

歯の咬合性破壊に関する実験的研究

—破折起始点の探知法と構造観察について—

岩見克明

Experimental Study on Mechanism of the Masticatory Tooth Fracture —Method to Detect Starting Point of Fracture—

Katsuaki IWAMI

To investigate the mechanism of fracture of teeth, the starting point of the fractured site was specified and the structural appearance was observed by staining the tooth surface and cyclic-stress loading test. Using a human premolar tooth, a triangular transverse groove was formed on the dentine surface to the mesiodistal direction and cyclic-stress loading was added to break the specimen to measure the stained range of penetrated pigment observed on the broken surface after testing. Next, the broken surface was observed using SEM from a bird's-eye view as well as side sectional view and fractography analysis was done. As a result, the following findings and conclusion were obtained.

Results :

- 1) The fractured region that indicates the starting point of the fracture was clearly detected with silver staining.
- 2) An irregular structure in a wave-like design existed in the silver stained region on the broken surface.
- 3) The apical region of the wave-like structure zone was generally even on the broken surface.
- 4) The apical region of the wave-like structure zone was assumed to be a kind of striation structure peculiar to dentin.

Taking the above into consideration, it was indicated that in fractured teeth, cracks occur first by repeated stress then the beginning of the crack is notched to operate as a site of action leading to immediate brittle fracture.

Key words : starting point of fracture, silver staining, fractography, striation structure,

緒 言

現在歯の破折の治療法や予防法については様々な報告^{1)~18)}がされているが、肝心の破折発生機序についての報告は皆無に等しく、現状では破折に

対する根拠ある予防手段がたてられないのが実情である。また臼歯の咬合力による破折については、外力によって歯の構造物であるエナメル質や象牙質が破折するという現象は以前から観察されていたが^{18,19)}、科学的な根拠に基づく研究は比較的最

受付：平成17年10月26日，受理：平成18年1月20日
奥羽大学大学院歯学研究科歯科保存学専攻
(指導：長山克也教授)

Department of Conservative Dentistry Ohu University
Graduate School of Dentistry
(Director : Prof. Katsuya NAGAYAMA)

近になって始まったばかりである³⁰⁾。従来より当講座においても、臨床的ならびに実験的見地から実際の口腔内破折歯、衝撃力による実験的破折歯、繰り返し応力による実験的破折歯の3種破折歯について解析してきた。その結果、どの破断面にも脆性物質の破断物に似た構造物 (river patternやhackle mark) が見られたが、疲労破壊の特徴とされるstriation構造はどの破断面にも認め難かった。また、破折の発生源ともいべき、起始点の確かな部位特定と構造様相の把握も同様に出来ず、破折発生機構考察への端緒が得難い状況であった^{20~30)}。

そこで本研究では、まず起始点の探知法の確立を目指した。そのためには、繰り返し疲労試験に歯面染色法を併用することが極めて有効であろうとの観点から試験を行った。得られた破断面につきその様相分析を行い、歯の咬合性破折の発生機構の検討を行った。

材料および方法

1. 試料

実験にはヒトの抜去上顎小臼歯を用いた。それらは齶蝕および修復物のない水中冷蔵保存歯で、年齢、性別、および保管期間は不詳であった。また、歯は実験条件を均等化するために標準的な大きさの単根歯とし、かつ事前にX線写真撮影を行って歯冠と歯髓腔の大きさの比率がほぼ同等のものを選んで用いた。

2. 方法

1) 試験体の作製

歯の咬頭部を、歯髓腔天蓋の推定高さより約1 mm歯頂側寄りの位置を規準とし、歯軸と直角にダイヤモンドディスクを用いて注水下で削合して平坦な象牙質面を形成した (図1-①, ②)。次いでカーボランダムポイント (#10, SHOFU) で象牙質面中央に近遠心方向に三角横溝 (幅: 約3 mm, 深さ: 約3 mm) を形成した (図1-③)。さらに遠心側半は三角横溝底付近まで削除した (図1-④)。この削除形成面に、後述する染色液による要所外の染色を防止する為にレジン接着システム (クリアフィル・メガボンド, クラレ) をメーカー指示にしたがって応用し、樹脂含浸層を

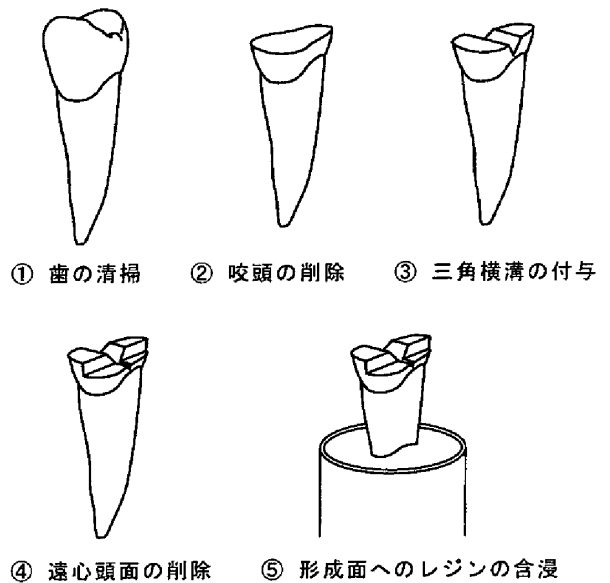


図1 試料製作手順

形成させた。即ち、先ずプライマーを塗布して20秒間放置後、エアブローし、次いでボンドの塗布、エアブローの後、10秒間光照射を行った。そして形成・歯面処理の終了した歯は、アクリルレジン (TRAY RESIN II, SHOFU) を填入したアルミ製パイプ (内径18, 高さ25mm) 内に圧填器を用いて歯根を約5 mm圧入し、植立した (図1-⑤)。試料は25個作製し、評価としては、破壊の起きた6個を対象とした。

2) 繰り返し応力負荷試験および染色試験

(1) 繰り返し応力負荷試験

実験には定荷重方式の試作疲労試験機²⁰⁾ (図2) を用いた。繰り返し応力負荷試験は試験機の陥入子 (先端角度60°) が試験体の頭部三角横溝近心側半へ垂直に圧入されるように試料台を調節して行った。実際の繰り返し応力負荷試験は、作動高さ1 cm, 荷重400g, 負荷サイクル50/minで行った (図3)。なお、本研究では実験的に破折を生じさせることが前提条件であるので繰り返し負荷の回数を上限2万回とし、それまでに破折しなかった場合は対象試料から除外した。

(2) 初期亀裂の染色試験

歯には完全破折に先立って、亀裂が先行発生する可能性³¹⁾が予測されるので、これをう蝕抑制・象牙質知覚過敏鈍麻剤 (サホライド, 東洋製薬,

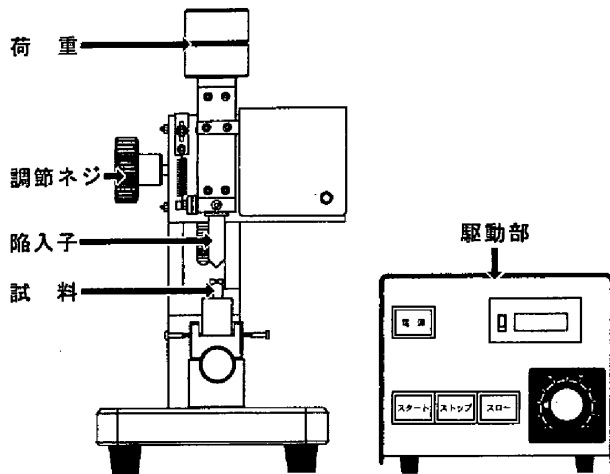


図2 繰り返し応力負荷試験機

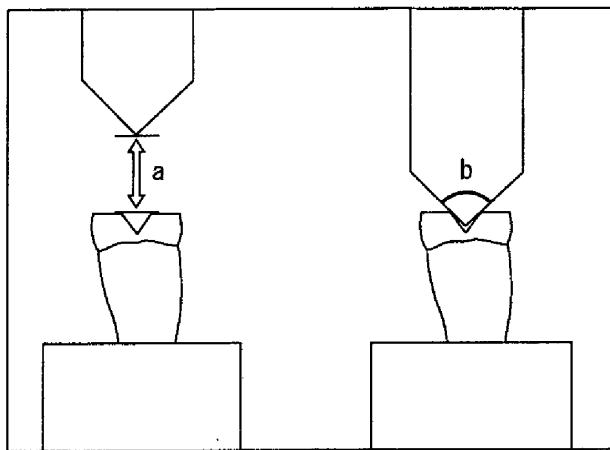


図3 陥入子と試験体切痕溝の位置関係

a: 作動間距離 (1 cm)
b: 陥入子先端角度 (60°)

以下サホライドとする) を用いて視覚的に探知することを試みた。染色は負荷サイクル1000回毎にサホライドを三角横溝へ小球付アプリケーターで塗布し、30秒間放置した後蒸留水で10秒間水洗し、次いで軽くエアブローを行った。試片が破折するまで本操作を繰り返し行った。

3) 破折歯破断面のフラクトグラフィー解析

(1) 光学顕微鏡による観察

① 破断面の鳥瞰的観察

破折片は破折後ただちに試料台に導電性樹脂(ドータイト, 藤倉)を用いて固定し、30分間放置した後、光ファイバー式顕微鏡(MCP-450 Scopeman, MORITEX, 以下Scopeman顕微鏡とする)を用いて拡大率80倍にて観察に供した。撮

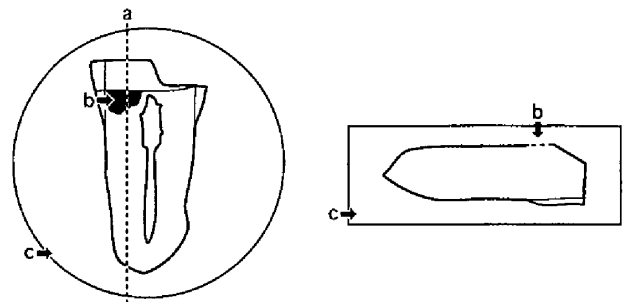


図4 側視断面観察用試料

a: 切断方向, b: サホライド染色面, c: 包埋樹脂

影した画像は画像処理ソフト(フォトショップ6.0, Adobe, 以下フォトショップ6.0とする)を用いてつなぎ合わせ、破断面の全体像を構成し、サホライド染色域を含めて破断面の観察に供した。次いで画像上染色域の面積と横溝底からの染色域の進行幅について画像解析ソフト(NHI-Image)を用いて計測した。

② 破断面の側視断面観察

破折片は、冷間包埋樹脂(No105, 丸本ストルアス)にて包埋した後、染色域中央部を通り波紋状構造物にほぼ直角に硬組織切断器(アイソメット, BUEHLER)で切断した(図4)。次いで切断面は、#1000の耐水研磨紙および粒子径、15, 6, 1, 0.5 μmのダイヤモンドシートを順次用いて鏡面研磨し側視断面観察試片とした。試料はScopeman顕微鏡にて観察し、撮影画像は、フォトショップ6.0を用いてつなぎ合わせて側視断面全体像を構成し、特に破断面におけるサホライドによる染色様相を観察した。

(2) 走査型電子顕微鏡(SEM)による観察

① 破断面の鳥瞰的観察

光学顕微鏡による観察が終了した試料は蒸着後、走査型電子顕微鏡(S3500-N, HITACHI)観察に供した。即ち、先ず低倍率(25倍)にて破断面の全体像を観察し、次いで色素染色域を中心として高倍率(250倍)にて観察した。撮影した画像はフォトショップ6.0を用いてつなぎ合わせて全体像を構成し、破断面各部位における形態学的特徴について検討した。

