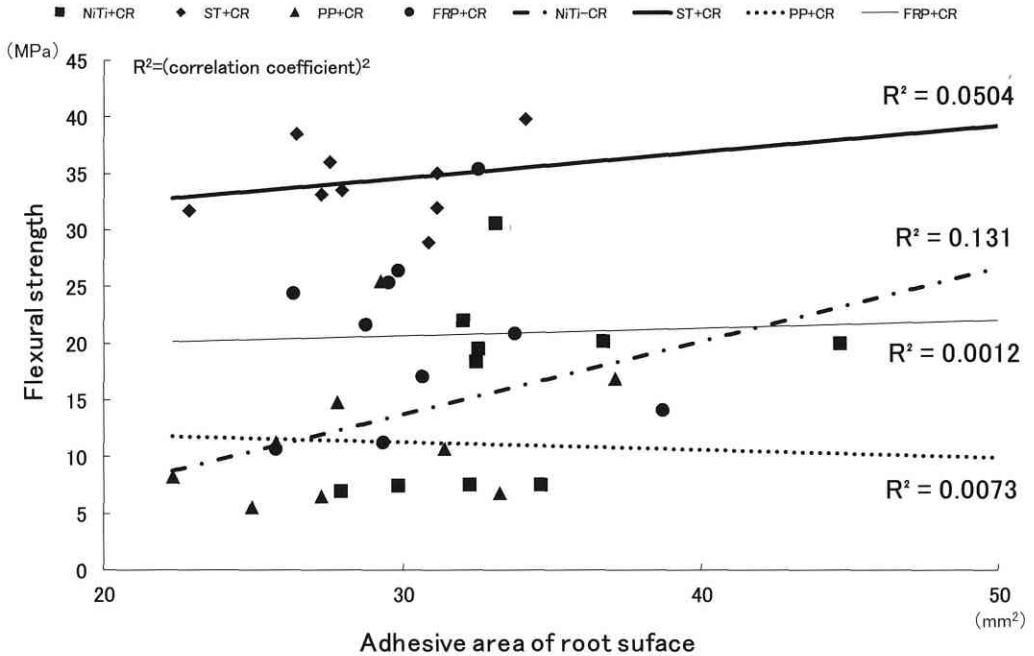


Fig. 10 Correlation between adhesive area and flexural strength

歯根界面から進展して歯根破壊に至ったと報告している。生体では外力は歯根膜で緩衝されるが、歯根表面の拘束が弱くなるため根尖方向に亀裂進展しやすいと考えられる。

1) 継続型ポストについて

FRP+CRの弾性係数は象牙質の約2倍であるが、破壊はCR・根接着界面で生じ、ポスト部分で垂直性に変化し根の破折を誘発していた。また、1例歯根中央部での破折が観察されたが、この試験体は埋入深度がやや浅くCR・根面接着が良好で、界面破壊を生じずに根の凝集破壊（横破折）に至ったと考えられる（Fig. 6）。生体において歯槽骨が減少している場合には根の横破折を生じる可能性が示唆された。

2) 一貫型ポストについて

NiTi+CRではレジン・根接着界面の破壊が多く、一部に混合破壊が観察された。テーパードNiTiポストは根尖部では直接根管壁に接している（Fig. 7）が、接着強さが弱いためにポストが引き抜けて大きな歯根損傷を回避できたと考えら

れる。また、NiTiポストは引き抜きにも耐える物性を有し、先端部分で断裂する可能性が小さく除去も容易である。一貫型ポストは継続型ポストに比較して根管口部の漏斗状拡大による根の脆弱化を回避し、歯根保護に有効な方法であると考えられる。しかし、感染根管では根尖孔部の拡大が大きくなるため、根尖部封鎖性確保のための方策が必要である。

結 論

柔軟なポストでは根部歯質・レジン接着界面の破壊、堅固なポストでは根部歯質破壊を伴う混合破壊が多く観察された。

1. 試作FRPポスト支台では全試験体で歯根破壊を生じ、亀裂はポスト部分において歯軸方向に伝搬していた。FRPポストにおいても弾性係数が象牙質より大きな場合は機能時に歯根破折を生じる。

