

日本歯技

学術原稿テンプレート

サイエンス

表題 (貼り付け模型の支台接着力について)

氏名 松本 和久

KAZUHISA MATSUMOTO

所属 徳島県歯科技工士会所属

株式会社 シン

日本歯科理工学会認定 Dental Materials Adviser



1. はじめに

クラウンブリッジの模型製作において近年では貼り付け模型の使用も一般的であり、歯列模型を削り接着剤により貼り付けて製作することで、従来法であるダウエルピンを植立して製作する分割復位式模型より製作時間は短縮できる。

また従来法では2次埋没作業があり硬化後模型を分割する際、石膏の膨張収縮開放による影響を受けるがそれらの心配もない。(fig.1)



fig.1 貼り付け模型

貼り付け模型はメリットばかりと言う訳ではない。歯列模型を接着剤で貼り付け模型に張り付けるわけだが、接着条件によっては強固な接着を得られず接着部から剥がれるやすくなる可能性があり、デメリットと言える。

剥がれる状況が起こった場合、正しく元の位置に戻し接着し直さなければ、補綴物の精度に関わり再製作等に繋がる可能性がある。

剥がれる状況を避ける為にも歯列模型と貼り付け模型がより強固に接着を得られる条件を見出す事が重要となる。

今回、臨床の貼り付け模型製作時に起こり得る5種の条件を想定し、その条件下で疑似支台歯を使用し貼り付け模型へ接着を行う。(Table.1)

試験条件2は、模型製作の際に、歯列模型を湿式トリマーで削った後、歯列模型に水分を含んでいる状態で貼り付け模型に接着する事から、臨床的と言える。

試験条件5は、試験条件2と同じ条件だが、接着剤を冷やした状態での試験とした。

これは、接着剤の品質維持目的で、ラボの冷蔵庫に保管している場合も想定出来るため、この条件も追加した。

Table.1 試験条件1~5

条件	疑似支台歯	天板	
試験1	乾燥	乾燥	
試験2	水を湿らせた布で拭く	乾燥	
試験3	乾燥	水を湿らせた布で拭く	
試験4	水を湿らせた布で拭く	水を湿らせた布で拭く	
試験5	水を湿らせた布で拭く	乾燥	※接着剤冷蔵

上記の試験条件で、万能試験機を使用し、接着強さについて検証したので報告する。

2. 材料と方法

1) 使用材料

貼り付け模型を2種類(フェルカップ M-5 シングルタイプ, デイジー:以下 M-5) (フェルカップ T-5 ツイピタイプ, デイジー:以下 T-5) 使用し, 疑似支台歯には歯科用硬質石膏(キャストン イー, ケスト)を使用した。

接着にはアクリレート系接着剤(アロアルファ#253FTX, 東亜合成, :以下 253FTX)・(フェルボンド, デイジー)・(プレボンド, デンタス)3種類と硬化促進剤(アルファプライマー, ケスト)を使用した。

貼り付け模型と歯列模型が, 同一条件で接着出来る様に3Dプリンターで支台歯部分を疑似支台歯として製作後(fig. 2, 3), シコン印象により疑似支台を複数製作した。

臨床において, 支台歯隣接面に接着剤が覆う事が無い為, 疑似支台となる中央のブロック体と隣接面に接着剤を回さないための疑似隣接ブロックで出来ている。パレットがし易い様にV字型のノッチを入れた。

中央の疑似支台は, 幅 10mm, 奥行 15mm とし, 天板から 17mm 程度の高さを治具で作用しやすい形状となっている。

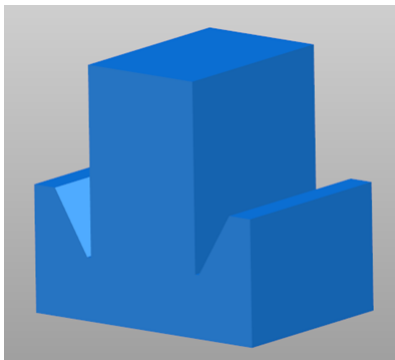


fig. 2 疑似支台歯の3次元データ



fig. 3 疑似支台歯(正面3次元データ)

接着の位置的条件を整えるために疑似支台歯を一定位置に接着する必要がある。

3Dプリンターを用いて“接着の位置決めをする治具”を製作した。(fig. 4)

位置決め治具はフェルカップを樹脂基台ごと覆い樹脂基台の肩上面および天板側面付近と接触して止まる形状とした。

天板上面との接触を避けることで接着の際はみ出した接着剤が治具と天板の接着を防ぐ。

貼り付け模型に接着した際の内部が確認できるように, 治具上部側面には疑似支台歯形状のくり抜きを設けている。(fig. 5)

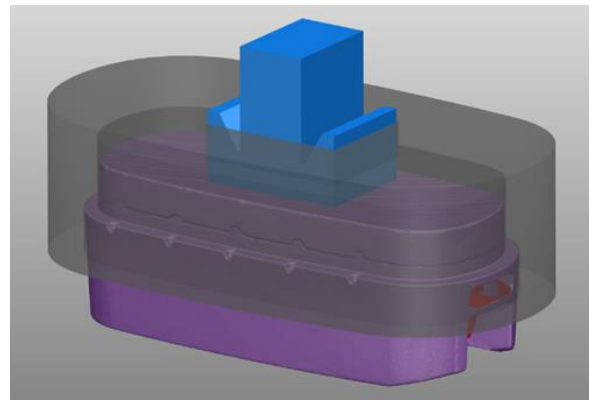


fig. 4 位置決め治具(3次元データ)

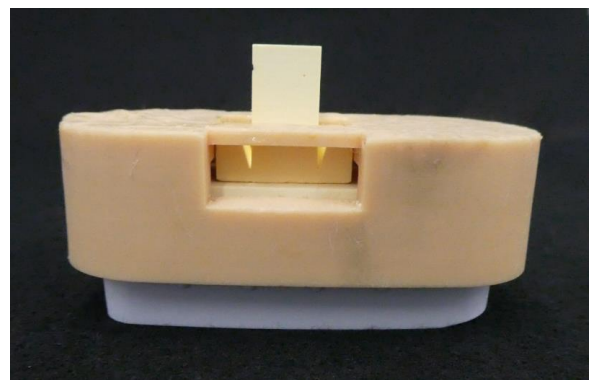


fig. 5 位置決め治具(側面確認窓)

2) 試験方法

貼り付け模型と疑似支台歯の接着前の条件を5種,

接着剤の種類を 3 種, 各条件において N=20 とした. (Table. 1)

貼り付け模型 M-5 及び T-5 に疑似支台歯を接着し, 接着後すぐに硬化促進スプレー(アルファプライマー, ケスト)を吹き付け硬化させ 5 分間静置する.

その後, 疑似支台歯に設けた V ノッチに沿ってカレットする. 真ん中の疑似支台歯だけ残り隣接は除去する. 疑似支台歯が接着されている天板と樹脂基台も接着し試験片を製作した.

押し治具が疑似支台歯に負荷をかけられるように万能試験機(島津製作所 AGS-X 精密万能試験機)へ装着し(fig. 6), 最大試験力[N]を計測した.

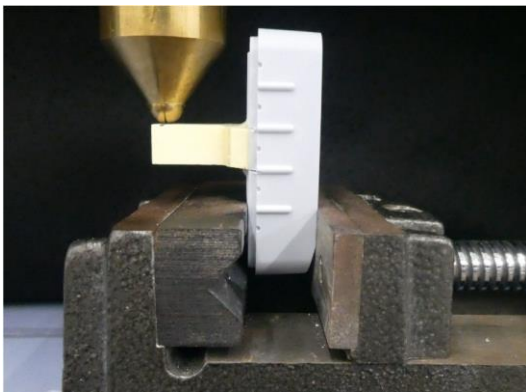


fig. 6 3点曲げ試験機への装着

3) 評価方法

具体的にどの程度の負荷がかかると剥離(もしくは破壊)するかを知るため評価は最大試験力[N]を比較することとした.

また, 試験片接着面の剥離/破壊の形について大別して 4 種類の壊れ方が発生しておりその発生率についても算出し評価した.

3. 結果

すべての試験条件および接着剤で実施した実験の最大負荷を M-5 と T-5 に分けまとめたグラフを示す. (fig. 7. 8)

試験条件の変に伴う最大試験力の変化について M-5 と T-5 に分け表に示す. (Table. 2. 3)

また, 試験片接着面の剥離/破壊形状について 4 種類大別し表に示す. (fig. 9)

発生率についてもそれぞれに示す.

(※偶発的に接着剤が支台歯の外へはみ出なかった試験片については「無し」とカウントした)

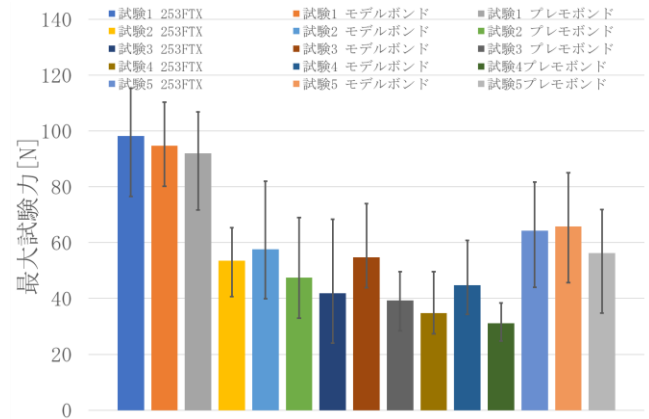


fig. 7 最大試験力比較(M-5)

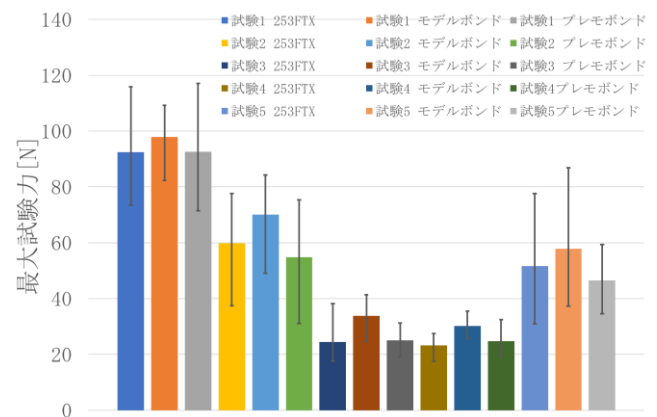


fig. 8 最大試験力比較(T-5)

Table. 2

試験条件の変化に伴う最大試験力の変化(M-5)

253FTX			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	98.2	0.0	0%
試験条件2	53.5	-44.8	-46%
試験条件3	41.8	-56.4	-57%
試験条件4	34.8	-63.4	-65%
試験条件5	64.2	-34.0	-35%
モデルボンド			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	94.7	0.0	0%
試験条件2	57.6	-37.2	-38%
試験条件3	54.8	-40.0	-41%
試験条件4	44.7	-50.0	-51%
試験条件5	65.9	-28.9	-29%
プレモボンド			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	92.0	0.0	0%
試験条件2	47.5	-44.4	-45%
試験条件3	39.4	-52.6	-54%
試験条件4	31.2	-60.8	-62%
試験条件5	56.2	-35.7	-36%

Table. 3
試験条件の変化に伴う最大試験力の変化(T-5)

253FTX			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	92.4	0.0	0%
試験条件2	59.7	-32.6	-35%
試験条件3	24.5	-67.9	-74%
試験条件4	23.2	-69.2	-75%
試験条件5	51.6	-40.8	-44%
モデルボンド			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	97.8	0.0	0%
試験条件2	70.0	-27.8	-30%
試験条件3	33.9	-64.0	-69%
試験条件4	30.2	-67.7	-73%
試験条件5	57.8	-40.0	-43%
プレモボンド			
	最大試験力	対 試験条件1	対試験条件1比率
試験条件1	92.6	0.0	0%
試験条件2	54.8	-37.8	-41%
試験条件3	25.0	-67.6	-73%
試験条件4	24.7	-67.9	-74%
試験条件5	46.5	-46.1	-50%

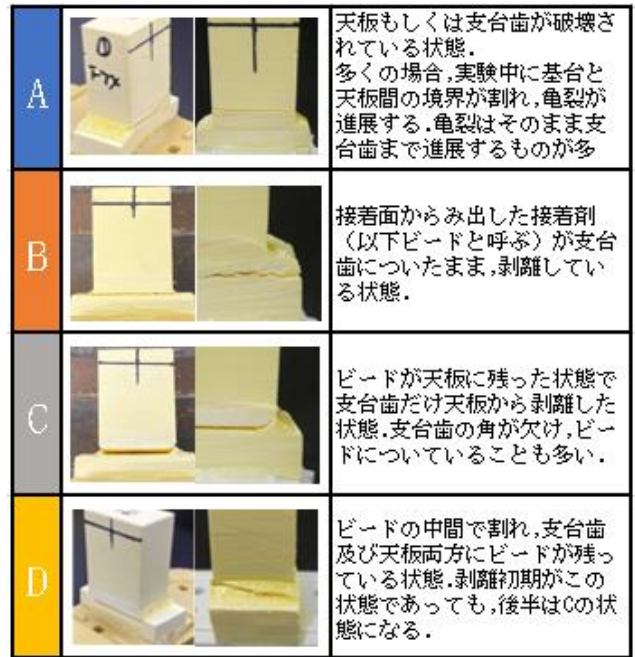


fig. 9 4種類に大別した剥離/破壊の形状について

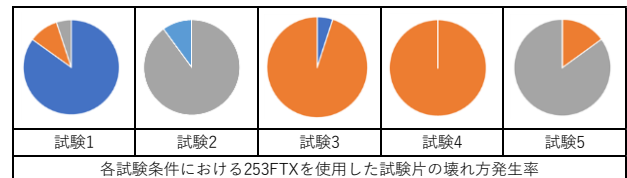
1)M-5

253FTX

253FTXを使用した実験では試験条件1の支台歯及び天板共に乾燥状態が最も大きな値となり次点で試験条件5が大きな値となった。

試験条件2,3,4に関しては誤差範囲を加味するとほぼ同等であるように見られるが、平均値で比較した場合、わずかに試験条件2の最大試験力が大きく次点で試験条件3さらに試験条件4の順番となった。次に試験片接着面に見られた破面状態の発生率を示す。(Table. 2)試験条件1ではパターンAの破面が85%を占めており試験条件2及び5はパターンC、試験条件3,4に関してはパターンBが主に発生していた。

Table. 4 253FTXを使用した試験片の壊れ方 (発生率)



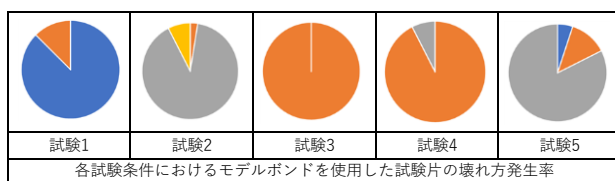
各試験条件における253FTXを使用した試験片の壊れ方発生率

モデルボンド

253FTX での結果と同様に最大試験力では試験条件 1 が最も大きな値を示し次点から試験条件 5, 2, 3, 4 の順番であった。試験条件 2 から 5 に関しては誤差が広い範囲で重なっているため有意差があるとまでは言えないと考えられる。

次に試験片接着面に見られた破面状態の発生率を示す。(Table. 5) こちらも 253FTX と同様に試験条件 1 ではパターン A, 試験条件 2, 5 ではパターン C, 試験条件 3, 4 ではパターン B が主に発生している様子が確認できた。

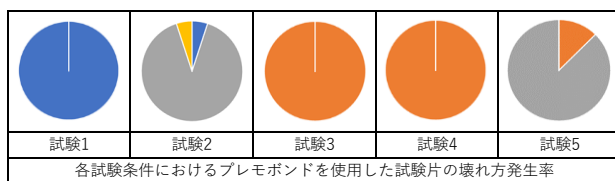
Table. 5 モデルボンドを使用した試験片の壊れ方 (発生率)



プレボンド

最大試験力の大きさ比較及び各パターン破面の発生率 (Table. 6) について細かな数値は異なるが、253FTX 及びモデルボンドと同様の傾向が見られた。

Table. 6 プレボンドを使用した試験片の壊れ方 (発生率)



各試験条件においてそれぞれの接着剤を使用した実験結果を比較する。

最大試験力の平均値において Table. 2 より、試験条件 1 では 253FTX, モデルボンド, プレボンドの順に大きな値となった。

その他の試験条件ではモデルボンドがわずかに強く、次点で 253FTX, プレボンドと続く結果が得られた。

ただし、どの試験条件においても誤差範囲がほぼ重なっていることから有意差があるとまでは言えない。次に破面の発生率について、試験条件 1 ではどの接着剤でもパターン A の状態で破壊されており、試験条件

2 ではパターン C, 試験条件 3, 4 ではパターン B, 試験条件 5 ではパターン C が主に発生していた。(Table. 7. 9)

2) T-5

253FTX

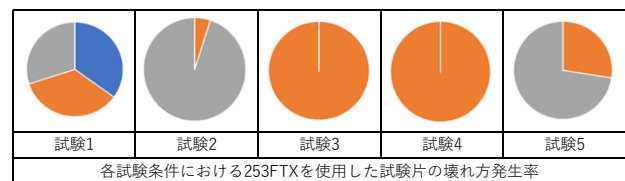
最大試験力については M-5 での実験と同様の傾向 ※1 が見られた。

しかし、Table. 6 に示す破面の状態に関して試験条件 2, 5 では主にパターン C, 試験条件 3, 4 についてはパターン B の破面となっている場合が多かった。この傾向は M-5 での実験と同様の傾向である。

しかし、試験条件 1 の破面に関しては、M-5 の実験ではほぼパターン A で破壊されていたのに対し、T-5 ではパターン A, B, C がほぼ同じような割合で発生している。

※1: 試験 1 が最も強く、次点で試験 2, 5, さらに試験 3, 4 ではさらに最大試験力が低くなる傾向。(Table. 7)

Table. 7 253FTXを使用した試験片の壊れ方 (発生率)

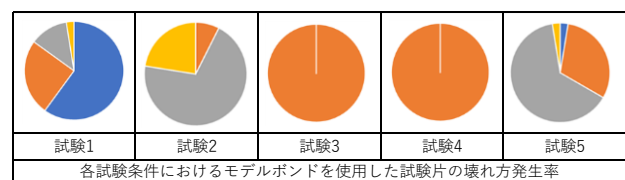


モデルボンド

Table. 3 より、最大試験力における各試験条件の結果を比較すると、253FTX の結果と同様に M-5 での実験と同じ傾向が見られた。

破面の状況に関しては、試験条件 1 ではパターン A が 60% と最も多く発生しているが、パターン B も 25% 程度発生している。試験条件 2 及び 5 では、主にパターン C が発生しているが、それぞれパターン D やパターン B も合わせて 30% 前後発生している。試験条件 3, 4 に関しては安定してパターン B が発生している。(Table. 8)

Table. 8 モデルボンドを使用した試験片の壊れ方 (発生率)

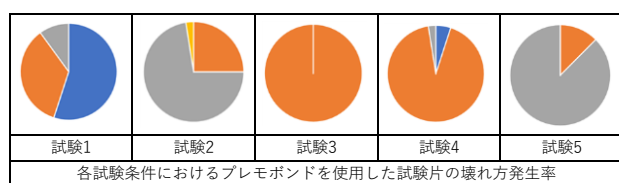


プレボンド

最大試験力の大きさについて、細かな数値は異なるが、上記の 253FTX とゼムボンド と同様の傾向が見られた。

破面については、試験条件1に関してはパターンAが55%発生していたが、同時にパターンBも35%発生していた。試験条件2及び5に関しては、主にパターンCが発生しているが、パターンBも25%及び13%程発生している。試験条件3,4はほぼパターンBとなっていた。(Table.9)

Table.9 プレボンドを使用した試験片の壊れ方(発生率)



各試験条件においてそれぞれの接着剤を使用した実験結果を比較する。

試験条件1に関して、平均値ではわずかにゼムボンドが大きな値となったが、その他の接着剤での結果と誤差範囲もほぼ重なっており同等と見られる。

破面の状況に関して、ゼムボンド及びプレボンドではパターンAが比較的多く発生しているが、パターンB(25%以上)やパターンC(10%~30%)も発生しておりM-5での実験結果と比較すると破面の発生の仕方が不安定であるように見える。

続いて試験条件2について、最大試験力の平均値ではゼムボンドが最も高く破面の状況はどの接着剤でもパターンCが多くM-5での実験とほぼ同じ傾向が見られる。

しかし破面についてはパターンBやCが見られることもありM-5と比較すると不安定でもありと考えられる。試験条件3,4についても接着剤別に最大試験力を比較するとゼムボンド、253FTX、プレボンドの順で強かった傾向が見られた。

しかし全体的にM-5での実験結果よりも最大試験力が弱くなっている様子も見られた。

次に破面の状況に関してはほぼパターンBとなっており、壊れ方に関しては傾向が安定しているように見える。試験条件5に関して、その他の試験条件と同様に最

大試験力はゼムボンドがその他2つの接着剤よりも少々強い様子であった。

また、破面の状況に関しても試験条件2と同様の傾向で、主にパターンCが発生しており、次点でパターンBが見られた。

4. 考察

1)M-5

①同条件における各種接着剤を使用した試験片の最大試験力は、誤差範囲を加味するとほぼ同等と見えるが、平均値比較だと試験条件1では253FTXがわずかに強く、その他の試験条件ではゼムボンドが強かった。

②試験条件ごとに比較すると、天板/支台歯が乾燥している場合、接着部は十分な耐力を持つが、湿気を帯びていると乾燥状態に対して40%~60%程耐力が低下する。(Table.4)

③冷えた接着剤を用いた場合でも最大試験力が極端に低下することはない、今回の検証では試験条件2と比べおよそ10%前後向上が見られた。

④試験片の破面状況は接着剤が使用される環境に依存する。最大試験力が最も大きい試験条件1はパターンAが主に発生したが、これは支台歯及び天板が共に乾燥状態であり、十分に接着力が得られたため石膏よりも接着部の方が強くなり天板や支台歯から破壊が進じたためであると考えられる。

これに対し、試験条件2及び5では疑似支台歯が湿気を持っていたため疑似支台歯と接着剤間の接着力が低下し、逆に接着剤と天板間では天板は乾燥状態であるため十分な強度で接着できたとすると、試験時には接着力の低下した支台歯と接着剤の界面から剥離が起こったと考えられる。これはアクリートの特性によるもの大きい。

また試験条件3に関しては、試験条件2における条件が支台歯-接着剤間及び接着剤-天板間で逆のことが起こったと考えられる。

さらに試験条件4では、支台歯及び天板が共に湿気を帯びている状態であったが、パターンBが多く発生していた。

これは支台歯及び天板の接着面自体は同等に接着力が低下している状態で、接着剤が支台歯を抱えこむ

ようにはみ出し支台歯側面(乾燥状態)に付着したことにより、支台歯-接着剤間と接着剤-天板間で若干の強度差が発生し、接着剤-天板間で剥離が発生したと考える。

1)T-5

①最大試験力の数値など詳細については異なるが、各種条件における最大試験力の強弱や、破面の状況では多くの部分でM-5での実験結果と同様の傾向が見られた。

試験条件1に対してその他の試験条件で最大試験力がどのように変化したかTable. 3に示す。

これに関しても試験条件3,4は試験力の低下が大きく、試験条件5は試験条件2よりもおよそ10%程度強度がさらに下がるなどM-5と同様の傾向が見られる。

②M-5での実験結果との違いとしては、破面^{パタン}の発生状況があげられる。M-5では主たる破面の状態は少なくとも83%以上発生しているのに対し、T-5では70%台以下が散見された。

T-5の^{エポック}はM-5と比較して天板が細くかつ^{グワル}ピ^ンが2本あるといった違いがある。

天板の細さに注目した場合、疑似支台歯を天板に接着した時の接着剤の広がり方(面積)に差が発生することで強度へ影響を及ぼすことが考えられる。

具体的にはT-5では天板が細い分、M-5よりも天板に広がる接着剤が狭くなる分強度が低くなることで破面の^{パタン}が不安定になった可能性が考えられる。

しかし基本的に試験片作製手順は^{ルール}に従っているが、接着剤の塗布や^セレ^{ート}は人力で行っているため誤差が発生する要因になる。

③以上のことからT-5を用いた実験でM-5での結果と差異が見られた原因については現状特定が難しいため考察を続けたい。今回使用した^シア^クリ^{ート}系接着剤の注意点として以下の内容になる。(以下参考文献1引用)

・接着剤は塗布する面が^{ホリ}・^水・^油で汚れていたらな
じまない。

・接着剤を塗布する面は、適切に拭く、十分に乾燥した状態である必要がある。

・接着剤塗布におけるポイントは「薄く均一に」が基本となる。

・接着したい2つの^{モノ}を一体化させるため、接着剤はなるべく薄い方が好ましい。

次に今回使用した接着剤の成分である^シア^クリ^{ート}系接着剤の耐久性と特徴を表記する。(Table. 10)(以下参考文献2引用)

Table. 10

^シア^クリ^{ート}系接着剤の耐久性と特徴

長所	短所
瞬間で接着する	衝撃、剥離強度が低い
常温で一液で固化する	硬化物の柔軟性が無い
せん断、引っ張り強度が良好	耐熱温度がやや低い
低粘度で浸透接着が可能	

^シア^クリ^{ート}の接着強度の低下要因について大きく分け、以下の3要因が挙げられる。

①高温

^シア^クリ^{ート}系接着剤は、主成分^シア^クリ^{ート}の重合物が熱に弱い^{ため}熱に伴う要因で接着が低下する。
^{プラスチック}などで80℃程度が耐熱の上限としている。

②水・湿度

水分の存在下では^シア^クリ^{ート}の^{エステル}部の加水分解が起こり接着の強度低下を引き起こす。

③衝撃

^シア^クリ^{ート}の硬化物は硬くて脆い^{ため}衝撃が加わると硬化物に^{クラック}が生じ、強度が著しく低下する。

5. おわりに

貼り付け模型の接着に最適で、接着剤の能力を最大限に生かす方法は、試験条件 1 の作業模型が乾燥状態で、貼り付け模型天板も乾燥している状態が望ましい事が実験の結果から分かった。

また、上記の接着剤の性質から、貼り付け模型接着時の注意点として、歯列模型の底面接着面と貼り付け模型天板部の汚れをフォームリナー等でしっかり取り、その後乾燥させる事が重要である。

補綴物製作時にはコック調整中に過度な側方圧が掛かり過ぎないように注意し、接着部に直接フォームリナーを当てない様に注意する必要がある。

一般的に石膏でカットした模型を咬合器から外す際、水やお湯に漬けることで、石膏の膨張差を利用し、石膏鉗子によって咬合器から外す事が一般的だが、その様な行為は接着剤の加水分解や、お湯の熱による接着材の強度低下を招く。

また咬合器を外す際の、石膏鉗子等を使用した衝撃により、接着剤にクラック等が発生する可能性もあり、模型を守る対策が必要だ。

プラスチック基台の貼り付け模型には咬合器装着用の専用アダプター等があり (fig. 20)、咬合器装着から外す際にもワンタッチで負荷がかかる事が少なく、それを活用することを勧める。



fig. 20 咬合器専用アダプター

上記の点に注意して作業を行えば接着剤の接着力を最大限に生かし作業する事が可能である。

補綴物製作中に作業模型が貼り付け模型から剥がれてしまうトラブルが起こった際には、fig. 9 に示す“4 種類に大別した剥離/破壊の形状”を参考にさせて頂きたい。

実験結果の傾向から剥がれた原因の解明と改善する手法を導き出せる。

参考文献

- 1)セグイホーページより
- 2)安藤裕史. シアクリート系接着剤の耐久性向上技術. マテリアル学会誌. 2016 年 28 巻 1 号 p. 6-11