② 染色域における破断面構造の特徴化観察

光学顕微鏡によるサホライド染色域画像と

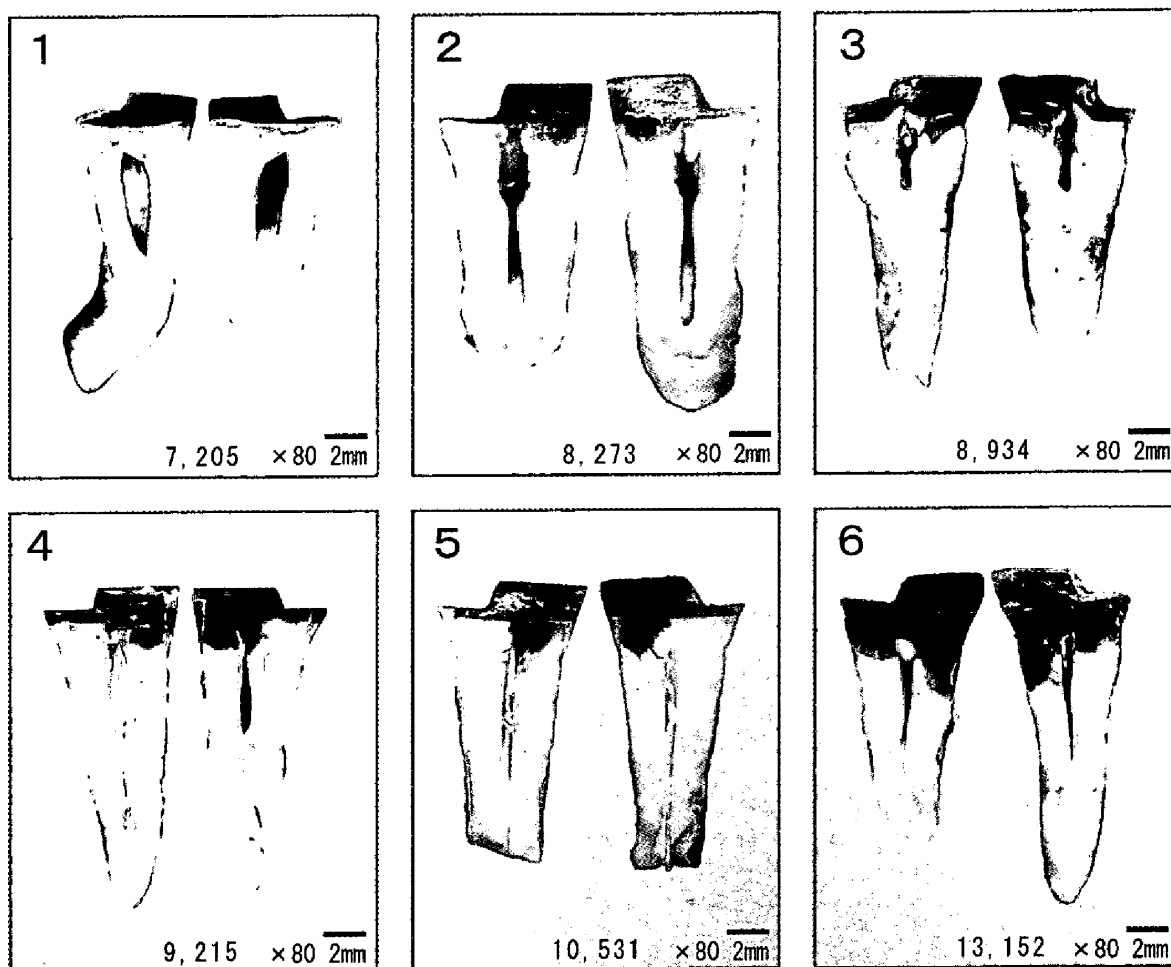


図5 光学顕微鏡による鳥瞰的全体観察像
※写真内の番号は各試料番号を示す

SEMによる同部の波紋状構造物画像をフォトショップ6.0を用いて選択取得した。即ち、染色域外形については、黒染されている部分を画像から色調選択し、選択部分以外は消去分離させ、その外形をトレースすることにより染色域外形とした。また波紋状構造については、SEM画像から色調選択を行い構造物の外形を選択し、選択部分以外は消去し、分離させることにより波紋状構造物の特徴化形状とした。次に選択取得した染色域外形と特徴化形状を元のSEM像と重ね合わせ、染色域を中心とする破断面の形態学的な特徴について検討した。

③ 破断面の側視断面観察

光学顕微鏡による観察を終了した試料を前述の方法で処理し、SEMにて全体像を拡大率25倍で観察し、次いでサホライド染色域を拡大率500倍

で観察した。撮影画像は前述の方法により処理して用いた。

結 果

1. 光学顕微鏡による鳥瞰的全体観察

観察に供した頬側および舌側の一対破片試料は、破折までの応力負荷回数が少ない方から順に番号を付して示した(図5)。各試料とも破折は横溝より垂直に発生しており、かつ、どの破断面にも横溝底に接続して染色の濃淡の程度および範囲は異なるがサホライドによる黒染が認められた。黒染された部位は、試料2, 3, 4, 5では荷重を負荷した近心側半に存在しており、その形は深皿状や不規則三角形状を呈していた。一方、試料1および6では染色域は近心側半のみならず遠心側半にも及んでおり、その形状は前者では浅皿状で

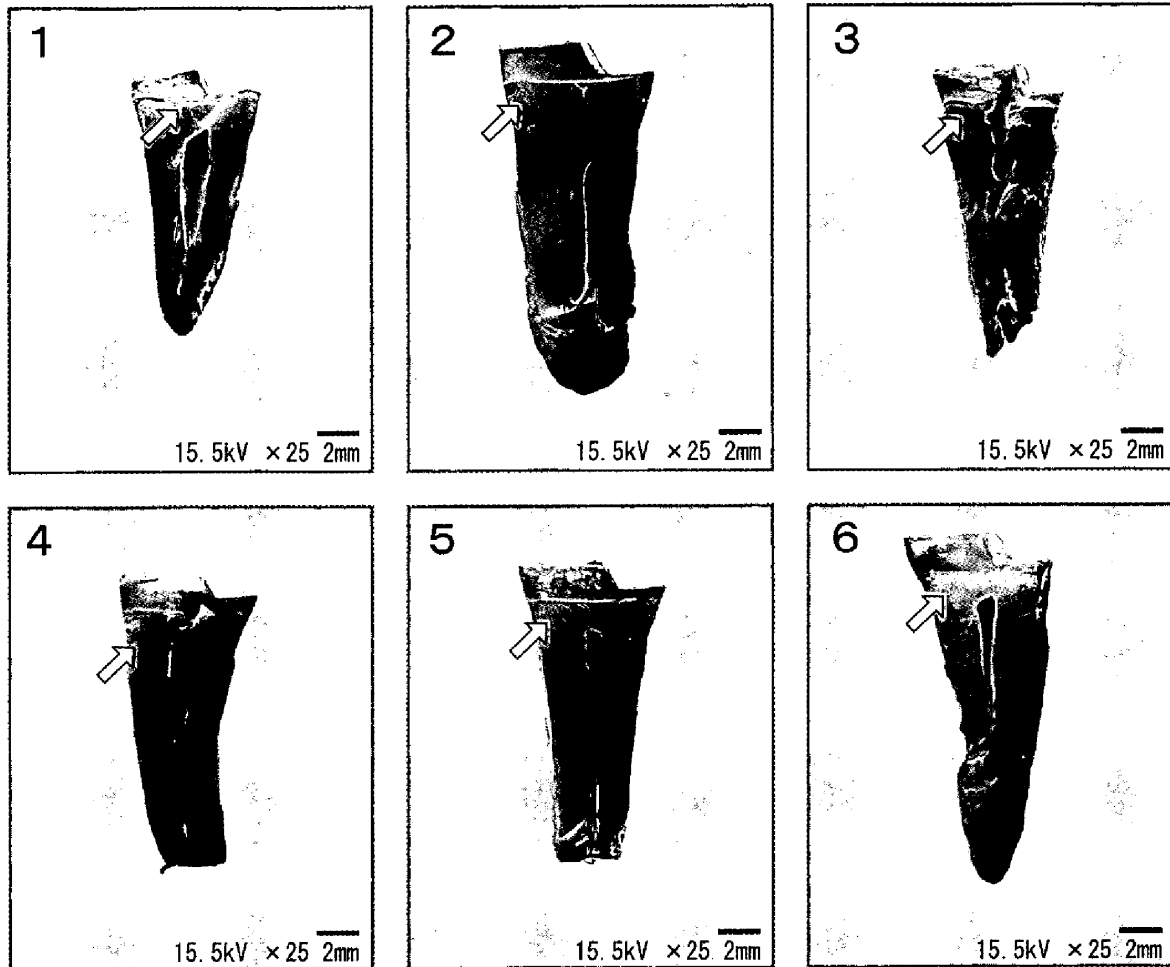


図6 SEMによる鳥瞰的全体観察像
※写真内の番号は各試料番号を示す

表1 破折試片に関する応力負荷回数，染色域の面積および進行幅

試料番号		1	2	3	4	5	6
応力負荷回数 (回)		7,205	8,273	8,934	9,215	10,531	13,152
染色域面積 (mm ²)	頬側半試片	1.07	1.14	1.3	1.4	2.16	8.2
	舌側半試片	—	1.2	1.32	1.39	2.52	9.56
染色域幅 (mm)	頬側半試片	0.09	1.4	1.5	1.6	2.7	近心部 4.8 遠心部 3.7
	舌側半試片	—	1.45	1.7	1.6	3.0	近心部 5.4 遠心部 2.9

あったが、後者は大きく丸みのある不定形であった。

各破折試片についての応力負荷回数，染色部の面積，および横溝底からの染色域の進行幅を示した(表1)。本成績では，破折までの応力負荷回数が増えるに従い，染色域の面積とその深さ幅

は増大する傾向が見られた。また各試料におけるサホライドの染色程度は，応力負荷回数が増えるに従い濃くなる傾向が見られた。

2. SEMによる鳥瞰的全体観察像

光顕像に対応した，各破折試料の舌側半試片のSEM全体像を示した(図6)。各試料とも光顕像

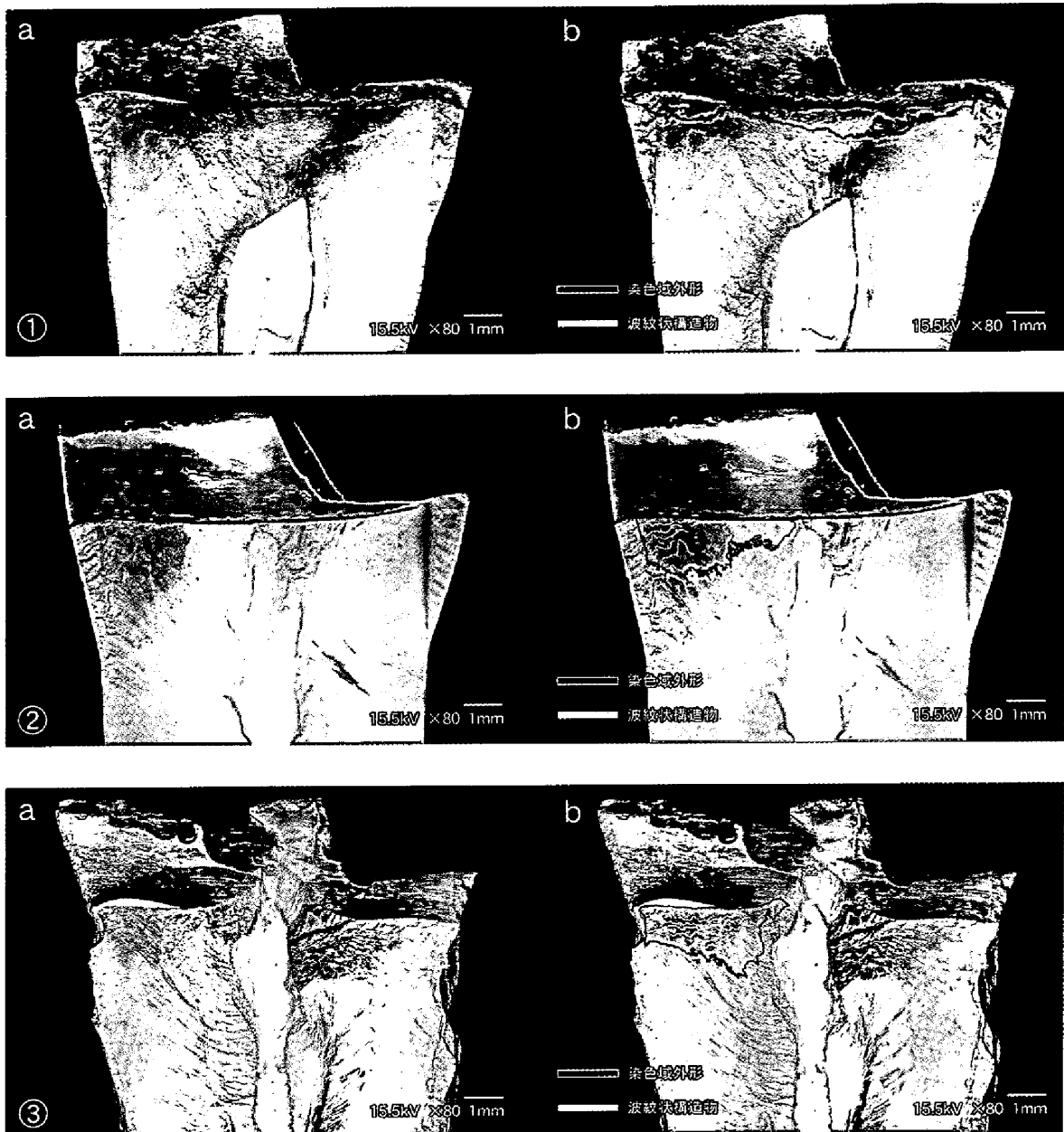


図7 サホライド染色域のSEM拡大観察像
 a：サホライド染色域のSEM像
 b：染色域外形と特徴化曲形状の重ね合わせ像
 ※写真内の番号は各試料番号を示す

のサホライド黒染部に該当する個所を矢印で示した。矢印部の表面には、試料2, 4, 5, 6では根尖側隣接部の表面と比較して粗造な構造面が観察された。その粗造構造は象牙細管束にほぼ沿ったさざ波状構造物より成っている感があった。一方、試料1および3の矢印部では表面は比較的平坦で、少なくとも本倍率での観察では特別の構造は認められなかった。

