

接 着 概 論

Outline of Adhesion



接着概論

『接着概論』とスーパーボンド®への理解 安田 登

スーパーボンドは1982年に歯科用接着材料として発売され、現在に至るまで
歯科治療に多大な貢献をしていることは周知の事実です。

しかし、従来の歯科材料とどう違うのか、どのようなメカニズムで歯質や金属材料などに
接着しているのかは十分理解されているとは言えません。

それに、そもそも接着というのはどういう現象であるかについても分からないことが
多いようです。

臨床だけが先行し、接着理論が後回しになったからとも考えられます。

そこで、ここでは接着のメカニズムについて
簡単に整理してみましょう。



1 接着ってどういうこと?

まずは「**接着**」という言葉を考えてみましょう。

定義は「**2つの異質の物体が近接して、相互にくっつき合うこと**」とされています。異質の物体は近づけば近づくほど結合力が大きくなりますが、両者が近づくためには固体よりも流動体の方が有利なのは明らかです。

身近な例として切手を考えてみましょう。

切手は裏面に固化している接着材が付着しています。

しかし、このままどんなに強い力で押しつけても封筒につくことはありません。しかし、接着面を水につけて流動体にすると切手は封筒に近接し結合力が発揮されます。

つまり**接着力が強固に発揮されるには、固体に近接しなければならない、それには流動体でなければならないこと**が分かります (図2-1)。

ただ、流動体のままでは十分な力は発揮されません。

それをガラス板と水を用いた実験をもとに考えてみましょう。2枚のガラス板の間に水が挟まると、ガラスは緊密に結合して簡単には外れません。適合の良い総義歯が外れにくいと同じ原理です。

それでも接着力が発揮されますが、間に挟まった水を凍らせると二つのガラス板はさらに強固に結びつき、ちょっとやそっとでは外れません (図2-2)。

つまり**接着材は最初は流動体で、被着体に近接したら、今度は何らかの力で固化することによって強固な結合力を発揮します** (図2-3)。製氷機の中の氷を触ると指に張りつく現象も同じ原理です。