2. 試作テーパードNiTiポスト支台はポスト径が小さいが試作FRPポストと同程度の抗折強

さを示し支持効果が認められた。支台築造における“Minimal intervention”とポスト形状の変更による歯根保護の可能性が示された。

本論文に関して開示すべき利益相反 (COI) はない。

文 献

- 1) 高橋英和：支台築造歯の歯根破折メカニズム。補綴誌 **45**；669-678 2001.
- 2) 福島俊士，坪田有史：支台築造の予後成績。補綴誌 **45**；660-668 2001.
- 3) Lertchirakarn, V., Palamara, J. E. and Messer, H. H. : Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *J. Endodontics* **29**；529-534 2003.
- 4) 岡本和彦，猪野照夫，天野秀雄，荒井 学，鈴木めぐみ，曾根峰世：歯冠部残存歯質の有無と合着用セメント層が支台築造歯の象牙質内部応力に及ぼす影響。補綴誌 **48**；602-611 2004.
- 5) 岡本和彦，猪野照夫，天野秀雄，曾根峰世，北野香織，中山賢一：ファイバーポストおよび鋳造ポストにおける支台築造歯の応力解析。明海大歯誌 **33**；220-225 2004.
- 6) 岡本和彦，猪野照夫，岩瀬直樹，清水栄太郎，鈴木めぐみ，佐藤 剛，曾根峰世，大川周治：三次元有限要素法を用いたポストコア装着歯における応力解析 —歯根部分残存歯質量および支台築造法が歯根部歯質の応力分布に及ぼす影響について—。明海歯学 **36**；30-36 2007.
- 7) 飯島国好：これからの支台築造 —歯根破折を防ぐための臨床的対応—。補綴誌 **45**；679-789 2001.
- 8) 坪田有史：接着と合着を再考する —支台築造を中心に—。補綴誌 **4**；364-371 2012.
- 9) 小久保裕司，小林敏栄，設楽幸治，近藤啓一郎，亀井 秀，坪田有史，小林文隆，小林和弘，野口幸彦：支台築造用コンポジットレジンに関する研究 第5報 デュアルキュア型について。補綴誌 **37**；536-542 1993.
- 10) 小林和弘，坪田有史，小久保裕司，野口幸彦，福島俊士：支台築造用コンポジットレジンに関する研究。補綴誌 **39**；704-709 1995.
- 11) 福島俊士，天川由美子，坪田有史，小林和弘，小久保裕司：支台築造と接着。補綴誌 **41**；881-887 1997.
- 12) Duret, B., Reynaud, M. and Duet, F. : Un nouveau concept de reconstitution corono-radiculaire : le composipost (1). *Le Chir Dent de France* **540**；131-140 1990.
- 13) Duret, B., Reynaud, M. and Duet, F. : Un nouveau concept de reconstitution corono-radiculaire : le composipost (2). *Le Chir Dent de France* **542**；69-77 1990.
- 14) Franc, S., Hans-Jurgen, W., Klaus, L. and Matthias, K. : Resisrance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post system. *Dental Materials* **23**；265-271 2007.
- 15) 高橋英和，岩崎直彦：ファイバーポストの特徴。DE **145**；5-8 2003.
- 16) 菊井徹哉，五月女 稔，佐藤暢昭，高津寿夫：フッ素徐放性光重合型コンポジットレジンの歯質接着性能。奥羽大歯学誌 **29**；185-196 2001.
- 17) 福島俊士：失活歯の長期維持の観点から。日本歯科評論 **742**；111-116 2004.
- 18) 長田貴之，割田研司，川和忠治：歯根部歯質の残存量が支台築造した歯の破壊強度に及ぼす影響：天然歯による予備的検討。補綴誌 **44**；757-767 2000.
- 19) 菊井徹哉，和田隆史，斉藤正樹，鈴木 洋，片山 直，藤原 治，横瀬敏志：合着用レジン添加型グラスアイオノマーセメントの熱機械特性が修復物の保持性に及ぼす影響。日歯保存誌 **49**；877-887 2006.
- 20) 足立幸一郎：接着性セメントの生体材料学的性質と修復物の保持力に関する研究。奥羽大歯学誌 **26**；325-258 1999.
- 21) 岡本和彦，猪野照夫，日比野 靖，曾根峰世，中嶋 裕，大川周治：支台築造歯の歯根破折に関する実験的研究 —歯根部歯質の残存量および支台築造法の影響について—。明海歯学 **35**；69-75 2006.
- 22) 橋本弘一，野口八九重，高橋重雄：標準歯科理工学。第1版；(4-5) 医学書院 東京 1990.
- 23) 鳩山秀夫：支台に関する力学的研究。鶴見歯学 **7**；79-98 1981.
- 24) 橋本 興，坪田有史：漏斗状ポストの支台築造に関する研究。補綴誌 **46**；54-63 2002.
- 25) 橋本弘一，野口八九重，高橋重雄。標準歯科理工学。第1版 (68-69) 医学書院 東京 1990.
- 26) Sidoli, G. E., King, P. A. and Setchell, D. J. : An *in vivo* evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J. Prosthet. Dent.* **78**；5-9 1997.
- 27) Gallo, J. R. III., Miller, T., Xu, X. and Burgess, J. O. : *In vitro* evaluation of retention of composite fiber and stainless steel post. *J. Prosthodontics* **11**；25-29 2002.
- 28) Sorensen, J. A. and Martinoff, I. T. : Clinically significant factors in dowel design. *J. Prosthet*

Dent. 52 ; 28-35 1984.

- 29) Trabert, K. C., Caput, A. A. and Abou-Rass, M. : Tooth fracture - A comprarision of endodontic and restorative treatments. J. Endodont 4 ; 341-345 1978.

著者への連絡先：菊井徹哉，（〒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保存修復学分野

Reprint requests : Tetsuya KIKUI, Division of Operative dentistry, Department of Conservative Dentistry, Ohu University, School of Dentistry

31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan