（ 様式D－２ ）
（ 別　　紙 ）

令和７年度　海外派遣研究員研究報告書〔研究実績〕

令和８年　１月　17 日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　歯学部（総合歯学研究所）
資格・氏名　助教・石井　亮

令和７年度海外派遣研究員（　短期Ａ　）の研究実績を，下記のとおり報告いたします。

記

１　区　　分　　短期Ａ

２　研 究 課 題

唾液汚染除去法の違いがレジンセメントの接着耐久性に及ぼす影響に関する研究

３　派 遣 期 間　　西暦　2025 年　７月　15 日　～　2026 年　１月　４日

４　派　遣　先　　アメリカ合衆国

５　研 究 目 的

患者および術者の審美要求の高まりにより歯冠色の間接修復物が増加しており，脆性材料であるこれらを長期に機能させるには，レジンセメントを介して支台歯と強固に一体化させることが重要である。レジンセメントは従来型マルチステップ，セルフアドヒーシブおよびプライマー併用型セルフアドヒーシブに大別されるが，セルフアドヒーシブは前処理不要という利点を有する一方，従来型に比べ接着性が低いことが指摘されている。

そこで，操作が簡便で汎用性に優れるユニバーサルアドヒーシブを前処理材として用いる「ユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメント」が注目されている。これらはユニバーサルアドヒーシブとセメントペーストの接触により重合が開始する接触重合効果を有し，初期接着性および接着耐久性の向上が期待される。一方，試適時に生じる唾液タンパク質による被着歯面汚染は接着性低下の要因となり得るが，汚染およびその除去法が本システムの初期接着性・接着耐久性へ及ぼす影響は十分に明らかでない。

臨床研究は信頼性が高いものの実施が困難であり，多くの耐久性試験も口腔内環境の一部しか反映しない。そこで本研究では，繰り返し荷重負荷が可能な接着疲労試験を用い，唾液汚染歯面および汚染除去後歯面に対するユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメントの初期接着性能と接着耐久性への影響を検討する。

6　研 究 概 要

①研究の方法

初期接着性および接着耐久性

唾液汚染が生じた被着歯面あるいは汚染を除去した後の被着歯面に対するユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメントの接着耐久性については，繰り返し荷重負荷が可能な万能試験機を用いて検討する。また，修復材料の装着初期の接着性についてもこの試験法を応用することで，装着直後に生じる外力をシミュレートした条件で評価する。すなわち，接着耐久性の検討に際しては，staircase method を用いて接着疲労強さ試験を行う。人工唾液と接触させた被着歯面を汚染面とし，汚染面に表面処理を行い除染面とする。各被着面に対してユニバーサルアドヒーシブによって処理を行い，直径 2.0 mm，高さ 4.0 mm のステンレスロッドを装着，24 時間水中に保管後，20 Hz の正弦波を繰り返し 50,000 回試験片に負荷する。その際，規定回数に達する前に試験片が破断した場合と，破断することなく経過した場合で，段階的に荷重負荷を変動させる。最終的に，試験片の脱落個数および負荷荷重からその接着疲労強さを求める。初期接着性能の評価については，接着耐久性試験と同様な方法で行うものの，繰り返し荷重の回数を 10,000 回に設定し，評価する。

②渡航先での活動内容

渡航の目的

留学先の Creighton 大学では，以前より接着試験に疲労の要素を加えた新しい試験法を実施しており，試験に必要な繰り返し荷重を付与できる試験機を 2 台有している。一方，私が所属する研究室および関連施設には同様の機器が整備されておらず，接着疲労試験の実施は困難である。以上より，留学先として Creighton 大学を選択した。さらに，現地研究者との交流を深め，米国における歯科事情を把握することで，今後の研究の方向性を検討することも本派遣の目的の一つである。

今回の派遣では，Mark A. Latta 教授（Creighton 大学）との共同研究を進める中で，新規ユニバーサルアドヒーシブ試作品の検討を含む研究に取り組むこととなった。その結果，約 6 か月という派遣期間を踏まえ，新規ユニバーサルアドヒーシブ併用型ユニバーサルレジンセメントの初期接着性および接着耐久性，ならびに当該アドヒーシブの初期接着性および接着耐久性について検討する計画とした。

活動内容

実験１：新規ユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメントの初期接着および接着耐久性について

ユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメントの接着耐久性については，繰り返し荷重負荷が可能な万能試験機を用いて評価した。供試した材料は，ユニバーサルアドヒーシブ応用型レジンセメントとして ASAC-02（ASAC），RelyX universal resin cement（RX）および SA luting multi（SA）を用いた。また，併用するユニバーサルアドヒーシブとして，AFB-00（AFB），Scotchbond universal plus（SU）および Clearfil universal bond quick 2（CQ）を使用した。被着体にはヒト抜去歯歯冠部象牙

質を用いた。接着試験用試片の製作に際しては，耐水性シリコンカーバイドペーパー#320 で研削した象牙質面を使用した。これらの被着面に対して，各製造者指示条件に従ってユニバーサルアドヒーシブを塗布し，異なる条件でエアブローを実施した。すなわちエアブロー非実施条件と 5 秒間の中圧エアブロー条件の２条件とした。その後，直径 2.0 mm，高さ 4.0 mm のステンレスロッドに練和したセメント泥を塗布し，被着歯面に対して静置した。重合条件は 40 秒間光照射を行う条件および光照射を行わない条件の 2 条件の計 4 条件について検討した。これらの試片を相対湿度 100%の条件で 24 時間保管した後，インストロン万能試験機（Instron, Type 5500R）を用いてクロスヘッドスピード 1.0 mm/min の条件で剪断接着強さを測定した。これを疲労接着試験の初期荷重の基準値とした。

Staircase method (Draughn R (1979)J Dent Res 1093-1096)を応用した疲労接着耐久性試験を ElectroPuls E1000 machine (図 1)を用いた。すなわち，得られた剪断接着強さの約 50%の荷重を，20Hz の条件で繰り返し 50,000 回施行し，この規定回数に達する前に試験片が脱落した場合は，初期荷重の約 10%を減じ，試験片が生存した場合は，逆に荷重を増加することで段階的にその荷重負荷を変動させ，最終的に試験片の脱落個数および負荷荷重からその疲労接着耐久性強さを計算式から求めるものである。

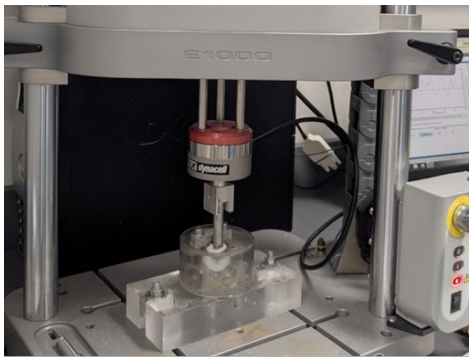


図1　ElectroPuls E1000 machine

実験 2：新規ユニバーサルアドヒーシブにおけるエッチングモードおよびエアブロー条件の違いが初期接着および接着耐久性に及ぼす影響

本実験では，実験 1 と同様に，繰り返し荷重負荷が可能な万能試験機を用いて検討した。供試したユニバーサルアドヒーシブは，AFB-00（AFB），Scotchbond universal plus（SU），Adhes universal（AU）および Clearfil universal bond quick 2（CQ）の 4 製品とした。

被着体はヒト抜去歯歯冠部エナメル質および象牙質を用い，耐水性シリコンカーバイドペーパー#320 まで研磨して被着歯面とした。これらの被着面に対して，接着システムをエッチ&リンス（ER）モードまたはセルフエッチング（SE）モードで適用した。ユニバーサルアドヒーシブは製造者指示に従って塗布し，エアブロー非実施，中圧および強圧条件の 3 条件で行った後，光照射を行った。その後，ステンレス製金型をアドヒーシブ塗布面に静置し，コンポジットレジンを填塞して光照射し，接着試片とした。これらの試片は 37℃精製水中に 24 時間保管後，インストロン万能試験機（Instron, Type 5500R）を用いてクロスヘッドスピード 1.0 mm/min の条件で剪断接着強さを測定した。これを疲労接着試験の初期荷重の基準値とした。

接着疲労耐久性試験に際しては，実験 1 と同様に ElectroPuls E1000 machine および Staircase method を用いて行った。すなわち，得られた各接着システムの剪断接着強さの約 50%荷重を接着試片に対して 20 Hz の条件で繰り返し 50,000 回負荷した。

この規定回数に達する前に試片が脱落した際は，初期荷重の 10%を減じ，試片が生存した際は，荷重を 10%増加させ，段階的に荷重を負荷した。試片の脱落個数および段階的に負荷した荷重から剪断疲労接着強さを算出した。

7　研究結果・成果

実験 1 から得られた結果を表 1 および 2 に示す。

	Dual-cure SBS (MPa)				Dual-cure FSB (MPa)			
Etching mode Air blow	ER No Air	ER Mild Air	SE No Air	SE Mild Air	ER No Air	ER Mild Air	SE No Air	SE Mild Air
AFB+ASAC	11.7 (3.4)	12.6 (2.4)	18.9 (3.9)	22.3 (1.9)	7.3 (0.9)	6.4 (1.0)	9.4 (1.4)	10.7 (1.1)
SU+RX	26.2 (5.6)	36.5 (2.7)	27.2 (4.4)	36.3 (2.4)	16.1 (1.4)	19.9 (1.2)	12.3 (0.8)	15.7 (2.6)
CQ+SA	11.6 (2.8)	15.5 (3.4)	9.6 (2.3)	22.4 (3.0)	3.2 (0.8)	5.6 (1.1)	4.5 (0.5)	7.8 (1.4)

表 1 Dual-cure における剪断接着強さおよび疲労接着強さ

	Self-cure SBS (MPa)				Self-cure FSB (MPa)			
Etching mode Air blow	ER No Air	ER Mild Air	SE No Air	SE Mild Air	ER No Air	ER Mild Air	SE No Air	SE Mild Air
AFB+ASAC	9.4 (3.6)	9.8 (3.0)	10.1 (2.5)	9.1 (3.1)	3.5 (1.6)	3.2 (1.7)	4.3 (0.8)	4.9 (1.3)
SU+RX	20.6 (2.8)	26.8 (4.3)	17.5 (4.8)	15.7 (3.8)	10.4 (0.9)	13.1 (1.3)	6.9 (1.2)	9.2 (3.2)
CQ+SA	11.6 (4.1)	14.7 (3.3)	10.2 (2.9)	11.6 (2.9)	3.9 (1.1)	5.3 (1.8)	5.0 (1.0)	7.6 (0.9)

表 2 Self-cure における剪断接着強さおよび疲労接着強さ

すなわち，いずれの条件においても SU+RX は、剪断接着強さおよび接着疲労強さにおいて有意に高い値を示した。また、ユニバーサルアドヒーシブのエアブロー条件については，いずれの製品においても条件間で値の差が認められたものの，AFB+ASAC はエアブローの影響を最も受けにくかった。また，セメントへの光照射条件で比較すると，いずれのセメントにおいても光照射条件は，光照射を行わない条件と比較して高い接着強さおよび接着疲労強さを示した。

実験 2 から得られた結果を表 3～6 に示す。

	SBS (MPa)					
	ER: No	ER: Mild	ER: Strong	SE: No	SE: Mild	SE: Strong
AFB	43.5 (3.5)	41.5 (3.7)	41.0 (4.3)	32.8 (3.5)	31.6 (2.3)	25.8 (3.5)
SU	39.7 (2.5)	39.1 (3.3)	39.5 (3.2)	28.3 (3.1)	29.4 (3.1)	22.5 (3.2)
AU	34.6 (2.1)	38.1 (3.0)	32.6 (3.5)	28.8 (3.3)	30.9 (3.0)	21.7 (3.3)
CQ	29.6 (3.1)	36.4 (3.0)	37.6 (3.3)	16.4 (1.3)	24.9 (2.9)	18.7 (2.9)

表 3　エナメル質に対する剪断接着強さ

	FSB (MPa)					
	ER: No	ER: Mild	ER: Strong	SE: No	SE: Mild	SE: Strong
AFB	14.7 (1.8)	19.6 (1.1)	18.3 (1.4)	14.7 (2.0)	10.5 (1.7)	10.3 (1.2)
SU	17.9 (1.4)	18.3 (1.0)	19.4 (1.0)	13.1 (1.3)	9.1 (0.7)	10.7 (0.9)
AU	15.7 (0.5)	19.1 (1.1)	13.8 (1.4)	13.7 (1.1)	11.0 (1.7)	11.0 (1.7)
CQ	11.3 (1.0)	15.6 (1.9)	17.2 (1.3)	10.4 (1.3)	10.0 (0.9)	7.4 (1.7)

表 4　エナメル質に対する疲労接着強さ

エナメル質に対する剪断接着強さ（表 3）は、全てのユニバーサルアドヒーシブで SE モードより ER モードで高い値を示した。エアブロー条件の影響は材料により異なった。AFB および SU では，ER モードでいずれのエアブロー条件においても，その変化は小さかった。一方，SE モードでは強圧条件に低下した。AU は ER および SE モードにおいて中圧条件で最大となった。CQ は ER モードで中圧および強圧条件がエアブロー非実施条件より高く，SE モードでは中圧条件が最大であった。

エナメル質に対する FSB（表 4）も概ね ER モードで高い値を示した。AFB では ER モードで中圧および強圧条件で高い値を示したのに対し，SE モードではエアブロー非実施条件が最大で中圧および強圧条件で低下した。SU では ER モードでエアブロー条件による変化は小さく、SE モードではエアブロー非実施条件が相対的に高い値を示した。AU は ER モードで中圧条件が最大であり，SE モードではエアブロー非実施条件が高値であった。CQ は ER モードで中圧および強圧条件が高い値を示したものの，SE モードでは強圧で低下した。

	SBS (MPa)					
	ER: No	ER: Mild	ER: Strong	SE: No	SE: Mild	SE: Strong
AFB	22.3 (3.3)	22.8 (1.8)	16.8 (3.2)	33.7 (2.9)	29.5 (3.0)	15.1 (2.7)
SU	22.8 (2.1)	26.4 (3.0)	18.5 (3.3)	22.4 (3.5)	29.6 (4.4)	18.3 (3.4)
AU	20.9 (2.5)	21.1 (4.4)	20.7 (2.7)	24.6 (3.0)	31.3 (2.4)	19.6 (3.8)
CQ	8.1 (2.6)	18.9 (3.0)	12.2 (2.9)	12.2 (2.4)	25.3 (3.6)	17.5 (3.4)

表 5　象牙質に対する剪断接着強さ

〔７　研究結果・成果（つづき）〕

	FSB (MPa)					
	ER: No	ER: Mild	ER: Strong	SE: No	SE: Mild	SE: Strong
AFB	8.2 (1.1)	5.8 (0.7)	3.6 (0.7)	16.5 (1.8)	11.4 (1.7)	7.3 (0.9)
SU	9.7 (1.1)	15.4 (1.8)	7.6 (0.9)	8.7 (1.8)	13.8 (1.3)	6.1 (1.0)
AU	11.7 (1.0)	9.1 (0.8)	6.8 (0.9)	11.8 (1.3)	18.1 (1.3)	6.8 (1.9)
CQ	2.7 (1.4)	5.3 (1.8)	6.3 (0.9)	5.1 (1.2)	8.4 (1.1)	7.3 (1.2)

表 6　象牙質に対する疲労接着強さ

象牙質に対する剪断接着強さは，ER モードと比較して SE モードで高い値を示した（表 5)。また，エアブロー条件の影響は製品により異なる傾向を示した。すなわち，AFB では SE モードでエアブロー非実施条件が最も高く，強圧条件で低下した。一方，ER モードでは中圧までの変化は小さいものの，強圧条件で低下した。SU および AU では，SE モードで中圧条件が最も高く，強圧条件で低下した。ER モードでは SU は中圧条件で上昇し強圧条件で低下した。一方，AU では条件間の差は小さかった。CQ では，ER モードで中圧条件で上昇したものの，強圧条件で低下した。SE モードでは中圧条件で最も高い値を示した。

象牙質に対する疲労接着強さは，SBS と同様にエアブロー条件によって異なる値を示した。SE モードにおいて中圧条件で高い値を示し，強圧条件で低下する傾向が認められた（表 6)。AFB では SE モードでエアブロー非実施条件が最も高く，中圧および強圧条件で低下した。ER モードでもエアブローの強さの増加に伴い低下する傾向を示した。SU では ER モードで中圧条件が高い値を示し，強圧条件で低い値を示した。SE モードでも中圧条件で高値を示し，強圧条件で低下した。AU は SE モードで中圧条件が最も高く，強圧条件で大きく低下した。一方，ER モードではエアブローの強さの増加に伴い低下した。CQ では ER モードでエアブロー非実施条件から中圧および強圧条件で上昇し，SE モードでは中圧条件で高い値を示した。

得られた結果については，今後学会発表および論文として英文雑誌に投稿する予定である。

留学期間中，当初計画していた歯質接着材料研究は想定以上の成果を得ることができ，さらに関連する新たな研究にも着手する機会を得た。これらの経験は，今後の研究を国際的な視点で推進し，後進の育成へつなげるうえでも重要な基盤になると考えている。今後は得られた知見を日本大学へ還元し，日本の歯科界の発展に貢献できるよう尽力したい。末筆ながら，研究費のご支援ならびに長期海外出張の機会を賜り，支えてくださった関係各位に深く感謝申し上げます。

以　　上