その強固な結合力を発揮するには、今度は**固化した接着材と付けられた物体(被着体)との間に何らかの引き合う力が存在しなければなりません**。

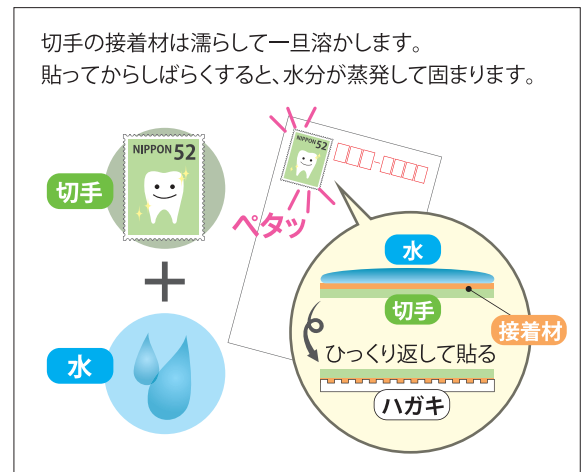


図2-1. 切手はそのままではつかない。
しかし糊の部分濡らすと簡単につくようになる。

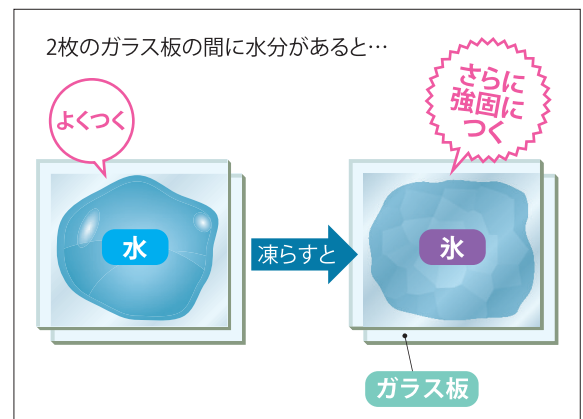


図2-2. 2枚のガラス板の間に水が存在するとよくつく。
水を凍らせるとさらに強固につく。

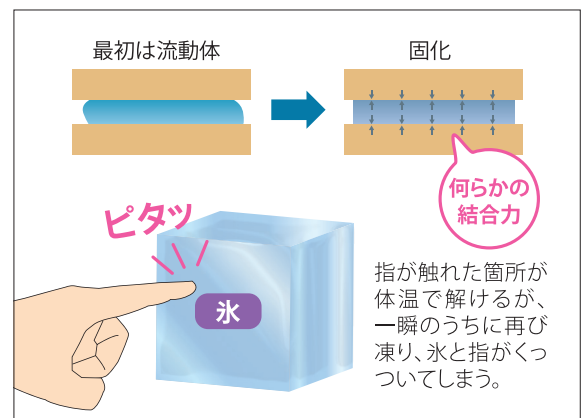


図2-3. 接着が生じる原理(はじめは流動体。被着体に近接して強い結合力を生む)

2 それぞれの被着体にはどんな力についているのか？

その何らかの力にはどういう種類のものがあるのでしょうか。

前述のように接着材は、「近づく→固まる→結合力を発揮する」の順番で接着力が生じます。実際の接着はいろいろな要素が絡み合って接着力が発現されていますが、大きく分けると以下の2つになります。

被着体表面に濡れて固まる ＜化学的・物理的結合タイプ＞

すべての接着は基本的には濡れて固まるのですが、主に接着材と被着体とが一次結合や水素結合、ファン・デル・ワールス力などの化学的、あるいは物理的な結合力で接着するタイプです（図2-4）。

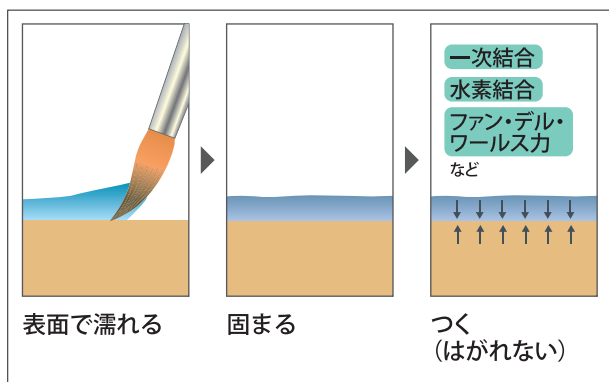


図2-4. 被着体表面に濡れて固まるタイプ。

濡れれば濡れるほど強い接着力を示す。

接着界面には主に化学的・物理的結合を生じる。

入り込んで固まる ＜機械的結合タイプ＞

もう一つは、入り込んで固まり、抜けなくなることによって接着力を発揮するタイプです。このタイプは化学的、あるいは物理的な反応を起こすことによって生じる結合力よりも、主に機械的な嵌合力が中心になります（図2-5）。

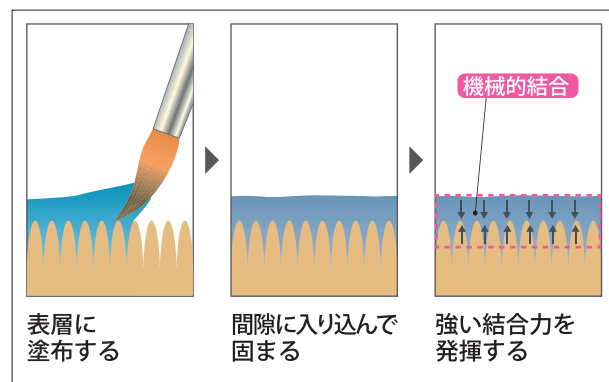
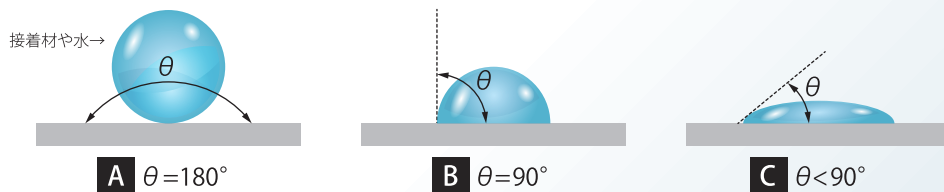


図2-5. 被着体表層に入り込んで固まるタイプ。

入り込む深さが深いほど、また単位面積当たりの密度が高いほど強い結合力を生む。主に機械的結合力で結びついている。

濡れが良いほど接着力は高くなる！ 一濡れと接触角の関係一



濡れの良否は結合力の強度に影響するが、これを接着材と被着体との間の接触角 θ で表すことができる。Aが、最も濡れが悪く、Cが最も良い状態である。



3 歯科で接着のタイプを分類すると

それでは、歯科治療における被着体で接着のタイプを分類してみるとどうでしょう？

接着のタイプ別に分けた各種被着体

接着のタイプ	被着体	主な接着機構
被着体表面に濡れて固まる ＜化学的・物理的結合タイプ＞	貴金属合金	硫黄 (S) との相互作用
	非貴金属合金	水素結合
	セラミックス	シロキサン結合
	コンポジットレジン	
	硬質レジン	
入り込んで固まる ＜機械的結合タイプ＞	エナメル質	投錨効果 (アンカリング)
	象牙質 セメント質	樹脂含浸層
	MMA系歯科用レジン	微小な機械的結合

表に接着の対象となる歯質や、歯科で用いられる修復材料に対する接着をタイプ別に分けてみました。被着体表面に濡れて固まる（化学的・物理的結合）タイプには、修復に使用する歯科材料のほとんどが含まれます。主な結合力は非貴金属合金では水素結合、貴金属合金は接着性モノマーに含まれる硫黄 (S) 成分が貴金属合金と相互作用を示します。セラミックス、硬質レジンや硬化後のコンポジットレジンではシロキサン結合や水素結合です。

入り込んで固まる（機械的結合）タイプには、エナメル質、象牙質、セメント質などの歯質と、普通の歯科用レジン（主成分は液がメチルメタクリレート：MMA、粉がポリメチルメタクリレート：PMMA）が挙げられます。

エナメル質の接着ではエナメル小柱間質に入り込んだレジンが抜けなくなることを船の錨（アンカー）に例えて投錨効果（アンカリング）と呼んでいます。象牙質の接着には脱灰された表層象牙質に接着性レジンが浸透、拡散、硬化してできる樹脂含浸層が主体となります。

臨床でよく使用されるMMA系歯科用レジンも入り

込んで固まるタイプに属します。義歯の破折修理や暫間被覆冠 (TeC) の調整など便利に用いられている即重レジンとは、同じレジンで接着したのだから化学的結合と思われる方も多いのですが、実際は重合硬化してPMMAとなったレジン（たとえば義歯床）の中に、液体（モノマー）が入り込んで固まり抜けなくなるものです。

ところが同じレジンと言っても硬質レジンや硬化後のコンポジットレジンが被着体の場合は入り込んで固まるタイプではなくて、前述の濡れて固まるタイプに分類されます。コンポジットレジンとはレジンに硬く丈夫な性質にするために、レジンの中にたくさんの無機質のフィラーを入れています（重量比で60～90%）。レジン成分（マトリックス）には機械的性質を向上させるために普通の歯科用レジンとは異なるレジンが配合されています。それは多官能性メタクリレートといって、重合して固体になると緻密な3次元構造体となり、硬く、しかも溶剤に対しても抵抗力のあるものとなります。ということは接着性レジンモノマーが塊の中へ簡単には入り込めないことを意味しています。

従って、硬質レジンや硬化後のコンポジットレジン

に接着させるためには他の方法を選択せざるを得ないのです。マトリックスレジンに対して接着が期待できないのならば、多量に含まれている無機質のフィラーをターゲットにする他はありません。幸いフィラーは無機質、つまりセラミックスと同じような性質を持っていますから、それに狙いを定めて接着をおこないます。従って、レジンといってもセラミックスと同じ処理となるわけです。