3. サホライド染色域のSEM拡大観察像と同域の表面特徴化について

SEM観察像で、特有の粗造構造の見られた試料のうち、代表として2例を選びサホライド染色域の表面構造の特徴を観察検討した。

1) 試料2

試料の横溝底近心側半のSEM拡大像(図7-a)を見ると、象牙質部分では鋸歯状不規則凹凸構造

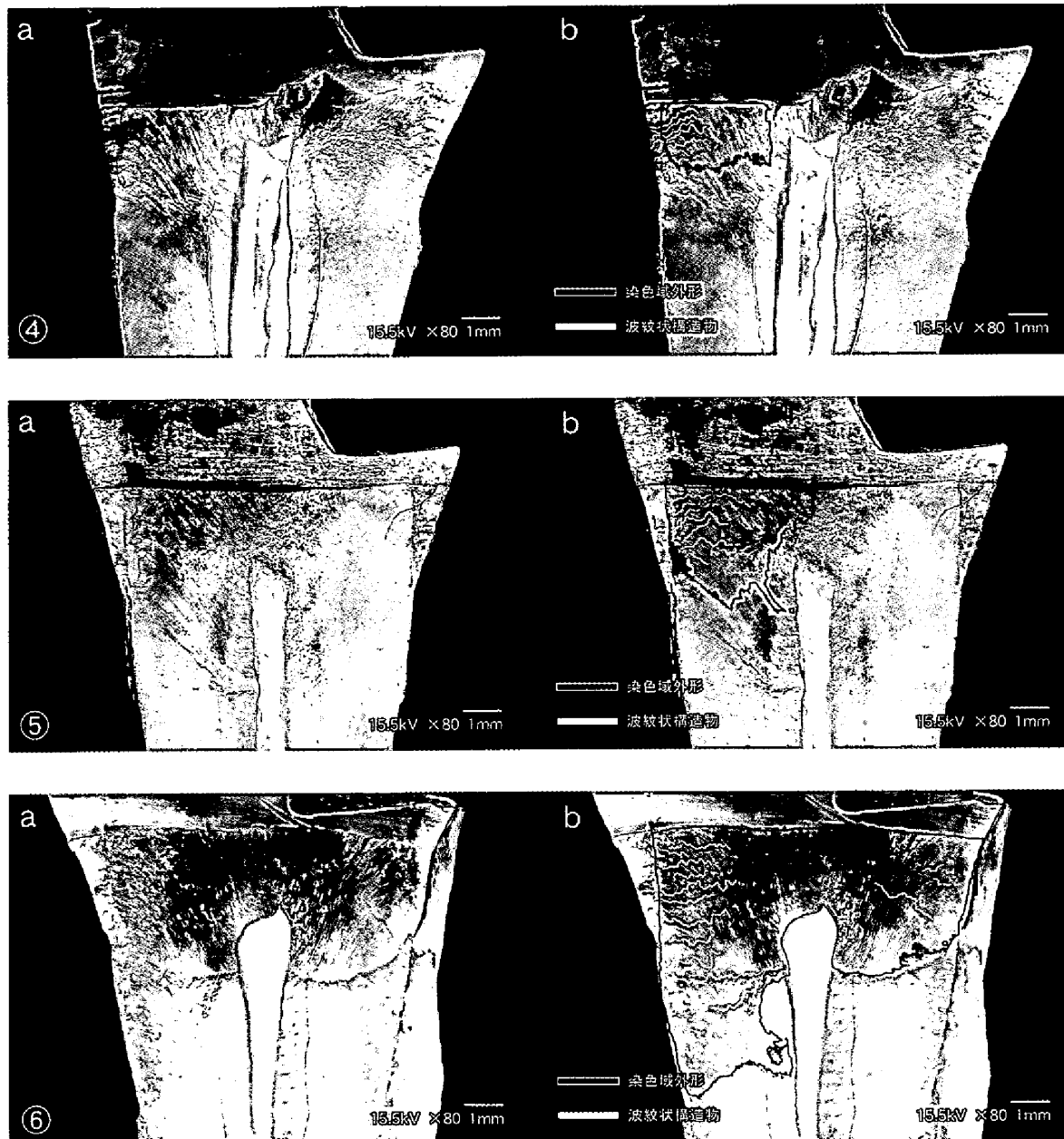


図8 サホライド染色域のSEM拡大観察像

a：サホライド染色域のSEM像

b：染色域外形と特徴化曲形状の重ね合わせ像

※写真内の番号は各試料番号を示す

物が山脈状を呈して平行に連なり、波紋状にほぼ応力負荷荷重方向に直交して歯髓腔方向に進行しているように見えた。またエナメル質部分ではハンターシュレーゲルの線条に相当して段差構造が見られた。これらの凹凸構造を特徴化形状曲線に変え、あわせてサホライド染色域外形をSEMの原画像に重ね合わせて観察したところ、相互の関係が明瞭になった(図7-b)。即ち、象牙質部分

の特徴化形状曲線は黒染色域外形内のほぼ全体にわたって存在していた。また特徴化曲線は、前方に向かうに従って条紋間隔が広くなり、また波形高さが増すような傾向が見られた。なおエナメル質に見られた段差構造はほとんど染色域内には含まれていなかった。

2) 試料4

試料2の場合と同様に、SEM拡大観察像(図

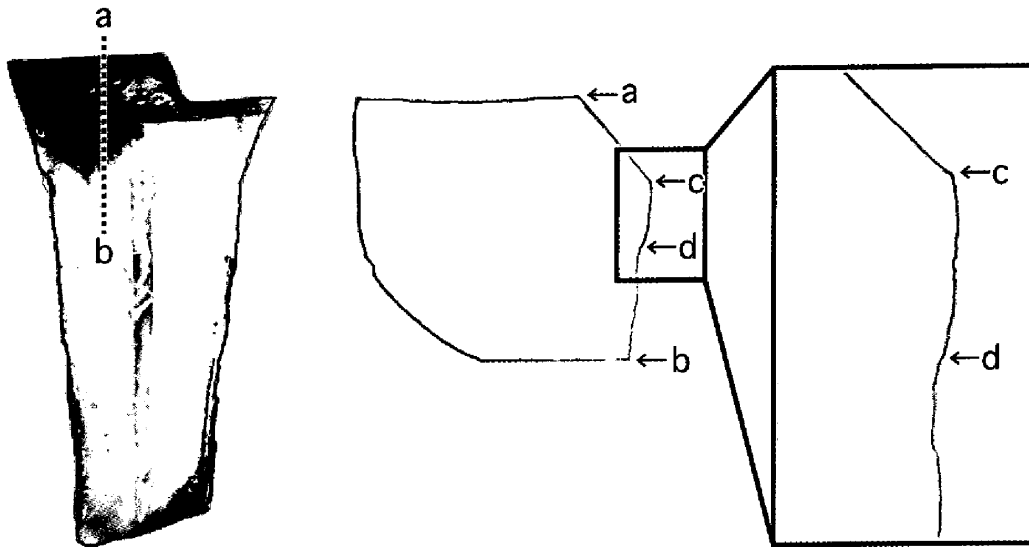


図9 破断面の光学顕微鏡による側視断面観察像

a～b：観察範囲

c～d：サホライドによる染色範囲

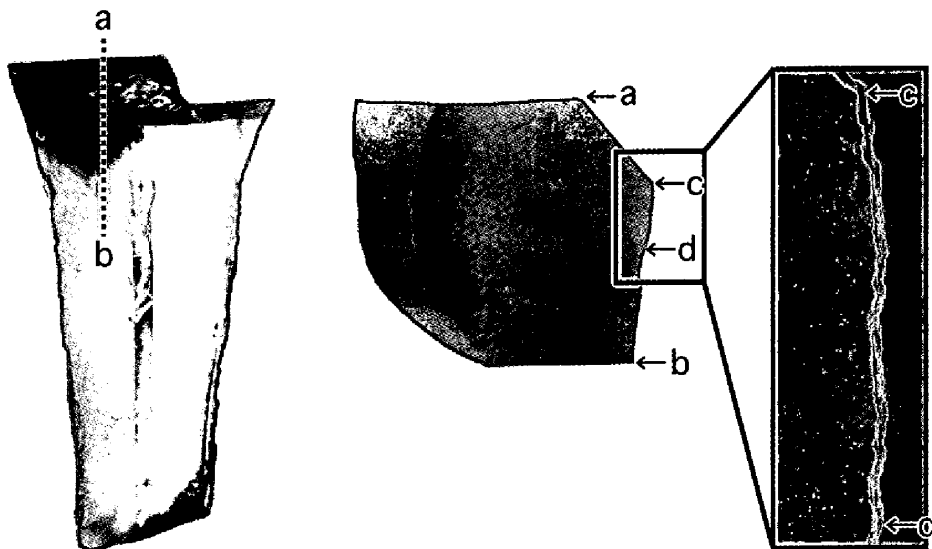


図10 破断面のSEMによる側視断面観察像

a～b：観察範囲

c～d：サホライドによる染色範囲

8-a) と、サホライド染色部の凹凸構造特徴形状化曲線および染色域外形の重ね合わせ図(図8-b)を示した。重ね合わせ図を見ると特徴形状化曲線は、ほとんど染色域外形線内に含まれていたが、その存在部位は近心側半に偏在しており、またその範囲は試料2の場合より少なかった。

4. 破折面の側視断面観察像

光顕による破折面の全体観察像(図9の左)と、その側視断面低倍観察像(図9の中)およびサホライド染色部の拡大観察像(図9の右)を示した。三角横溝底(図9の右、矢印c)から破断面に沿って黒い線条が矢印dまで認められ、それより先

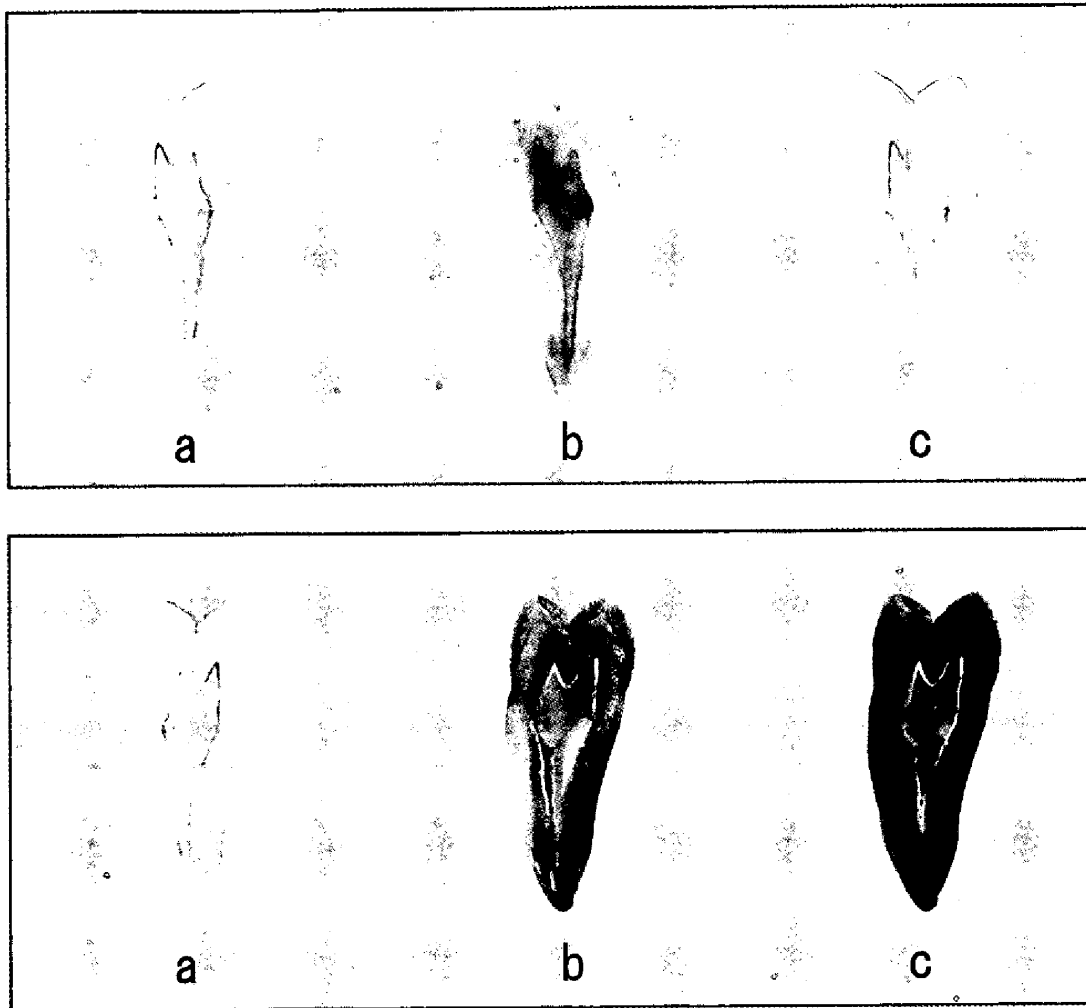


図11 染色試験

上段：塩基性フクシン，下段：フッ化ジアミン銀
a：塗布前，b：塗布後30分，c：水中保存24時間後

方には線条は認められなかった。また黒い着色は表面のみに限局しており，直下層への浸透は全く見られなかった。

同一試料（図10の左）に対するSEMによる低倍全体観察像（図10の中）およびサホライド塗布部の拡大観察像（図10の右）を示した。拡大観察像では，破断面は段差をもった粗造面を示していたが，その表面直下層に歯質の破壊は認められなかった。

考 察

歯の破折は，主として前歯では外傷により，臼歯では繰り返しの咬合力によって起こると考えられている。後者，即ち咬合力による歯の破折は年齢とともに増加し，特に近年の著しい長寿化と共

にWHOの予測でもその増加傾向が指摘されている³⁰⁾。しかし破折発生機序を目指した研究は皆無に等しく，また，破折の発生源ともいべき，起始点の確かな部位特定と構造様相の把握はなされていないのが実情である。

そこで本研究では，繰り返し応力負荷試験下で破折起始点の探知の確立を先ず目指し，その応用により，同部の様相観察と分析を行い，破折発生機構についての詳細な検討をおこなった。

1. 実験窩洞について

歯根破折症例での破折線の走行は田端⁶⁾によると約90%が頬舌方向に生じるとされており，臨床家の間でも，上下顎，ポストの有無に関わらず，小白歯の破折線は頬舌方向に生じることが多いと報告されている¹³⁾。また菊井²⁸⁾らが行った疲労破