以上、接着のタイプ別に被着体とそれぞれの主な接着機構について述べましたが、もちろん接着機構の1つだけですべてが解決できるわけではなく、実際にはいくつかの要素が重なり合って成り立っています。ですから化学的・物理的結合が期待される場合でも、機械的結合も得られるような前処理が必要となります。修復物内面に施すサンドブラスト処理、支台歯に対しておこなうエッチング処理などがそれに相当します。

4 臨床家から見たスーパーボンド®

これまで述べた概論を踏まえて、スーパーボンドの諸性質を臨床家の視点で考えてみます。

重合特性

接着操作をおこなう口腔内の環境は常に水分と、空気すなわち酸素に曝されています。しかもどんな手段をとっても、水分と酸素を完全には遮断できません。従って、水分や酸素の存在下でも接着力が期待できる材料が求められます。2枚のガラス板に挟まった水を氷にするためには冷やすだけで良いのですが、接着性レジンでは重合開始剤でモノマー成分を重合させる必要があります。重合開始剤には、ボンディング材のように光と反応するものや、即重レジンのように2つ以上の成分を混合して反応するものなどがあります。しかし、残念ながらそのほとんどにとって水分や酸素は重合阻害になることが知られています。光照射して重合させた直後のボンディング材表面に重合していない部分(未重合層)が残るのは、酸素による重合阻害によるものです。

一方、スーパーボンドの重合開始剤である**TBB**(トリ-n-ブチルボラン)は、水分や酸素が存在する環境下でも反応するという特異的な性質をもっています。湿潤した口腔内であってもしっかりと重合するのはこのためです(図2-6)(図2-7)。

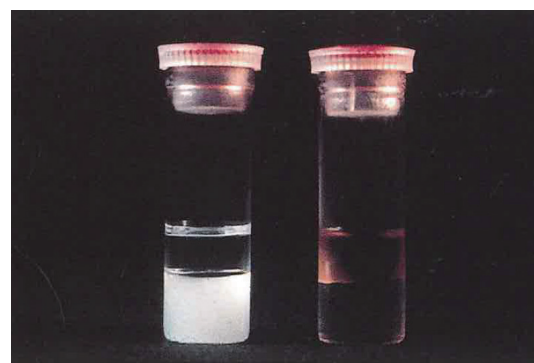


図2-6. MMA-TBB系は、水との界面から重合する(左)。BPO-アミン系は水と無関係な内部から重合する(右)。

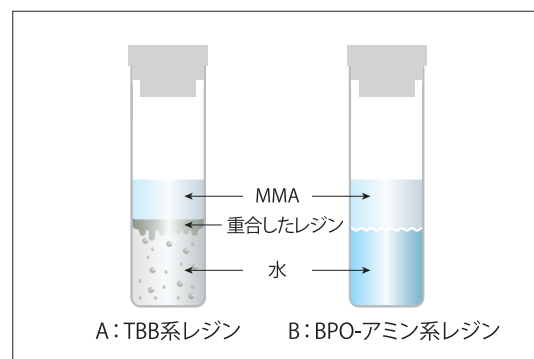


図2-7. 図2-6の模式図を示す。TBB系レジンとは水との界面から重合し、重合物が水中に懸濁する(A)。MMAは重合収縮して水面から離れる(B)。

引用文献：増原英一：歯科用接着性レジンと新臨床の展開、クインテッセンス出版：17.2001.

浸透性

接着の1つに小さな間隙に入り込んで固まるタイプの機械的結合があることは前述の通りです。その際、分子量が100という**MMA**（メチルメタクリレート）がモノマーの主成分であるスーパーボンドは、接着性材料として非常に小さな分子構造を持つため、微小な間隙にも入り込むことができます（表2-1）。

更に、拡散促進モノマーである**4-META**を含有しているため、歯質にしっかりと浸透して拡散します。

表2-1. モノマーの分子量

モノマー名	分子量
MMA	100
TEGDMA	286
UDMA	470
Bis-GMA	512

分子量の小数点以下省略

汎用性

スーパーボンドは発売以来、細菌学的・病理学的な分野の研究もおこなわれてきました。

それらの研究により、スーパーボンドで形成された良質な樹脂含浸層が細菌や外部刺激をシャットアウトして歯髄を保護するという機能が見出されました¹⁾。

スーパーボンドは多岐にわたる基礎研究や臨床例が数々の文献などで報告されており、う蝕治療や修復処置だけにとどまらず幅広い用途で活用されています。

以上、「接着」について解説しました。

日常臨床において「接着」は患者様からの信頼にも関わる重要な要素です。

文 献

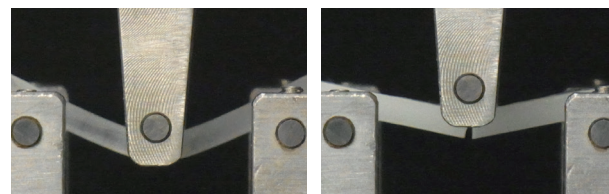
- 1) 中林宣男：樹脂含浸象牙質の機能について ,AD,13(1),8-13,1995.
- 2) 増原英一ら：フルセラミック・クラウンと支台の接着による補強効果 ,QDT 別冊：デンタルファインセラミックスの現状を探る ,61-64,1986.
- 3) 村原貞昭ら：CAD/CAM ハイブリッドレジン冠の繰り返し衝撃荷重に対する破折抵抗性 ,AD,35(1),1-5,2017.

硬化体特性

接着性レジンセメントは、無機質のフィラーを含まないMMA系レジンセメントと、無機質のフィラーを含むコンポジット系レジンセメントに大別されます。MMA系レジンセメントであるスーパーボンドは、コンポジット系レジンセメントと比較して柔軟性と粘り強さがあります（図2-8）。

特に耐衝撃性が弱いセラミックス、硬質レジン、コンポジットレジンなどの修復物に使用することで、修復物に加わる衝撃を緩和します^{2),3)}。

図2-8. 接着材料の3点曲げ試験



スーパーボンド

コンポジット系レジンセメント
(サンメディカル社製)

操作性

スーパーボンドは操作が面倒なので使わないという声を聞くことがあります。一方、最近では操作性を改良したポリマー粉末やエナメル質・象牙質兼用のセルフエッチングプライマーである「ティースプライマー」が販売され、操作性が向上したと言う声も多く聞かれるようになりました。

また、スーパーボンドは筆積法と混和法の2通りの使用方法を適宜使い分けることによって、多くの症例に対応できます。操作方法のポイントをしっかりと押さえれば簡単に使用できます。



安田 登 先生

Profile

1944年 東京都出身
1971年-1973年 パリ大学医学部大学院（フランス政府給費留学生）
1975年 東京医科歯科大学大学院卒（医用器材研究所有機材料部門）
1986年 東京医科歯科大学歯学部講師
1999年 東京医科歯科大学歯学部臨床教授（～2006年）
2000年 東北大学歯学部 非常勤講師（～2005年）
2012年 歯科医院 キャビネ・ダンテール御茶ノ水院長
NPO法人「歯と口の健康を守ろう会」理事長
元日本接着歯学会副会長
日本補綴歯科学会代議員

2022年12月 ご逝去（享年78歳）

安田先生の歯科界への多大なるご功績と弊社への長年のご支援に対し、
サンメディカル社員一同、深い敬意と追悼の意を捧げ、心よりご冥福を
お祈り申し上げます。

一般的名称	販売名	医療機器認証番号	機器分類
歯科接着用レジンセメント	スーパーボンド	221AABZX00115000	管理医療機器
歯面処理材	ティースプライマー	222AFBZX00100000	管理医療機器

■ご使用に際しては、必ず添付文書等をお読みの上、正しくお使いください。

2023年4月発行

三井化学グループ

 **サンメディカル株式会社**

本 社／〒524-0044 滋賀県守山市古高町571-2 TEL:077-582-9980

☎0120-418-303（FAX共通） 電話受付時間：月～金（祝日を除く）午前9:00～午後5:30

<http://www.sunmedical.co.jp>