壊実験で歯の疲労耐久性を比較したところ、近遠心方向より頬舌方向の疲労耐久性がきわめて低いと報告されており、これらのことから歯根破折症例での破折線の走行は頬舌方向に多いことが考えられる。それに対して生活歯での歯冠破折症例における破折線の走行は松丸¹⁾によると近遠心方向に発生するとされており、その理由としては上顎臼歯の舌側咬頭が下顎臼歯の中心窩に咬み込まれたときに、下顎の中心窩を中心として頬舌咬頭を分離しようとする大きな力が働くため破折線が近遠心方向に発生するとされている。そこで本実験では、生活歯の破折を想定して実験窩洞としての三角横溝の主方向を近遠心方向とした。なお予備実験により2万回程度の繰り返し応力により破折が生じるよう、実験窩洞に付加的削除形成をおこなった。

2. 荷重の選定について

荷重の選定は100g単位で変えて予備実験を行い、検討した結果400g（静止荷重）を用いると、負荷回数が1万回前後で歯が破壊することが多く観られたため、同荷重を採用することにした。

3. 亀裂探知法としてのサホライドの効果について

亀裂探知のために染色液に求められる要件としては(1)操作が簡易で明瞭であること、(2)染色液の組織浸透性が極力少ない事、(3)永続性がある事、などがあげられる。従来破折の探知にはヨード、メチレンブルー、塩基性フクシンまたは齶蝕検知液などが用いられているが^{21, 31, 32)}、いずれも水溶性で組織浸透性が強いため上記の要件を満たしておらず、さほど効果的ではないと考えられる。そこでサホライドおよび2%塩基性フクシン水溶液について予備実験を行った。これらをそれぞれ頬舌的に矢状切断された上顎臼歯の近心側半切断面および遠心側半切断面に塗布し、塗布30分後、水中24時間保管後に比較観察を行った。実際に塩基性フクシン溶液を用いて歯を染色したところ、直後には一時的に破断面が染色されたが、水中保管後には退色したところから、染色は単なる色素の吸着で永続性がないことが確認された。それらに対しサホライドは歯質表面に塗布することにより、亀裂のみを明瞭にすることができた(図11)。

これは、歯質アパタイトに反応し難溶性の銀化合物として歯質表面に沈着、黒化する性質があること³²⁾、および亀裂表面に象牙細管が露出した場合にも歯質との反応性物質により細管は封鎖されるので色素の浸透を極力防ぐことができるという性質のためと考えられる³⁰⁾。またこれらの反応は長期にわたって作用し永続性も期待されるため^{31, 32)}、サホライドの応用は、文献的^{16, 17, 27, 28)}検討ならびに予備実験の結果により、上記3要件を総合的に満たすので亀裂探知のための染色液として適当であると考えられる。

4. 破断面におけるサホライド染色部の特徴について

各試料とも破断面の横溝底に接続して染色の濃淡の程度および範囲は異なっていたが、サホライドによる黒染が認められた。これはサホライドが生じた亀裂へ毛細管現象により侵入した範囲に生じたものと考えられた。その染色範囲は少なくとも今回の実験範囲では応力負荷回数と関連しており、破折までの応力負荷回数が多くなるに従い、染色域の面積とその深さ幅は増大する傾向が見られた。これは実験に用いた歯自体の強度の影響²⁰⁾により生じたものと考えられる。

5. 歯の破折機構について

歯の破折は突然起こるとされている¹⁾。一方、金属材料においても脆性材料では、突発的な破壊の多くは、脆性破壊、疲労破壊、環状破壊が原因とされていて、それらの破壊は、塑性変形を起こさずに生じるものとされている³⁵⁾。また菊井²⁸⁾らの疲労破壊実験からも、歯は塑性変形することなく、また疲労破壊像を示すことなく脆性破壊を起こすと報告されている。

それらをふまえて本研究において得られた破断面を観察したところ、サホライドに染色された範囲では、さざ波状構造物が見られ、それ以外のところでは、river patternや、僅かな粗造面が観察されたが、おおむね平坦な面であった。染色範囲に見られたさざ波状構造物を除いた大部分の破断面に見られたriver patternなどの構造物は脆性材料に多く見られる特徴的な所見^{20, 34)}であるところから、試片は最終的には脆性破壊により破折が生じるものと推察される。一方、さざ波状構造物の

発生については以下のように考えられる。金属材料についての研究結果を参考にすれば、繰り返し応力による疲労破壊の過程は次の4段階に分けられている。即ち①残留応力の低下、②微視亀裂の発生による残留応力の消失、③微視亀裂の結合による巨視亀裂の形成、④破壊、となっている。すなわち、第一段階で局部領域にて転移密度が臨界値に達した瞬間に第二段階として組織の連続性が破壊され、微視亀裂が発生し第三段階として本来の疲労破壊すなわち微視亀裂の結合による巨視亀裂の形成が始まり、臨界寸法に達した時に第四段階として破壊が生じると考えられている³⁶⁾。

上記のことをふまえてさざ波状構造物を中心として破断面を観察すると、いくつかの特徴的な構造が確認された。

サホライド染色域には規則的に並んだ縞模様が応力の伝播方向にほぼ垂直に並び、応力負荷回数が多くなるに従い縞模様の本数が増加し、その間隔は深部ほど広くなる傾向がみられた。縞模様の間隔は深部ほど広くなることについては、疲労亀裂伝播における亀裂の潜在期間増加に応じて、負荷応力一回あたりに発生する亀裂の間隔が広がるとされている³⁷⁾、ことと呼応していた。本所見から、これら波紋状模様構造は、蓄積した応力が間隔を置いて段階的に開放された結果の形成物と推測されることから、本構造物は、象牙質に特有の一種のstriation構造かと推察される。また同部位の側視断面を観察すると、サホライドの染色範囲のみに破折の進行方向に向かう階段状の構造が見られた。これは、金属材料で見られる疲労破壊における亀裂の進展の構造³⁵⁾と同様のものと考えられた。これにより銀による歯質黒染部は亀裂の存在部位であり、疲労破壊による亀裂が生じた範囲であると推察される。

以上の事から歯は、繰り返し応力により発生した疲労破壊による亀裂が黒染部前縁まで進展した時点で、そこが切り欠き作用部位となり一気に脆性破壊を生じたものと考察された。

総括および結論

歯の破折機構を調べるために歯面の染色を応用しつつ繰り返し応力負荷試験を行い破折起始点の

部位特定と構造様相についてフラクトグラフィー分析を行った。その結果、以下のような所見と結論を得た。

1. 破折起始点を示唆する亀裂発生部は銀染色法によって明瞭に探知された。

2. 破断面の銀染色域には不規則凹凸構造物が波紋状模様を成して存在していた。

3. 波紋状構造帯の根尖側域では破断面は概ね平坦であった。

4. 波紋状構造帯は象牙質に特有の一種のstriation構造と推察された。

以上のことから、歯の破折は繰り返し応力により先ず小亀裂を生じて応力が蓄積し、小亀裂前縁に疲労破壊が起こると、同部が切り欠き作用部位として働き、一気に脆性破壊が生じるものと示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導、ご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に謹んで感謝の意を表します。併せて、数々のご協力を戴いた歯科保存学講座(修復分野)の皆様にも謹んで感謝いたします。

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) 松丸健三郎：歯根の破折。歯界展望 **60**；695-704 1982
- 2) 宮地建夫：歯根の破折-歯冠・歯根の亀裂から破折までの臨床像を中心にして。日本歯科評論 **486**；61-64 1983.
- 3) 総山孝雄，細田裕康，和久本貞雄，岩久正明：新保存修復術；15-45 クインテッセンス出版東京 1985.
- 4) 後藤 浩，勝海一郎，都築民幸，中村秀己ほか：歯根の垂直性破折に関するX線的研究。日歯保存誌 **33**；197-205 1990.
- 5) 森 克栄：長期症例から歯根破折の臨床像を考える。クインテッセンス **17**；1151-1157 1998.
- 6) 田端義雄：歯根破折を咬合より考える破折症例の観察より。デンタルダイヤモンド **26**；58-62 2001.
- 7) Zimet, PO. : Cracked tooth syndrome. Australian Endodontic Journal **24**；33 1998.

- 8) Sinai, I. H. and Kata, H. R. : Management of a vertical root fracture. *J Endod* **4** ; 316-317 1978.
- 9) 浮舟宜武 : 歯質接着性CRを用いたトラブルの解決法 縦破折歯の処置. *デンタルダイヤモンド* **25** ; 76-81 2000.
- 10) 入江秀彰, 真坂信夫 : 破折歯根の保存方法. *デンタルダイヤモンド* **27** ; 41-45 2002.
- 11) 高橋英和 : 歯根破折はどのように起こるのか. *デンタルダイヤモンド* **27** ; 30-34 2002.
- 12) 坪田有史 : 歯根破折の予防. *デンタルダイヤモンド* **27** ; 46-49 2002.
- 13) 齋間直人, 朝日保州, 今村智之, 鈴木ゆみ子ほか : トラブルを起こさない支台築造を求めて-破折歯の観察からみえてきたもの. *歯科評論* **62** ; 77-85 2002.
- 14) Cameron, C. E. : The cracked tooth syndrome. *JADA* **93** ; 971 1964.
- 15) 成川公一, 大前正範, 井上政義 : 歯冠・歯根の縦方向亀裂・破折歯の保存治療の可能性. *歯科評論* **62** ; 115-122 2002.
- 16) 飯島国好 : 歯根破折の症状と診断法. *デンタルダイヤモンド* **27** ; 35-40 2002.
- 17) 大平玄久, 五十嵐勝, 川崎孝一 : 亀裂および破折歯の超音波診断法確立のための基礎的研究. *日歯保存誌* **46** ; 956-969 2003.
- 18) 佐藤貞雄 : 咬合と歯科疾患. *クインテッセンス* **22** ; 1069-1078 2003.
- 19) McCoy, G. : Dental compression syndrome ; a new look at an old disease. *J Oral Implantol* **25** ; 35-49 1999.
- 20) 西村文夫 : 歯質の老化現象に関する動機能解析 ; 平成4年度科学研究費補助金(一般研究A)研究成果報告書 研究課題番号 01440079 平成5年3月 1993.
- 21) 高津寿夫, 松下俊彦, 秀亜希子, 五反田光司ほか : 破折歯保存のための歯冠結紮固定法-技法の概要と歯冠-歯根破折歯への応用症例について. *接着歯学* **7** ; 45-56 1989.
- 22) 高津寿夫, 頼 偉生, 細田裕康 : 破折歯の保存に関する研究-不完全破折歯の診断と処置-. *日歯保存誌* **33** ; 17-27 1990.
- 23) 高津寿夫, 頼 偉生, 細田裕康 : 破折歯の保存に関する研究-診断と処置法の整備-. *日歯保存誌* **34** ; 24-33 1991.
- 24) 高津寿夫, 佐野英彦, 中沖靖子, 細田裕康 : 破折歯の保存に関する研究-陳旧性破折大臼歯の診断と処置. *日歯保存誌* **35** ; 367-375 1992.
- 25) 高津寿夫, 山田敏元, 猪越重久, 富士谷盛興ほか : 破折歯の保存に関する研究-垂直性歯根破折を生じた有髄大臼歯の診断と処置方法. *日歯保存誌* **37** ; 1261-1269 1994.
- 26) 高津寿夫, 高録伸郎 : 破折歯の保存に関する研究-大臼歯における垂直性歯根破折の処置法とその効果-. *日歯保存誌* **39** ; 1316-1323 1996.
- 27) 高津寿夫, 高録伸郎, 岩見克明, 庄野常一ほか : 破折歯の保存に関する研究-超音波洗浄の前後における除去破折片-対の観察-. *日歯保存誌* **41** ; 73-81 1998.
- 28) 菊井徹哉, 高録伸郎, 佐藤暢昭, 高津寿夫 : 歯の咬合性破壊に関する研究-試作疲労試験システムを用いた窩洞形成歯の疲労破折耐久性-. *日歯保存誌* **46** ; 408-417 2003.
- 29) 高津寿夫 : 歯の破折機構に関する研究 ; 平成8-9年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2)研究成果報告書 研究課題番号 08672204 平成10年3月 1998.
- 30) 高津寿夫 : 歯の咬合性破壊に関する研究 ; 平成12-14年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2)研究成果報告書 研究課題番号 12671859 平成15年3月 2003.
- 31) 須賀昭一, 田熊庄三郎, 佐々木哲 : 歯の研究法-構造と組成- ; 54-64 医歯薬出版 東京 1973.
- 32) 山賀 一, 横溝一郎 : フッ化ジアンミン銀とその応用 ; 14-70 医歯薬出版 東京 1978.
- 33) 山賀 一, 吉田定宏 : フッ化ジアンミン銀応用の手びき ; 1-70 医歯薬出版 東京 1978.
- 34) John, J and Mecholsky, Jr. : Fractography : Determining the sites of fracture initiation. *Dent Mater* **11** ; 113-116 1995.
- 35) 大橋一利 : 破壊のメカニズム ; 1-88 丸善株式会社 東京 1987.
- 36) 横堀武夫, 市川昌弘 : 金属の疲労破壊 ; 117-123 丸善株式会社 東京 1970.
- 37) 日本学術振興会129委員会 : 金属材料の強度および疲労試験集 ; 1-434 丸善株式会社 東京 1970.

著書への連絡先 : 岩見克明, (〒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 : Katsuaki IWAMI, Department of Conservative Dentistry, Ohu University School of Dentistry
 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan