

ユーザー目線で役立つ

接着の 材料選定と 構造・プロセス設計

原賀康介 著
Kousuke Haraga

設計者と生産技術者の
密な連携で最適接着を実現!



電気・
電子機器の
接着組立に
長年携わる
著者が
手ほどき

接着剤
選びの
指針

候補の
絞り込み

構造・
プロセス
設計

日刊工業新聞社

まえがき

接着剤による接合・組立は、多くの産業分野で多種多様な部品や製品に適用され、組立の要素技術の一つとなっています。しかし、接着の技術は化学的な側面が強く、化学になじみが少ない部品や機器の設計・生産技術者には扱いにくい技術であることも事実です。

筆者は、総合電気機器メーカーで39年間にわたって接着の適用技術開発に従事してきました。そして退職後、接着剤を用いてもものづくりをする企業を対象としたコンサルタント会社を設立し、これまで多くの企業の技術者が抱える接着に関する悩み事の相談に乗ってきました。その中で、それまで化学系の企業や技術者を中心に発展してきた、接着の技術の考え方やアプローチの仕方が接着剤のユーザーにはなじみにくく、多くの課題があることに気づかされました。

第一の課題は、接着は主に化学的な結合であり、接着剤そのものも化学品であるため、どのように結合しているのか、接着剤が硬化すると接着剤の内部はどのような構造になっているのかなど、五感で判断することは非常に難しく、出来映えの良し悪しがわかりにくいという点です。

第二の課題は、化学系技術者と機械系技術者のように技術分野が異なる技術者間では、専門知識や感覚の違いから思うように意思の疎通が図れないということです。筆者は長年にわたって電気・電子機器の接着組立技術の開発に携わってきましたが、一つの製品を開発して完成させるまでには機械系技術者、電気・電子系技術者など化学系ではない多くの技術者が関わります。接着に関する部分では化学系の材料関係技術者が関わりますが、技術分野が異なる技術者間の意思疎通には苦勞しました。

第三の課題は、多くの接着剤の中から最適な接着剤をどうやって選べばよいのかということがあります。実際、筆者も多くの接着剤の選定を行ってきましたが、化学系技術者の方々が指南されている選定方法では目的のものに行き着くのは困難を極めます。

第四の課題は、接着の設計法や指針が明確化されていないため、設計者にとって接着を扱うのは大変な労力を要するという点です。

そこで、接着剤を用いて部品や機器を製造する設計・生産技術者の方々の悩みを、少しでも解消するために本書を執筆しました。

接着は多くの技術の境界領域に位置する技術であり、関連するすべてのことを知るに越したことはありませんが、多忙な企業の技術者が専門領域外の技術まで習熟することなど到底できることではありません。実際、接着に関わる立場によって必要な技術と知らなくてもよい技術は異なっています。そこで第1章では、部品や機器の設計・生産技術者が知っておくべきこと、知らなくてもよいことを、第2章では、接着剤を使ってものづくりを行うために最低限知っておいていただきたい接着の基礎知識を記載しました。第3章では、筆者自身が接着剤を選ぶときに何を考え、どうやって候補品に近づき、さらに絞り込んできたかということを改めて見直し、部品・機器の設計・生産技術者でも行える「接着剤の新しい選び方」を初めてまとめてみました。

第4章では、設計基準や設計指針の一助とするため、筆者が長年にわたって開発してきた接着の実力強度、接着部の必要強度・面積、作り込みの程度などを簡単に見積もる「C_v接着設計法」について記載しました。この章も初めての執筆となります。

なお、本書では、これまでに筆者があまり執筆してこなかった内容を中心としたため、既刊書籍で記述した内容に関しては割愛した部分も多々あります。これらに関しては既刊書籍を参照いただきたいと思います。

本書が部品や機器の設計・生産技術者のお役に立てれば幸いです。

2021年12月

原賀 康介

ユーザー目線で役立つ 接着の材料選定と構造・プロセス設計

目次

まえがき 1

第1章 接着剤のユーザーが知っておくこと、知らなくてよいこと

1.1 接着は境界領域の技術	10
1.2 接着剤を作る立場と使う立場に必要な技術は異なる	11
1.3 開発段階での品質作り込みの重要性	12
1.3.1 接着は特殊工程の技術	12
1.3.2 設計と生産技術は車の両輪	12
1.3.3 接着設計技術と接着生産技術	12
(1) 接着設計技術	12
(1-1) 接着設計技術とは / (1-2) 接着設計技術の構成要素 / (1-3) 各要素技術の内容	
(2) 接着生産技術	14
(2-1) 接着不良品の発見・補修は困難 / (2-2) 接着生産技術とは / (2-3) 接着生産技術の構成要素 / (2-4) 各要素技術の内容	
(3) コンカレントな開発を行う	18

第2章 これだけは知っておきたい 接着の基礎知識

2.1 接着接合の特徴	20
2.1.1 接着の利点と得られる効果	20
(1) 接着の特徴	20
(2) 接着の特徴から得られる効果	21
2.1.2 接着の欠点と対策	24
(1) 接着の欠点	24
(2) 欠点の解消策—複合接着接合法—	24

2.2 やさしい接着のメカニズム	28
2.2.1 接着の種類と結合の原理	28
(1) 分子間力による結合	28
(2) 分子の相互拡散による結合	28
(3) 機械的結合	28
2.2.2 分子間力による接着の過程と最適化	30
(1) 接着の過程	30
(2) 接着剤の分子と被着材料の分子間の距離を近づける	30
(3) 被着材表面の極性を高くする	30
(4) 部品の表面張力	32
(5) 最も強い分子間力「水素結合」	33
(6) 表面改質	33
(7) プライマー、カップリング剤処理	34
(8) 接着剤の硬化と内部応力の発生	36
2.3 よく使われる用語の意味と注意点	38
2.3.1 粘度・チキソ性	38
2.3.2 接着強度の評価法	38
(1) JISなどの規格試験	38
(2) 微小部品の接着性評価法	40
2.3.3 引張りせん断試験における応力集中	41
(1) 重ね合わせ長さの影響	41
(2) 板厚、板の弾性率、接着層の厚さ、接着剤の弾性率の影響	43
(3) 接着部の曲がりの影響	43
2.3.4 ガラス転移温度 (T_g)	44
(1) 接着剤のガラス転移温度 (T_g)	44
(2) 接着強度の温度特性	44
(3) T_g の数値は目安と考える	46
2.3.5 粘弾性と速度依存性、クリープ特性、応力緩和	46
(1) 粘弾性体	46
(2) 速度依存性	47
(3) クリープ	48
(4) 応力緩和	49
2.3.6 接着剤の物性と接着強度の関係	50
(1) 接着剤の硬さ、伸びと接着強度の関係	50
(2) 接着剤は硬すぎず軟らかすぎず	50
(3) 接着剤選定時の注意点	51

(4) 粘着テープ選定時の注意点	52
(5) 感触による弾性率や硬さの目安	53
2.3.7 接着層の厚さ	53
(1) 接着層の厚さと強度の関係	53
(2) 最適な接着層の厚さはどのくらいか	54
2.3.8 内部応力	54
(1) 内部応力によって生じる不具合	54
(2) 接着部に生じる内部応力の種類	54
(2-1) 接着の内部応力の分類 / (2-2) 接着剤の硬化過程で生じる内部応力 / (2-3) 使用中の環境変化で生じる内部応力 / (2-4) 被着材の変形による応力	
(3) 内部応力に影響する諸因子	61
(3-1) 接着剤の物性 / (3-2) 部品の剛性 / (3-3) 接着部の構造 / (3-4) 接着工程 / (3-5) その他の因子	
2.4 接着剤の種類と特徴、使用上のポイント	68
2.4.1 接着剤の硬化・固化の方式と注意点	68
(1) 二液の混合による硬化	68
(2) 加熱による硬化	69
(3) 二液の接触による連鎖反応での硬化	70
(4) 空気中の水分との反応による硬化	71
(5) 接着面に付着している水分との反応	72
(6) 酸素の遮断と活性金属への接触による硬化	72
(7) 光照射による硬化	74
(8) 溶媒の乾燥による固化	74
(9) 冷却による固化	74
(10) 状態が変化しないもの	75
2.4.2 部品や機器の組立に多用されている接着剤の種類と特性	75
(1) 構造用接着剤、準構造用接着剤	75
(1-1) エポキシ樹脂系接着剤 / (1-2) 変性アクリル系接着剤 (SGA) / (1-3) 二液型ウレタン樹脂系接着剤	
(2) エンジニアリング接着剤	77
(2-1) 嫌気性接着剤 / (2-2) 光硬化型接着剤 / (2-3) 瞬間 (シアノアクリレート系) 接着剤 / (2-4) シリコン系接着剤 / (2-5) 変成シリコン系接着剤 / (2-6) 両面粘着テープ (感圧接着テープ)	

第3章	ユーザー視点からの “新しい”接着剤の選び方	
3.1	従来の接着剤の選び方	84
3.1.1	被着材料の種類と組合せから選ぶ (直交表)	84
3.1.2	SP値 (溶解度パラメーター、凝集エネルギー密度) で選ぶ	84
3.1.3	樹脂やゴムの各種特性の星取り表から選ぶ	86
3.2	“新しい”接着剤の選び方 —要求スペックと用途、カタログデータから選ぶ—	87
3.2.1	接着剤のユーザーが求めていること	87
3.2.2	接着剤選定時に考慮すべき項目	87
3.2.3	社内で使用されている接着剤を知っておく	88
3.2.4	接着剤や接着剤メーカーについての情報を知る	88
	(1) 接着剤メーカーを知る	88
	(2) 定番商品を知る	90
3.2.5	接着剤の選定手順	90
	(1) 要求スペックを明確化する	90
	(2) 〈絶対的な制約条件〉に影響する接着剤の特性因子を抽出する	91
	(3) 特性因子の従属性と相反性を考えながら、どのような物性であれば よいかの当たりをつける	94
	(4) 接着剤の種類と用途をつける	94
	(5) 候補品の探索	95
	(6) カatalogや技術資料のチェック	100
	(7) 1次選定品の使用・管理上のポイントをチェックする	101
	(8) メーカーへの問い合わせ	101
	(9) サンプル品での評価	101
	(10) メーカーとの再打ち合わせ	101
	(11) 接着剤選定フローチャート	104

第4章 高信頼性・高品質接着のための 目標値と簡易設計法

4.1	開発段階での作り込みの目標値	106
4.1.1	高信頼性・高品質接着とは	106

4.1.2	開発段階での作り込みの目標値	106
(1)	接着部の破壊状態—凝集破壊率を40%以上確保する—	106
	(1-1) 接着の破壊箇所 / (1-2) 凝集破壊率 / (1-3) 界面破壊が良くない理由 / (1-4) 凝集 破壊が良い理由 / (1-5) 凝集破壊率が40%以上であれば良い理由 / (1-6) 内部破壊の発生 / (1-7) 凝集破壊率の向上による接着特性の向上の例	
(2)	接着強度のばらつき—変動係数を0.10以下にする—	114
	(2-1) 変動係数と必要値 / (2-2) 接着強度のばらつきと変動係数のイメージ / (2-3) 必要な 変動係数は要求される信頼度によって異なる / (2-4) 変動係数と凝集破壊率の相関	
(3)	接着面の表面張力を高くする	117
(4)	必要な平均破断強度を確保する	117
4.2	設計許容強度、初期の必要破断強度、必要Cv値を簡易に 見積もる「Cv接着設計法」	118
4.2.1	設計基準、設計指針の必要性とCv接着設計法	118
4.2.2	接着の設計基準強度、設計許容強度の考え方	119
4.2.3	Cv接着設計法で見積もりたいもの	119
4.2.4	Cv接着設計法における前提条件	120
	(1) 接着強度の分布の形	120
	(2) 接着部に加わる力と発生不良率	120
4.2.5	Cv接着設計法における接着強度の低下因子	121
	(1) 接着強度のばらつき	121
	(1-1) ばらつき係数d、変動係数Cv、許容不良率F(x) / (1-2) 工程能力指数C _p と信頼性指数R	
	(2) 劣化による接着強度の低下と強度ばらつきの増大	126
	(3) 内部破壊	128
	(3-1) 内部破壊 / (3-2) 内部破壊係数 / (3-3) 静荷重負荷のみが加わる場合の内部破壊係数h ₁ / (3-4) 高サイクル疲労の場合の内部破壊係数h ₂ / (3-5) 熱応力の繰り返しによる低サイクル 疲労の場合の内部破壊係数h ₃	
	(4) 接着強度の温度依存性	129
	(5) 安全率	129
4.2.6	設計基準強度と設計許容強度の算出式	130
	(1) 初期室温平均破断強度 μ_{R0} と設計基準強度 p_{yTm} の比率の算出式	130
	(2) 初期室温平均破断強度 μ_{R0} と設計許容強度 p_{yTMS} の比率の算出式	131
	(3) 必要な初期室温平均破断強度と必要面積の算出式	132
	(4) 初期の必要変動係数の算出式	132
	(5) 初期の変動係数Cv _{R0} を設定して初期のばらつき係数d _{R0} を 求める算出式	133
4.2.7	Cv接着設計法の見積もり例	133
	(1) 初期室温平均破断強度と設計許容強度の比率の計算例	133

(2) 初期の室温における必要な接着強度と接着面積の試算	・133
(3) 初期に必要な変動係数 $C_{V_{R0}}$ の試算	・134
(4) 初期の変動係数 $C_{V_{R0}}$ を仮定して必要な接着強度 μ_{R0} と接着面積を見積もる	・134
4.3 設計・施工における留意点	135
4.3.1 単純重ね合わせせん断試験の平均せん断強度を用いてよいか	135
4.3.2 水分劣化に対する設計	135
(1) 接着部の形状・寸法	・135
(2) 細長い接着部における接着部の幅	・138
(3) 試験片での劣化データから製品の接着部の寸法を決める	・140
4.3.3 クリープに対する設計	141
4.3.4 接着層厚さ基準の設計と施工	142
4.3.5 破壊に対する冗長性の確保	145
(1) 瞬時の破壊の防止	・145
(2) 火災などによる崩壊の防止	・146
4.3.6 空気溜まりを作らない設計と施工	146
(1) 嵌合接着での注意点	・146
(2) 平面同士の接着での注意点	・147
4.3.7 二度加圧を回避する治工具設計	148

付 録

付録1 ばらつきの少ない引張りせん断試験片の作り方	152
(1) 対象試験片	・152
(2) 接着強度のばらつきに影響する因子	・152
(3) 試験片の作製方法	・152
(3-1) 準備するもの / (3-2) 試験片作製の手順	
付録2 消去法による接着剤選定チェックリスト	161
付録3 接着剤の管理のポイントチェックリスト	164
あとがき	181
索引	183

第 1 章

接着剤のユーザーが 知っておくこと、 知らなくてよいこと

1.1 接着は境界領域の技術

接着剤による接合は、図1.1.1に示すように多くの技術の境界領域に位置する技術です。

例えば、高分子材料の分子構造、合成、組成・配合、反応、液体や硬化物の物性、接着しようとする材料の物性、表面の性状や特性、接着剤と接着表面の相互作用、結合、接着体の力学的特性、破壊、計測技術、構造設計、計算力学(有限要素法解析)、化学的や力学的な劣化、ばらつきや信頼性に関する統計的扱い、欠陥の検査技術などが関係してきます。

接着に関係する多くの技術分野に精通することは理想ではあっても、接着の研究ではないさまざまな専門分野の技術者にとっては現実的には無理なことでしょう。

もし、接着に関するすべての技術に精通しなければうまく使えないようなら、接着は、特殊な固有技術としか言いようがなく、部品や機器の組立の汎用的な接合方法としては不適な方法としか言いようがありません。

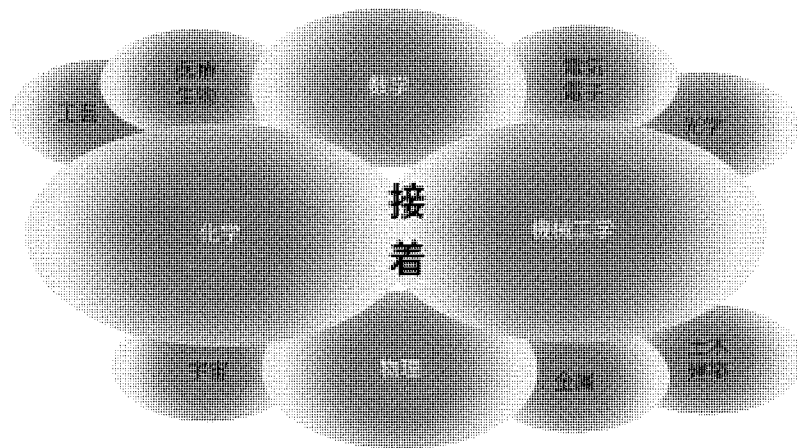


図1.1.1 接着を取り巻く多くの分野

1.2 接着剤を作る立場と使う立場に必要な技術は異なる

接着に関わる技術者の立場で眺めると、図1.2.1に示すように接着剤を開発、製造する企業の技術者と、接着剤を用いて部品や機器を製造する企業の技術者に大別できます。

接着剤を製造する企業の技術者が必要とする知識と、部品や機器を製造する企業の技術者が必要とする知識と、そのレベルは同じではありません。それぞれに必要な技術や知識とそのレベルは技術者の立場で大きく異なるはずです。

接着を使う立場の技術者に必要な技術や知識としては、接合部に要求される機能、特性、品質を満足させるための構造設計、材料設計、強度設計、プロセス設計、設備設計、品質設計などでしょう。接着剤の作り方や細かい成分の詳細や反応などの知識はあるに越したことはありませんが、なくても支障はありません。

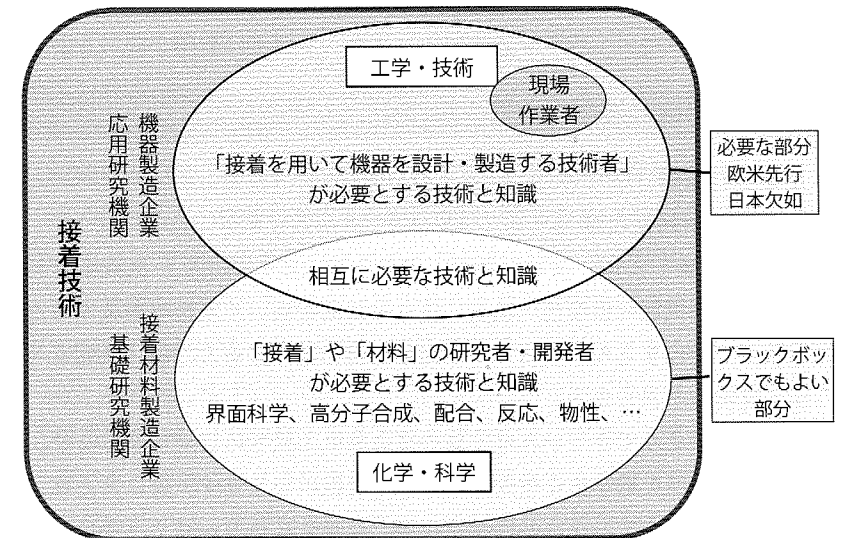


図1.2.1 <接着剤メーカー>と<接着ユーザー>で必要な技術は異なる

000
1.3

開発段階での品質作り込みの重要性

1.3.1 接着は特殊工程の技術

接着という接合技術は完成後の検査が簡易にできないため、溶接と同様に「特殊工程の技術」に分類されています。

1.3.2 設計と生産技術は車の両輪

接着を工業的に使うためには、接着特性に優れ、ばらつきが少なく、信頼性、品質に優れていることが必要です。

接着によるものづくりでは、設計が終了してから生産技術者が引き継いで生産プロセスや設備を考える、というシリーズ的な開発ではうまくいかないことが多々あります。開発初期の段階から設計技術者と生産技術者が車の両輪のごとくに、コンカレントに開発を進めることが重要です。

1.3.3 接着設計技術と接着生産技術

(1) 接着設計技術

(1-1) 接着設計技術とは

「接着設計技術」とは、接着の特徴・機能を最大限に活用し、欠点をカバーして高性能・高機能で信頼性・品質に優れた製品を高い生産性で製造するための開発段階での作り込みの技術です。簡単に言えば、接着の特徴・機能を「使いこなす技術」と言えます。

接着設計がうまくできていれば実際の接着組立工程での管理は楽になり、安定した品質の製品を効率良く生産することが可能になります。逆に言えば、接着設計がうまくできていなければ組立現場では無駄な作業が増え、安定した品質や効率的生産に支障が生じることとなります。すなわち、「接着組立の品

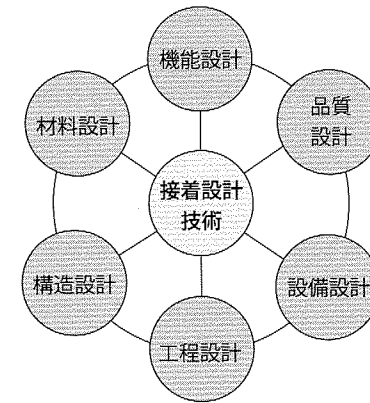


図1.3.1 接着設計技術とその構成要素

質、生産性は接着設計で決まる」と言えます。

(1-2) 接着設計技術の構成要素

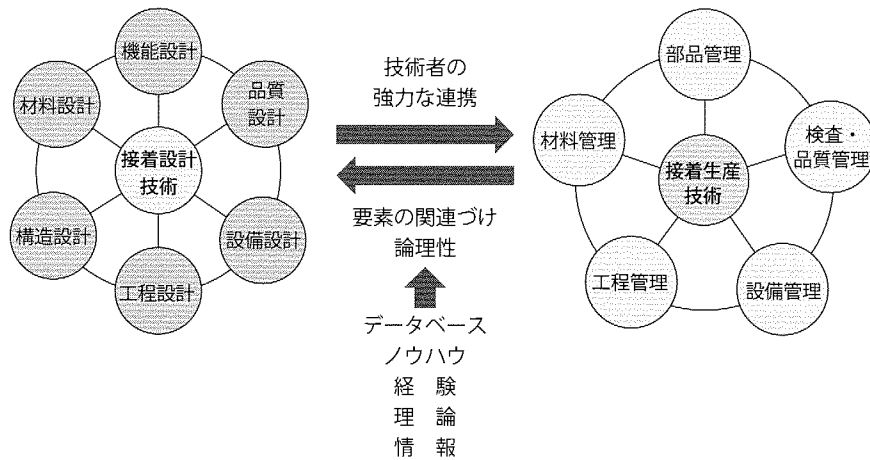
接着設計技術は、図1.3.1に示すように、①機能設計、②材料設計、③構造設計、④工程設計、⑤設備設計、⑥品質設計などの要素技術で構成されています。

これらの要素技術は、それぞれが独立して存在するものではなく、各要素技術は相互に強く関連しており、それらの強力な連携の下に接着設計技術は成り立っています。

(1-3) 各要素技術の内容

- ①機能設計では、接合という機能だけでなく、接着から得られる効果をいかに多く盛り込み、接着の欠点をいかにカバーするかということを検討します。
- ②材料設計では、接着剤だけでなく部品の材質・表面状態の検討も行います。性能面と併せて、工程の簡素化や作業の許容範囲を広く取れる材料系（被着材料の材質・表面状態、前処理関係の材料、プライマー、接着剤など）を検討します。
- ③構造設計では、高強度を得るためだけでなく、作業しやすく、間違いを回避でき、破壊に対する冗長性を確保できることも併せて検討します。
- ④工程設計では、工程面からどのような接着剤や構造が最適かを考えます。工程内検査の方法や自動化と人手作業の最適化も検討します。

これだけは 知っておきたい 接着の基礎知識



技術分野が多岐にわたるため、社内関係者に限らず
各種関連メーカーとの連携を強化することも重要

図 1.3.3 コンカレント・エンジニアリングの実践

「接着生産技術」は実際の製造工程での管理の技術ですが、「接着設計」がすべて終了した段階から検討を始めるのではなく、「接着生産技術」と「接着設計技術」はコンカレントに相互にリンクして技術の作り込みをしていく必要があります。

(3) コンカレントな開発を行う

開発段階では、接着設計技術や接着生産技術の各要素技術に関して最適化を図っていきませんが、ある要素技術で条件が変われば他の要素技術にも影響が出てきます。このため、図 1.3.3 に示すように、開発段階では各要素技術の技術者が連携し合って接着設計技術と接着生産技術を有機的に結びつけ、コンカレントに開発を進めることが大切です。

2.1 接着接合の特徴

2.1.1 接着の利点と得られる効果

(1) 接着の特徴

接着には溶接やボルト・ナット、ねじなどの接合にはない多くの利点があります。表2.1.1に接着の利点を示しました。

①異種材の接合が容易

代表的な利点は、何と云ってもさまざまな材料を材料の組合せが異なっても容易に接合ができる点でしょう。

②面での接合

接着は、ボルト・ナット、ねじ、スポット溶接、リベットのような点状や、アーク溶接、レーザー溶接、シーム溶接のような線状の接合ではなく、面での接合であるので、厚さが薄い材料や強度が弱い材料でも材料自体が先に破壊するまでの強度を得ることができます。紙同士をステープラーと両面テープで接合して引っ張ると、ステープラーでは弱い力で接合部の穴から紙が破れますが、両面テープの場合は接合部が破壊する前に、貼り合わせ部以外で紙がちぎれてしまいます。

図2.1.1は、アーク溶接、スポット溶接、リベットで2.3 mm厚さの鋼板同士を接合したものと、接着剤で1.6 mmの鋼板同士を接着したものの繰返し疲労試験の結果の比較です。面接合の接着では、薄板化しても優れた疲労特性を示すことがわかります。

③高温を要しない

接着接合は、接合時に溶接やろう付け、はんだ付けのような高温を必要としません。低い温度で接合が行えるので熱に弱い材料でも接合でき、接合時に生じる熱ひずみが小さいという点も大きな利点です。

④隙間充填性を有する

微小部品から大物部品まで合わせた全面を、隙間なく接合できる点も大きな

表2.1.1 接着接合の利点

区分	利点
性能面	<ul style="list-style-type: none"> ◆接合できる材料が広範囲 ◆異種材料の接合ができる ◆部材の機能を損なわずに部材表面で接合ができる ◆微小部品から大物部品まで接合できる ◆大面積でも全面の接合が容易にできる ◆隙間充填性がある ◆接合ひずみが小さい
作業面	<ul style="list-style-type: none"> ◆接合に高温を要しない ◆接合時に部材に局所荷重が加わらない ◆大がかりな設備が不要 ◆屋外での現場作業もできる ◆熟練技能が不要
その他	<ul style="list-style-type: none"> ◆接合に要するエネルギーが小さい ◆火気レス工法である

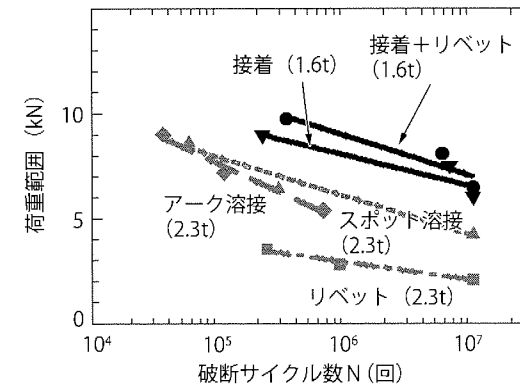


図2.1.1 各種接合法の疲労特性の比較

利点です。

⑤熟練技能を要しない

熟練技能が不要で、屋外などの現場作業も可能という点も利点の一つです。

(2) 接着の特徴から得られる効果

接着の特徴を活用することによって、表2.1.2に示すような多くの効果を得ることができます。

2.2 やさしい接着のメカニズム

2.2.1 接着の種類と結合の原理

接着の結合の原理は、大別すると次の3種類があります。

(1) 分子間力による結合

図2.2.1に示すように、接着剤も被着材料も分子の集まりでできており、それぞれの分子内では電気的に+と-に分かれています。この状態を「分極」といいます。分極の程度は、分子の構造によって異なります。「分子間力」とは分子同士が電気的に引き合う力で、接着では接着剤の分子と被着材料表面の分子が電気的に引き合う力ということになります。接着剤の分子も被着材料表面付近の分子も、極性が高い（分極の程度が大きい）方が強く結合することになります。反応型接着剤が用いられる接着のほとんどは分子間力による結合です。

(2) 分子の相互拡散による結合

二つの被着材料が同種の溶剤に溶ける場合は、溶剤系の接着剤によって接着することができます。図2.2.2に示すように、接着剤の溶剤によって両方の被着材料の表面付近が溶融して押しつけることで、溶融した分子同士が相互に拡散して絡み合い、溶剤が揮発すると再び固体状となり結合するものです。塩化ビニル同士やアクリル樹脂同士の溶剤系接着剤による接着などがよく知られています。

未加硫ゴムでは、接着剤を用いなくても、重ねて置いておくだけでも表面付近の分子同士が相互に拡散して接合することがあります。これは「自着」と呼ばれています。熱に溶ける材料同士の表面を加熱溶融して押さえつけて接合する熱融着もありますが、これらは接着剤を使わないので一般には接着には分類されていません。

(3) 機械的結合

プラストやエッチング、化成処理などがされた金属表面や多孔質材料などで

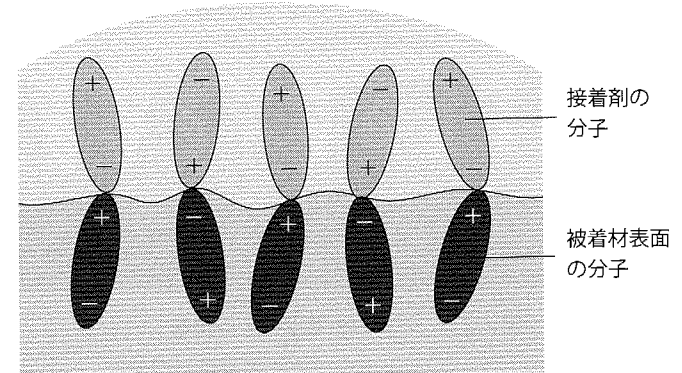


図2.2.1 分子間力による接合

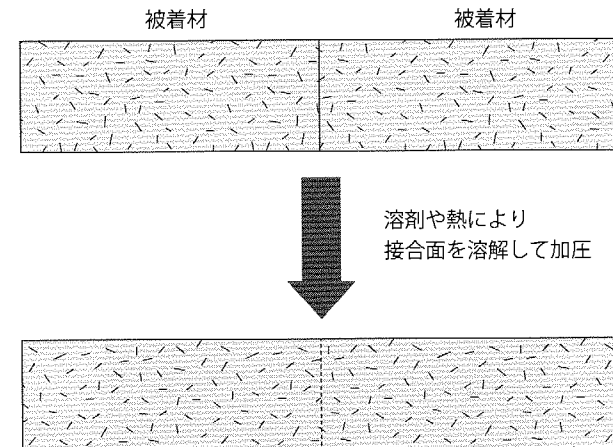


図2.2.2 分子の相互拡散による接合（溶着）

は、細かい入り組んだ凹凸や種々の結晶構造が形成されます。図2.2.3に示すように、表面の凹凸や結晶の間に接着剤が流れ込み接着剤が固化すると機械的に抜けにくくなることによる結合です。「アンカー効果」や「投錨効果」とも呼ばれています。反応型接着剤による接着では、分子間力による結合と機械的結合が組み合わされている場合が一般的です。機械的結合を積極的に活用し、エッチングで凹凸を設けた金属に、プラスチック成形材料を射出成形などで接着剤を用いずに直接接合する方法も実用化されています。

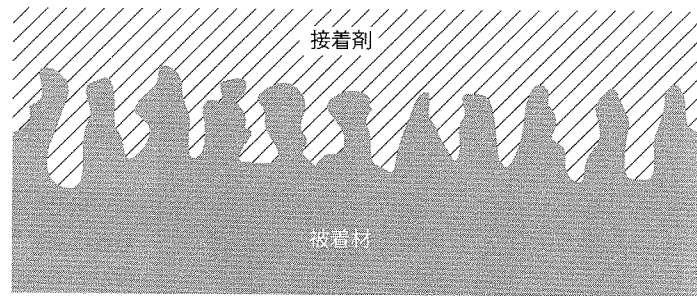


図2.2.3 アンカー効果による接合

2.2.2 分子間力による接着の過程と最適化

ここからは、工業用接着で多用されている分子間力による接着について述べていきます。

(1) 接着の過程

分子間力による接着の過程を図2.2.4に示しました。以下に、重要なポイントを述べます。

(2) 接着剤の分子と被着材料の分子間の距離を近づける

接着剤と被着材表面の分子の極性が高くても、分子同士の距離が近づかなければ引き合う力は発生しません。強い分子間力を得るためには、 $3\sim 5\text{\AA}$ ($1\text{\AA} = 0.0000001\text{ mm}$) 以下の距離まで近づけることが重要です。

被着材表面には細かい凹凸があり、一般の接着剤のように粘度が高い液体は、図2.2.5に示すように塗布ただけで空気で満たされている細かい凹凸の内部まで自然に流入することは困難です。その結果、表面と接着剤が近距離で接触している面積は非常に少なくなり、強い接着はできません。表面に接着剤をよくなじませるためには、力をかけて塗布する、接着剤や被着材料を加温して接着剤の粘度を低下させて流動性を高くする、用いようとする接着剤を溶剤に薄く希釈してプライマーとして塗布し、溶剤を乾燥させて凹凸を浅くして再び接着剤を塗布する、などの方法があります。

(3) 被着材表面の極性を高くする

接着剤も被着材表面も、分子の極性が高ければ強い分子間力が得られます。

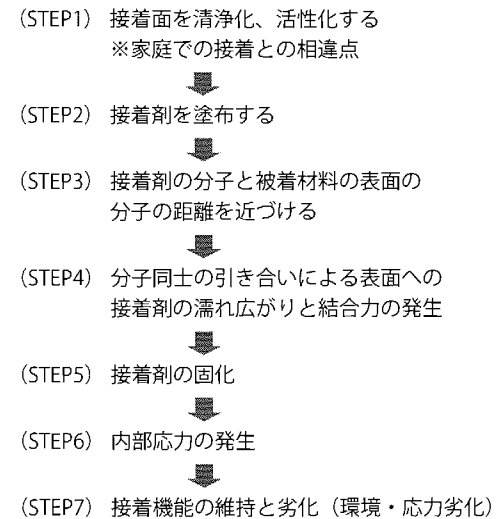


図2.2.4 分子間力による接着の過程

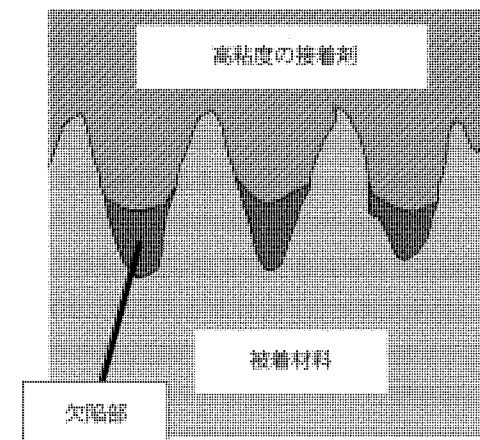


図2.2.5 凹部への接着剤の流入阻害による欠陥部の発生

接着剤の極性を高くするのは接着剤メーカーにお任せして、接着剤を使う側では被着材表面の極性を高くする（活性化する）ことが必要です。被着材表面の極性を高くするというのは、すなわち、被着材の表面張力を高くすることに

2.3 よく使われる用語の意味と注意点

2.3.1 粘度・チキソ性

接着剤の粘度は重要です。カタログには室温での粘度は記載されていますが、温度を変化させたときの粘度はあまり記載されていません。粘度は低温では高く、高温では低くなります。低温での粘度は塗布のしやすさに影響し、高温での粘度は加熱硬化時の浸み込みや垂れにもつながります。

粘度は接着剤のロットでかなり変化します。カタログに粘度の範囲が記載されていない場合は確認が必要です。塗布装置を用いる場合の条件設定や、浸透性・肉盛り性、隙間充填性、加圧力・接着層の厚さなどに影響します。

粘度の高さと垂れの少なさとは無関係です。高粘度でも時間の経過とともに徐々に垂れてしまうものや、低粘度でも垂直面で垂れないものもあります。粘度の数字は、液体に加わる力の大きさで変化します。このような性質を「揺変性（チキソトロピック性）」と言います。液体に力が加わっているときは低粘度、力を抜くと高粘度となり、その粘度の比率が高いほど高チキソ性で、塗布後には垂れにくいということになります。垂れ性や流動性が問題となる場合は、チキソトロピック指数をメーカーに確認してください。

2.3.2 接着強度の評価法

(1) JISなどの規格試験

接着の強度試験でよく使われている方法を図2.3.1に示しました。

(A)はJIS K 6850の板/板の引張りせん断試験（単純重ね合わせ試験）で用いられる試験片です。幅25 mm、長さ100 mmの2枚の板を、12.5 mmの長さ重ねて接着するものです。標準板厚は金属板では1.6 mm、プラスチックや複合材料では3.0 mmとなっていますが、高強度接着剤では被着材自体の引張り強度を超えることがよくあるので、その場合は板の厚さを厚くする必要があります。

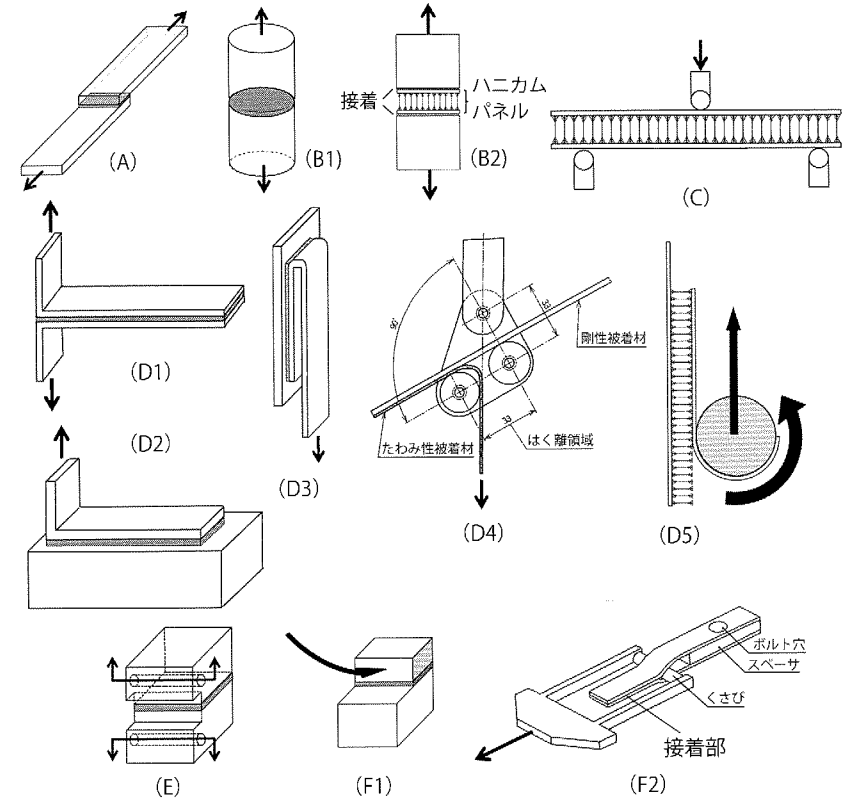


図2.3.1 接着強度の各種測定方法

(B1)はJIS K 6849の引張り試験で用いられる試験片です。角材試験片も使用されます。円柱では直径12.5 mm、正四角柱では一辺が12.5 mmとなっています。(B2)はASTM C297のハニカムパネルの引張り試験で、フラットワイズ引張り試験と呼ばれているものです。

(C)はASTM D393のハニカムパネルの曲げ試験です。

(D1)はJIS K 6854-3のT形はく離試験の試験片で、鋼板の場合は板厚0.5 mm、アルミ板の場合は板厚0.5 mmまたは0.7 mmが標準となっています。(D2)はJIS K 6854-1の90°はく離試験の試験片で、標準板厚は金属もプラスチックも1.5 mmとなっています。(D3)はJIS K 6854-2の180°はく離試験の試験片で、標準板厚は金属1.5 mm、プラスチック1.5 mmとなっています。(D4)

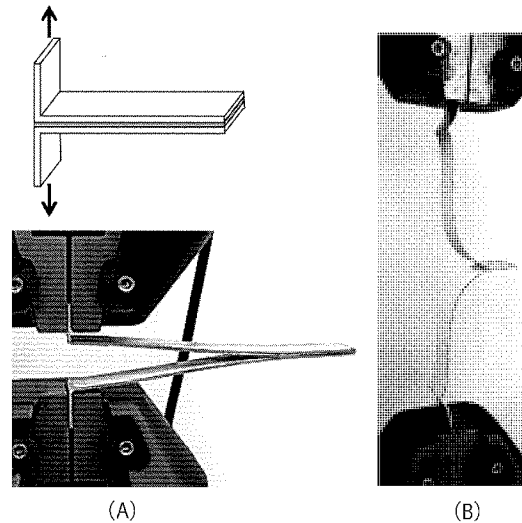


図 2.3.16 接着剤の硬さの違いによるはく離試験における破壊状態の違い (1.6mm厚さの軟鋼板同士のT形はく離試験)

のカタログから接着剤を選定するときには、どうしてもせん断強度で比較してしまいがちですが、せん断強度が高いものを選ぶと、はく離強度が低いものを選んでしまう危険性があります。

図2.3.16は、硬さが異なる接着剤のT形はく離試験の状態です。せん断強度が高く硬く脆い接着剤ではく離試験を行うと、(A)のように板がまったく曲がらないで一瞬に全面が剥がれますが、強靱さを付与したものでは(B)のように板が曲がってしまうほどはく離抵抗性が向上します。はく離強度も忘れずにチェックしましょう。

(4) 粘着テープ選定時の注意点

粘着剤は接着剤に比べるとはるかに軟らかいものですが、粘着剤にも硬いものと軟らかいものがあり、図2.3.14の関係は接着剤と同じです。粘着テープのカタログは、はく離強度主体で書かれているため、はく離強度の高いものを選ぶと耐クリープ性が低いものを選ぶ結果となってしまいます。粘着テープのカタログでは、耐クリープ性を保持力と表示されることが多いです。部品や機器の組立で必要なのは、むりやり引き剥がすはく離力ではなく、ほとんどの場合

表 2.3.1 感触による弾性率や硬さの目安

感 触	ショア硬度	弾性率
爪が立たないほど硬い	D70以上	10 ⁹ Pa台
爪を立てると爪痕が残る	D60前後	10 ⁸ Pa台
ゴムのように軟らかい	ショアAで表示	10 ⁷ Pa台

は保持力が重視されるためカタログを見る際は注意しましょう。

(5) 感触による弾性率や硬さの目安

カタログに弾性率が記載されているものもありますが、硬さのデータはほとんどの場合、ショア硬度で記載されています。これらの数値を見ただけで、どのくらいの硬さなのかがわかるとよいのですが、慣れていないとピンと来ません。

そこで、表2.3.1に大雑把に感触と数値の関係を示しました

2.3.7 接着層の厚さ

(1) 接着層の厚さと強度の関係

図2.3.17は、接着剤層の厚さと接着強度の関係を示したものです。接着層の厚さに対しても、せん断強度、引張り強度と、はく離強度、衝撃強度は逆の関係になります。せん断強度や引張り強度は、一般に接着層が10 μm程度で最大となり、厚くなるにつれて低下します。極端に薄くなると内部応力が高くなっ

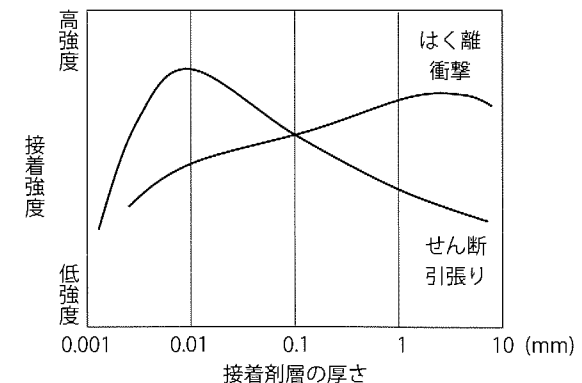


図 2.3.17 接着層の厚さと接着強度の関係

たり、被着材同士の接触による有効接着面積が減少したりするなどで強度は低下してしまいます。一方、はく離強度や衝撃強度はmmオーダーのところでも高い強度になります。

(2) 最適な接着層の厚さはどのくらいか

せん断強度とはく離強度のバランスがとれた接着層の厚さは、一般に0.1~1.5mm程度です。接着層の厚さが薄すぎると、種々の力の方向に対して変形できる許容ひずみ量が小さくなるので、良いことはありません。接着は隙間埋めと接合を同時に行うことが多く、接着層の厚さが5mmや10mmになる場合もありますが、接着層が厚ければ変形に対する追従性は増えるのですから、厚くて問題になることはほとんどありません。

嫌気性接着剤や瞬間接着剤は、接着層の厚さが厚くなると硬化しなくなるため、どうしても極力薄い接着層で使わざるを得ません。これらの接着剤がはく離や衝撃に弱い理由の一つに、接着層の厚さが薄い点が挙げられます。

2.3.8 内部応力

接着における課題は種々ありますが、とりわけ接着部に生じる内部応力の影響は重要です。以下に、接着の内部応力について述べます。

(1) 内部応力によって生じる不具合

接着部に生じる内部応力による不具合は、大別すると接着特性の低下と部品や機器の特性の低下に分けられます。前者としては、接着強度の低下や接着部の破壊、めっきや塗装、コーティングなどの膜上で接着した場合にめっきやコーティング膜が素地から剥がれやすくなる、接着耐久性が低下する、などがあります。後者としては、意匠部品における意匠性の低下、精密部品の微小変形や微小位置ずれ、脆性部品の割れの発生、磁性部品の特性低下などがあります。

(2) 接着部に生じる内部応力の種類

(2-1) 接着の内部応力の分類

接着部に生じる内部応力の分類を図2.3.18に示しました。

以下に、各内部応力について述べていきます。

(2-2) 接着剤の硬化過程で生じる内部応力

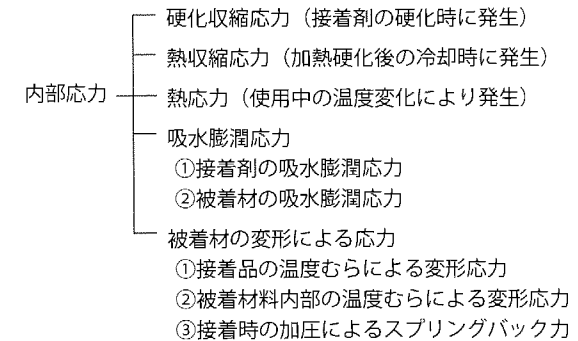


図2.3.18 接着部に生じる内部応力の分類

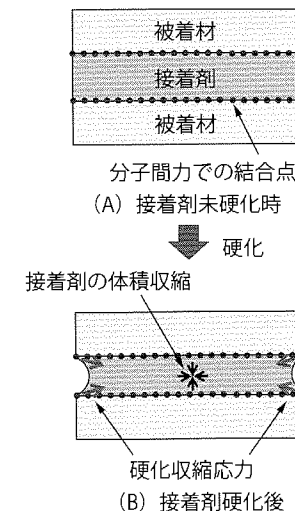


図2.3.19 接着剤の硬化収縮応力

①硬化収縮応力

ほとんどの接着剤は硬化時に体積収縮を起こします。また、接着剤と被着材(部品)の表面とは、図2.3.19(A)のように接着剤が液状のとき、分子間力によって結合しています。このため、接着剤が硬化する時界面付近の接着剤は動けず、界面以外の接着剤は収縮するため(B)のような形状となり、接着部の界面付近に力が作用します。この接着剤の硬化収縮によって発生する応力が「硬化

2.4 接着剤の種類と特徴、使用上のポイント

2.4.1 接着剤の硬化・固化の方式と注意点

接着剤が硬化や固化する方式にはいろいろなものがあり、接着剤の種類によって異なっています。接着のプロセスに影響する諸因子は硬化や固化の方式で大きく変わるので、これを知っておくことは重要です。

以下に、硬化や固化の方式について説明します。

(1) 二液の混合による硬化

図2.4.1に示すように、主剤と硬化剤を決められた割合で計量し、十分に混合することで主剤と硬化剤の分子同士を隣接させて反応させるものです。反応が進むと、鎖状から網目構造になります。このような反応は、「付加重合（共重合）」と呼ばれています。

このような方式で硬化する接着剤としては、二液型エポキシ系接着剤、二液型ウレタン系接着剤、二液型シリコーン系接着剤などがあります。

使用する際には、主剤と硬化剤を決められた割合で正確に計量し、十分に混合することが必要です。

付加重合で硬化する二液型シリコーンは、表2.4.1に示すような物質に接触していると、硬化が阻害される場合があります。事前に硬化するかどうかを確認しておくことが重要です。

二液型ウレタン系接着剤は発泡に注意が必要です。主剤のポリオールというものは、水と非常になじみやすいため空気中の水分を吸収します。また、硬化剤のイソシアネートというものは水と非常に反応しやすく、反応して二酸化炭素を発生させます。ですから、二液型ウレタン系接着剤の容器を開けて計量・混合などの操作を通常の作業雰囲気で行っていると、接着剤が発泡して使えなくなってしまう。塗布から貼り合わせまでの放置時間が長くなっても発泡が生じます。二液型ウレタン系接着剤は手作業による計量・混合は不適なので、空気に触れずに計量・混合ができる二連カートリッジ入りや専用の計量・

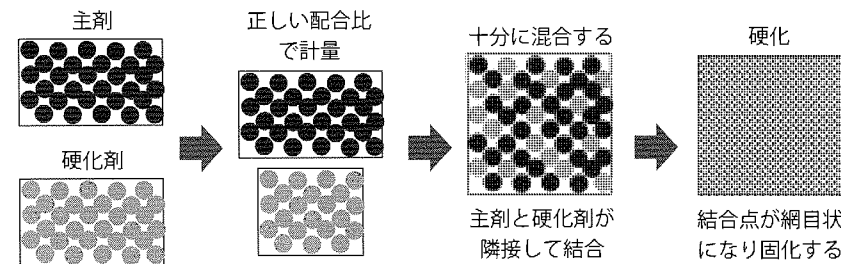


図 2.4.1 二液の混合による硬化

表 2.4.1 付加型シリコーン系接着剤に対する硬化阻害物質

- ◆硫黄化合物、リン化合物、窒素化合物
- ◆有機ゴム（天然ゴム、クロロプレンゴム、ニトリルゴム、EPDMなど）
- ◆軟質塩ビの可塑剤・熱安定剤
- ◆アミン硬化系エポキシ樹脂、縮合タイプのシリコーン樹脂、ウレタン樹脂のイソシアネート類、一部のビニルテープ粘着剤・接着剤・塗料（ポリエステル系塗料など）
- ◆ワックス類、はんだフラックス、松ヤニ、ゴム粘土・油粘土など

混合・塗布装置による作業が必要となります。

(2) 加熱による硬化

一液型のエポキシ系接着剤やシリコーン系接着剤などは、決められた温度以上に加熱することによって付加重合反応で硬化します。一液加熱硬化型のアクリル系接着剤もあります。

これらの接着剤では、加熱するまでは反応しない硬化剤がすでに主剤の中に添加されています。このため保存安定性が良くないので、冷蔵や冷凍保管が必要になります。

一液付加反応型シリコーン系接着剤は、二液付加反応型シリコーン系接着剤と同様に硬化阻害物質には注意が必要です。

ユーザー視点からの “新しい” 接着剤 の選び方

る、クリーブを起こしやすい、などがあります。

(2-6) 両面粘着テープ (感圧接着テープ)

最大の長所は取り扱いが容易で、即座に接着強度が得られる点です。

両面テープには、各種組立用に多用されているアクリル系、梱包用などに多用されるゴム系、耐熱性が必要な場合に用いられるシリコン系などがあります。特殊なものは、粘着で貼り合わせた後、加熱によって硬化させます。形状はテープ状やフィルム状が一般的ですが、部品にパターン塗布されて供給されるものもあります。

両面テープは正式名称を「感圧接着テープ」と言い、貼付後に十分な加圧が必要です。粘弾性により、貼付時は液体、貼付後は固体として作用します。

短所としては、接着剤に比べて強度が低い点、高温強度が低い点、油面接着性がない点、低温時にはタック性が劣るため部品の予熱が必要な点、クリーブに弱い点などです。

表2.4.4に接着剤の種類、形態、反応・固化の方式をまとめました。

実際に使用する際の〈接着剤の管理のポイントチェックリスト〉を付録3に掲載しました。表中の●は重要なポイントです。

参 考 文 献 (第2章)

- 1) 原賀康介:「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」(日刊工業新聞社), p.24-30 (2013).
- 2) 寺本和良、岡島敏浩、松本好家、栗原茂:“紫外線による表面改質”、日本接着学会誌、Vol.29、No.4、p.180 (1993).
- 3) RHESCA ホームページ: http://www.rhesca.co.jp/lineup/ptr/ptr1101_mode_05.html
- 4) 原賀康介、佐藤千明:「自動車軽量化のための接着接合入門」(日刊工業新聞社)、p.119-120 (2015).
- 5) HARUNA K, HARAGA K: “Finite Element Analysis for Internal Stress of Room Temperature Cured Adhesives.”, Tech Pap Soc Manuf Eng, No.AD97-207, p.1-7, (1997)
- 6) 寺本和良、西川哲也、原賀康介:“接着による光学歪に及ぼす接着条件の影響”、日本接着協会誌、Vol.25、No.11、p.7 (1989).
- 7) 春名一志、寺本和良、原賀康介、月館隆二:“エポキシ系接着剤硬化過程における残留応力発生挙動”、日本接着学会誌、Vol.36、No.9、p.39 (2000).

表 3.1.1 代表的な溶剤とポリマーのSP値²⁾

溶媒	SP値	ポリマー	SP値
n-ヘキサン	14.9	ポリテトラフルオロエチレン	12.7
キシレン	18.0	ブチルゴム	14.9
トルエン	18.0	ポリエチレン	16.2
アセトン	20.5	天然ゴム	16.2~17.0
酢酸エチル	18.6	スチレン・ブタジエンゴム	16.6~17.4
酢酸ブチル	17.4	ポリスチレン	17.6~19.8
フタル酸ジブチル	19.2	クロロプレンゴム	18.8
アセトニトリル	24.4	ポリ酢酸ビニル	19.2
メタノール	29.7	ポリ塩化ビニル	19.4~19.8
エタノール	26.0	エポキシ樹脂	19.8~22.3
イソプロパノール	23.5	フェノール樹脂	23.5

(j/m³)^{1/2} · 10⁻³

接着剤選定の基準としては適当とは言えません。

3.1.3 樹脂やゴムの各種特性の星取り表から選ぶ

耐熱性、耐薬品性、耐油性など種々の要求特性に強い成分の接着剤を、星取り表から選ぶ方法です。しかし、接着剤は各種の樹脂やゴムなどの配合物であり、単独の樹脂の性質とはかなり異なる性質を持つものが多いため、成分の詳細がわからない接着剤ユーザーにはこの方法はあまり役に立ちません。

3.2

“新しい”接着剤の選び方 —要求スペックと用途、カタログデータから選ぶ—

3.2.1 接着剤のユーザーが求めていること

接着剤を用いて部品や機器の組立を行う〈接着ユーザー〉が接着剤に求めていることは、材質Aと材質Bに「よく接着する」ことではなく、部品や機器に要求される機能・特性を満足することなのです。

被着材料表面の接着性は表面改質で対応可能です。

3.2.2 接着剤選定時に考慮すべき項目

一般に、接着剤は次のような部品・機器の機能・性能面からの要求項目を考慮して選定する必要があります。

- 部品の構造、接着部の構造
 - 接着部への力の加わり方と必要強度
 - 部品にひずみを生じないこと
 - 部品の位置ずれがないこと
 - アウトガスが少ないこと
 - 電気的特性、光学的特性
 - 部品の材質、接着面の状態
 - 使用環境
 - ～使用温度範囲、湿度、水がかかるか、耐薬品性、真空中での使用ほか
 - 耐用年数
- また、次のような接着作業面での制約条件を考慮して選定する必要があります。
- はみ出し不可、縦面塗布で垂れない
 - 塗布方法（ノズル塗布、転写塗布、印刷塗布）
 - 隅肉接着、浸透接着

○硬化方法、時間

これらの条件を満足する接着剤に、一気に行き着くのは容易ではありません。以下に、どのような手順で行き着けばよいのかを説明します。

3.2.3 社内で使用されている接着剤を知っておく

同じ社内といえども、部署が違えば情報の共有がなされていないというケースは多く見られます。まずは、自社内でどんな接着剤がどんな用途に使われているのか、どんな要求条件に対してどのようにして選定されたのか、どのくらいの実績があるのか、どんな課題やトラブル事例があるのか、などを知ることは重要です。

3.2.4 接着剤や接着剤メーカーについての情報を知る

(1) 接着剤メーカーを知る

接着剤や接着剤メーカーに関する情報収集の場としては、各種の展示会や雑誌などの広告、インターネット検索などがあります。しかし、接着剤を探さなければならないという必然性がなければ、これらの情報に接しても無関心に見過ごすこととなります。たかが接着剤、されど接着剤、これからの時代においては接着剤は組立の必須材料となることを考えると、日頃からできるだけ関心を持って情報収集を行うようにしましょう。

接着剤はニッチな機能材料の一つであるため、接着剤を開発・製造・販売している企業は大手材料メーカーから小規模なメーカーまで広範囲にわたっています。こんな会社がこんな接着剤を作っているのか！と驚くことも多々あります。

どのような企業が接着剤を製造しているのかを知るためには、関連する工業会のホームページを見るところから始めるのがよいでしょう。

接着剤に関する国内の代表的な工業会としては、日本接着剤工業会 <https://www.jaia.gr.jp> があります。その中に、接着剤メーカーを主とする会員一覧リスト <https://www.jaia.gr.jp/cgi-bin/seikaiin.cgi> と、原材料メーカーや塗布装

置などの接着関連設備のメーカーなどの賛助会員一覧リスト <https://www.jaia.gr.jp/cgi-bin/sanjyokaiin.cgi> があります。掲載されているメーカー名をクリックすると、会社の特色や主な製造品目や主な商品名などがわかり、その企業のホームページにリンクすることができます。初めて見る企業名も多くあることでしょう。

また、粘着テープに関しては、日本粘着テープ工業会 <http://www.jatma.jp> があります。ここにも会員一覧のページ <http://www.jatma.jp/kai.html> や賛助会員の一覧ページ <http://www.jatma.jp/sankai.html> があり、それぞれの企業のホームページにリンクされています。

しかし、大手化学メーカーや特定の材料分野の企業で、これらの工業会に属していない企業もあります。例えば、シリコン系接着剤の企業は、シリコン工業会 <http://siaj.jp/ja> に属していて、会員企業はちょっと探しにくいですが、<https://siaj.jp/ja/aboutus/index.html> に掲載されています。2021年12月時点では、旭化成ワッカーシリコン(株)、JNC(株)、信越化学工業(株)、ダウ・東レ(株)、デュポン・東レ・スペシャルティ・マテリアル(株)、モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ・ジャパン(同)の6社が掲載されています。また、米国や欧州などの海外のシリコン工業会へのリンクも掲載されています。

また、日本ゴム協会 <https://www.srij.or.jp> の会員ページ https://www.srij.or.jp/newsite/supporting_members/ にも各種接着剤やシリコンメーカーなど多くの企業が掲載されています。

エポキシ樹脂に特化すればエポキシ樹脂技術協会があり、会員一覧 <http://epoxygk.world.coocan.jp/kaiinn.html#houjin> には、エポキシ樹脂関係の企業が掲載されています。

接着剤の製品情報を集めたサイトやネット販売サイトも有効です。

例えば、接着剤のWEB販売サイトとしては、

- モノタロウ <https://www.monotaro.com/s/?c=&q=%90%DA%92%85%8D%DC>
- MiSUMi <https://jp.misumi-ec.com/vona2/result/?Keyword=%E6%8E%A5%E7%9D%80%E5%89%A4&isReSearch=0>
- 接着剤ツールファースト <http://www.toolfirst.jp/index.htm>

第 4 章

高信頼性・高品質接着 のための目標値 と簡易設計法

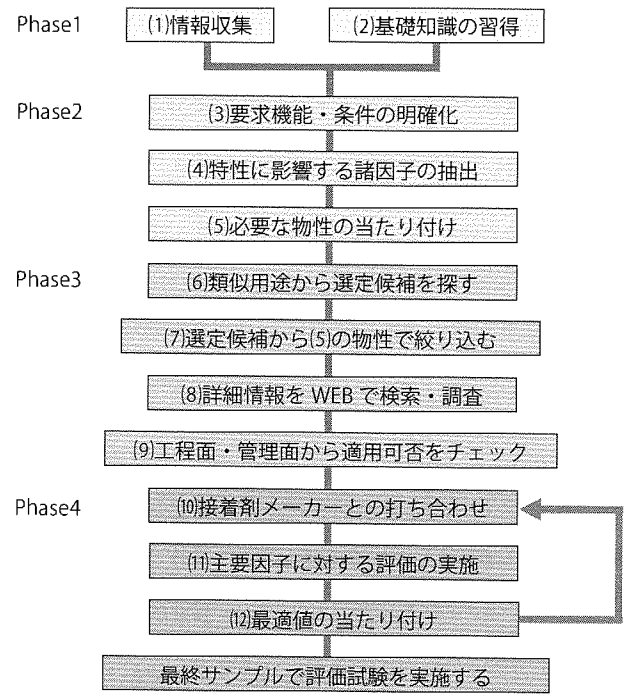


図3.2.2 接着剤ユーザー視点からの“新しい”接着剤の選び方フローチャート

明して代替品や改良の依頼をします。

(11) 接着剤選定フローチャート

図3.2.2に選定のフローチャートをまとめました。

参 考 文 献 (第3章)

- 1) 日本接着学会編：「プロをめざす人のための接着技術読本」、日刊工業新聞社、2009年、p.26
- 2) 三刀基郷著：「接着の基礎と理論」、日刊工業新聞社、2012年、p.80

4.1

開発段階での作り込みの目標値

4.1.1 高信頼性・高品質接着とは

「高信頼性・高品質接着」という言葉は、あまり聞かれたことがないかもしれません。そこでまず、「高信頼性・高品質接着」とは何かを説明しましょう。

一般に、①接着強度などの接着特性が高く、②耐久性にも優れていれば良い接着ができています、と考えられがちですが、それらがどんなに優れていても、それだけでは「高信頼性・高品質接着」ができていたとは言えません。それに、③接着特性（強度など）のばらつきが小さい、④不良率が低い（信頼性が高い）、ということが必須の条件となります。この4つの条件を満たすだけなら、コストと手間をかければ達成することは可能です。しかし、通常は生産性やコストが常に追求されるので、⑤生産性、コストに優れている、という条件も満たさなければなりません。

上記の5つの条件をすべて兼ね備えた接着を、「高信頼性・高品質接着」と呼んでいます。この中で特に重要なのは、「ばらつきが小さい」と「不良率が低い」ことです。

4.1.2 開発段階での作り込みの目標値

「高信頼性・高品質接着」を行うためには、開発の最初の段階で達成しなければならない「作り込みの基本条件」があります。その基本条件と作り込みの目標値について説明します。

(1) 接着部の破壊状態—凝集破壊率を40%以上確保する—

(1-1) 接着の破壊箇所

図4.1.1は、2種類の被着材料を接着剤で接着したものの断面の模式図です。このように接着されたものに外力を加えると、どこかが壊れます。

①一つは接着剤の内部で破壊する場合があります。接着剤の内部で破壊する

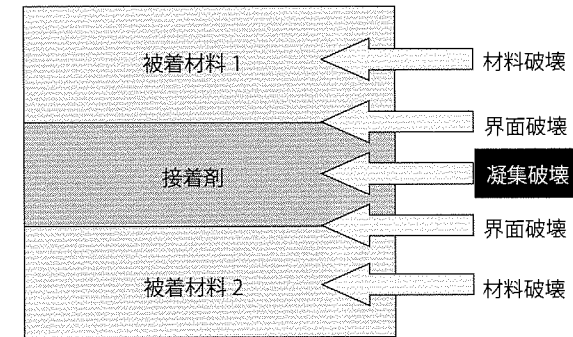


図4.1.1 接着部における破壊の箇所

破壊の状態を「凝集破壊」と呼んでいます。凝集破壊は、接着層の厚さの中ほどで壊れる場合や、被着材との結合界面に近い場所で起こる場合がありますが、どちらも「凝集破壊」です。

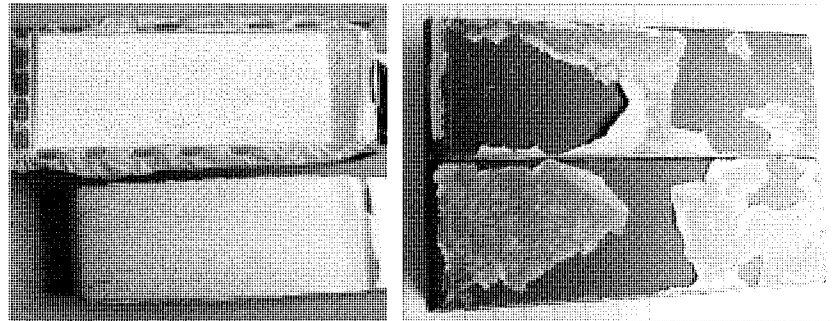
②次の破壊は、接着剤と被着材料が結合している部分、ここを「界面」と言いますが、この界面で破壊する場合があります。界面で破壊する破壊の状態を「界面破壊」と呼んでいます。実際の破壊状態で最も多く見られる破壊の状態です。

③もう一つの破壊は、接着部が強くて被着材料自体が弱い場合には、被着材料自体が先に壊れることになります。被着材自体が破壊する形態を「材料破壊」と呼んでいます。実際の製品では材料破壊が起こることは多々ありますが、接着部の評価を行うには不都合です。接着特性の評価を行う試験体では、材料を補強するなどして材料破壊を避ける必要があります。

これらの破壊状態で最も信頼性に優れているのは、接着剤の内部で破壊する「凝集破壊」です。最も多く見られる「界面破壊」は、信頼性的には不適な破壊ということが出来ます。

図4.1.2の写真は、「凝集破壊」と「界面破壊」の一例です。鋼の角パイプと鋼板を、SGAとも呼ばれている二液型アクリル系接着剤で接着硬化した後、鋼板を引き剥がした後の状態です。左右で表面処理を変えています。

左の写真で白く見えているのは接着剤です。接着部全面にわたって両面とも白いということは、全面で接着剤の内部で壊れている、すなわち、「凝集破壊」



(A) 凝集破壊 (B) 界面破壊

図4.1.2 凝集破壊と界面破壊の例（軟鋼同士、接着剤：SGA）

している状態です。右の写真では、濃いグレーに見える部分は鋼の表面です。薄色に見える膜状の部分は接着剤です。接着面の全面にわたって、いずれかの界面で剥がれているのがわかります。すなわち「界面破壊」です。

(1-2) 凝集破壊率

これらの写真では、接着面の全面が凝集破壊または界面破壊していますが、実際には凝集破壊と界面破壊が混合して起こる場合が一般的です。そこで凝集破壊の程度を、接着面積全体の中で凝集破壊になっている部分の割合で表示し、これを「凝集破壊率」と言います。凝集破壊は良い破壊状態、界面破壊は不適な破壊状態なので、凝集破壊率は高いほど信頼性の高い接着ができていると言えます。

では、「凝集破壊率」は、どのくらいあればよいのでしょうか。理想的には100%（全面）が最良ですが、筆者の経験からすれば、再現性をもって40%以上確保されていれば高信頼性接着ができていると考えることができます。「再現性をもって」というのは、通常起こり得る変動、例えば接着剤や被着材のロットが変わった、季節や天候、時刻によって起こる温度や湿度の変化、作業者が変わるなどがあっても、ということです。

なお、接着は接合の目的以外にも、液体や気体を通さなくするシールにも使われます。シール性が要求される場合は、図4.1.2の右の写真のように、一端から他端までつながるような大きな界面破壊はよくありません。界面破壊の大きさにも注意が必要です。

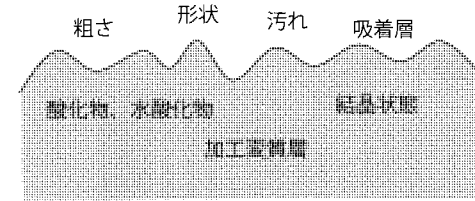


図4.1.3 金属の表面付近の模式図

(1-3) 界面破壊が良くない理由

ここまで、「凝集破壊」は良い破壊、「界面破壊」は不適な破壊と言ってきましたが、その理由を説明します。

図4.1.3は、空气中で加工された金属の表面付近の拡大の模式図です。金属を空气中で加工すると、表面にはすぐに酸化膜や水酸化膜などが自然に生成してしまいます。自然に生成した膜は一般に弱かったり脆かったりして接着の支障となります。また、図面に書いてある公差内で粗さを加工したとしても、凹凸の形状や粗さを細かく見ると、10個中10個とも同じということはありません。凹凸の形状や粗さが変われば、接着性が変わります。さらに、空气中に放置しておくと、空気中のガスや水分が吸着したり種々の汚れが付着したりします。

これらの因子が変化すると、接着に重要な「表面自由エネルギー」（別名「表面張力」とも言います）がさまざまに変わり、接着性は変化します。これらの因子を常に同じ状態にコントロールすれば、ばらつきを抑えることはできますがコントロールするのは非常に困難で、相当なコストがかかります。ですから、一般的には界面は「ばらつきの要因」が非常に多く、界面破壊をすると接着強度のばらつきが大きくなるのです。

(1-4) 凝集破壊が良い理由

界面での接着性を強化することができれば、破壊の場所は接着剤に移ります。接着剤の内部で破壊する「凝集破壊」の場合は、基本的に接着剤の物性だけで強度が決まるので接着強度のばらつきが小さくなります。

(1-5) 凝集破壊率が40%以上あれば良い理由

(1-2) で、凝集破壊率が40%以上確保できていれば信頼性の高い接着がで

000

4.2

設計許容強度、初期の必要破断強度、必要Cv値を簡易に見積もる「Cv接着設計法」

「Cv接着設計法」の計算アプリは、

<https://www.haraga-secchaku.info/cvdesign/>

からダウンロードできます。ぜひご利用ください。

4.2.1 設計基準、設計指針の必要性とCv接着設計法

製品の組立に接着を使いたいと思って、設計基準や設計指針なるものを探してみても見つからない、接着剤メーカーに問い合わせても使用できるかどうかの明確な回答は得られない、結局は接着の採用をあきらめざるを得ないという経験をされた方は多いと思います。この点から、接着はボルト・ナットや溶接のように「工業的に汎用的な接合法」とはなり得ていないと言わざるを得ません。

では、各種の構造体で接着が高度に利用され、実績も得られているものはどうやって達成されているのかというと、適用までには多大な研究開発や検証試験がなされてようやく採用されているのです。これには十分な開発期間と開発リソースが必要なため、接着の採用によって大きな効果が得られる場合にしか採用は困難とも言えます。

しかし、いつでも十分な開発リソースと開発期間があるという恵まれた環境はほとんどありません。そうであれば、部品や機器の基本設計に際して、接着を使いたいと思ったときに接着が採用できるかどうかを簡単に（評価試験なしで）見積めなければなりません。もし、接着では強度が足りないとの見積もりになったら、早急に他の接合法の検討に移ることができます。

そこで、詳細な接着データを取る前に、多くの場合には何の評価試験も行わない段階で接着が適用できそうかどうかを簡易に見積もって見極めるために、筆者は「Cv接着設計法」を開発しました。

この方法で接着の適用可能性が見えたら、評価試験によって必要な数値を求めて見積もりの精度を上げていけば、適切な強度設計が可能となってきます。

4.2.2 接着の設計基準強度、設計許容強度の考え方

接着強度は破断試験で求められることが一般的ですが、破断強度を接着強度の実力値と考えてはいけません。また、破断強度には当然ばらつきがあるので、平均値ではなく最低値で考えねばなりません。ただし、最低値は要求される信頼度（許容できる不良率）で変化します。さらに、最低値は種々の要因で低下します。そこで、通常用いられている破断強度や平均値、劣化前の初期値などではなく、次に示すような接着強度の低下に及ぼす各種因子を考慮して接着強度の実力値を求めて、その強度を設計基準強度とする必要があります。

ここでは、接着強度の低下に影響する因子として、①接着強度のばらつき、②劣化による接着強度の低下と強度ばらつきの増大、③内部破壊の発生、④接着強度の温度依存性を考えます。

接着強度の実力値である設計基準強度で設計するのは危険です。設計に使える強度は、設計基準強度を安全率で除した設計許容強度となります。

「Cv接着設計法」では、前節の4.1.2項に示した高信頼性・高品質接着の基本条件の(1)、(2)を満たすところまで作り込みがなされた接着系であることを前提とするので、破壊状態は凝集破壊の場合について考えます。

4.2.3 Cv接着設計法で見積もりたいもの

図4.2.1は、右から、①初期の室温における破断強度の分布、②劣化による強度低下とばらつき増大後の強度分布、③内部破壊と使用温度による接着強度の低下を考慮した強度分布を示したもので、分布④は③の分布を安全率で除したものです。各分布の左端の塗りつぶした部分は許容できる不良率を示しています。分布③における許容不良率の上限強度が、接着強度の実力値である設計基準強度となり、分布④における許容不良率の上限強度が設計許容強度となります。

図4.2.1には、実際に接着部に加わる最大の負荷力 P_{max} も示してあります。ここで想定以上の不良を出さないためには、設計許容強度は最大負荷力と同じか、それ以上でなければなりません。この条件を満足するためには、初期の室温での平均破断強度は最大負荷力の何倍以上になるように設計すればよいの

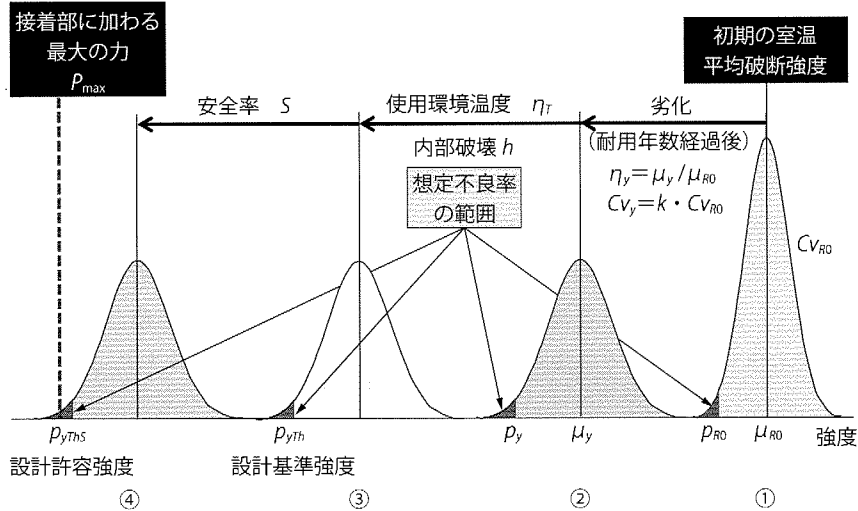


図4.2.1 設計基準強度、設計許容強度と初期の室温平均破断強度の関係

か、これを見積もるのが一つの目的です。

强度的には接着が使えるかどうかという見積もりが出たら、どのくらいのばらつきに押さえた製造をしなければならないか、すなわち、変動係数 Cv をどのくらいに押さえなければならないのかの見積もりが必要となります。これを見積もるのが第二の目的です。

以下に、「 Cv 接着設計法」について具体的に説明していきます。

4.2.4 Cv 接着設計法における前提条件

(1) 接着強度の分布の形

4.1.2項に示した高信頼性・高品質接着の基本条件の(1)、(2)を満たすところまで作り込みがなされた接着系では、被着材料の変形や伸びが小さい場合には、接着強度の分布は正規分布になることがわかっている¹⁻³⁾ので、以下では接着強度の分布を正規分布として扱います。

(2) 接着部に加わる力と発生不良率

図4.2.2は、接着破断強度と接着部に実際に加わる力の大きさの分布を示し

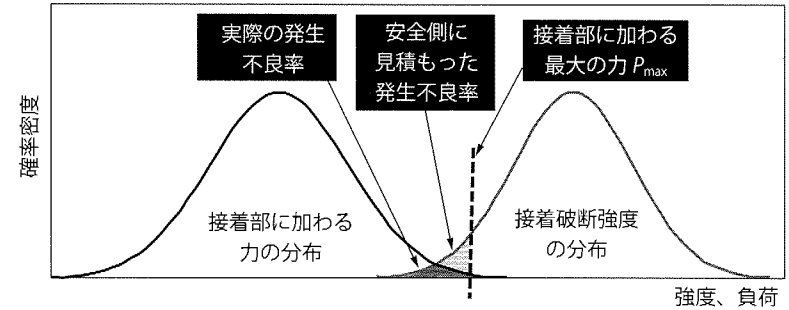


図4.2.2 ストレス・ストレングスモデルにおける接着部に加わる力と発生不良率の関係

たものです。不良は、接着強度の分布と接着部に加わる力の分布が重なったところ（塗りつぶし部分）で生じます。

しかし、接着部に加わる力の分布はわかっていないことも多く、塗りつぶし部分の割合を求めることは容易ではありません。そこで、接着部に加わる最大の力 P_{max} で考え、接着破断強度が P_{max} に満たないものが破壊すると考えます。この場合、発生不良率は塗りつぶし部より多くなるので、安全側に見積もることにもなります。

4.2.5 Cv 接着設計法における接着強度の低下因子

(1) 接着強度のばらつき

(1-1) ばらつき係数 d 、変動係数 Cv 、許容不良率 $F(x)$

ここでは平均強度ではなく、ばらつきを考慮して図4.2.3に示すように、製品の設計段階であらかじめ設定されている許容不良率 $F(x)^{1,2)}$ の上限強度 p を考えます。許容不良率 $F(x)$ は製品の耐用年数までに発生する不良率の許容できる上限値で、設計段階で決められ、1/10万~1/1,000万程度の設定が多いようです^{1,2)}。数字が小さいほど信頼性の要求が高く設定されているということです。許容不良率は、正規分布の面積全体を1として低強度側の面積の占める割合で表し、許容不良率 $F(x)$ の上限強度を p とします。 p は、良品の最低強度ということもできます。

ここで、使用する接着剤の初期の平均破断強度 τ を20 MPaと仮定すると、必要な接着面積は μ_{R0}/τ で求めることができるので、95.7 mm²以上必要（例えば約10 mm×10 mm）という結果になります。

(3) 初期の必要な変動係数 Cv_{R0} の試算

前述の(5)式から容易に求めることができます。

初期のばらつき係数 d_{R0} が0.7、要求される信頼性指数 R が1.50であれば、初期の変動係数 Cv_{R0} は0.067以下が必要となります。

変動係数を常に0.067以下で生産するのは、できないことはありませんが、作り込みには結構な努力が必要です。

(4) 初期の変動係数 Cv_{R0} を仮定して必要な接着強度 μ_{R0} と接着面積を見積もる

初期の変動係数 Cv_{R0} を何とか0.10程度で生産したいという場合には、(15)式で見積もります。

(1)と同じ設定条件で初期の変動係数 Cv_{R0} を0.10として計算すると、初期の必要な平均破断強度 μ_{R0} は2,662N以上必要と算出されます。

20 MPaの接着剤を用いる場合は133 mm²以上の面積が必要となり、変動係数が0.67の場合より広い面積が必要になります。

この場合の初期のばらつき係数 d_{R0} を(4)式で計算してみると0.55となり、(1)で設定した初期のばらつき係数 d_{R0} が0.7より低くなっています。上記(2)の計算では、ばらつき係数は0.7なので最低強度品の強度は1,340Nですが、(4)の試算では必要強度は2,662N以上と高くなっているため、良品の最低強度は1,464Nとなり低くなっているわけではありません。

信頼性指数 R 、ばらつき係数 d_{R0} 、変動係数 Cv_{R0} の見直しを含めて妥協点を探ることとなります。

4.3

設計・施工における留意点

4.3.1 単純重ね合わせせん断試験の平均せん断強度を用いてよいか

2.3.3項で述べたように、接着剤のカatalogを見るとせん断接着強度が掲載されていますが、これはJIS K 6850などに規定された板同士の単純重ね引張りせん断試験から得られたものです。幅25 mm、長さ100 mmの板同士を重ね合わせ長さ12.5 mmで接着して引張り試験を行い、破断荷重を接着面積で割った単位面積当たりの平均せん断強度です。

ところが、2.3.3項で述べたように、重ね合わせ部に生じるせん断応力は両端部に近いほど大きくなり、接着部の中央では低くなります。

破壊は応力の高い重ね合わせ長さの端部から始まるので、正確には破壊時点での端部の応力値を知る必要があります。しかし、破壊時の端部のせん断応力値を求めることは容易にはできません。そのため、便宜的に破断時の荷重値を接着面積で割った平均せん断応力が使われています。

設計に用いるせん断応力値は、重ね合わせ端部が破壊する直前の端部でのせん断応力（これを τ_{max} とする）を用いたいところですが、破断荷重値を接着面積で割って求めた平均せん断応力（これを τ_{μ} とする）は τ_{max} より小さいので、 τ_{μ} で設計すれば安全サイドの設計となります。

したがって、限界設計が要求される部品や機器以外であれば、平均接着応力 τ_{μ} を設計の日安として用いて差し支えないと考えられます。

4.3.2 水分劣化に対する設計

(1) 接着部の形状・寸法

図4.3.1は、円柱、正四角柱、正三角柱同士を突き合わせ接着した試験片の形状を示したものです。接着面積 S はすべて同じです。試験片はいずれも水を通さない同種の金属製で、接着剤も表面処理も同じです。これらの試験片を同

合わせると、接着剤で閉じられた内部に空気溜まりができ、部品同士を圧縮すると空気溜まりの空気が押し広げられて接着剤を押し破って外部に出るため、接着部に欠陥が生じることとなります。

接着欠陥を作らない基本は、接着部の中央に接着剤を点状や線状に盛り上げて塗布し、部品で押し広げていくことです。接着剤のはみ出し量を減らすためには、図4.3.15に示すような5点塗布(A)、X字形塗布(B)、Y字形塗布(C)などがあります。

どうしても部品の外周に沿って接着剤を塗布しなければならない場合は、空気溜まりができる部分に空気抜き穴を設けることが必要です。

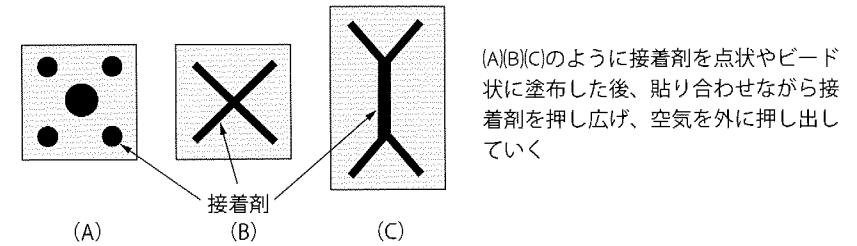
4.3.7 二度加圧を回避する治工具設計

図4.3.16は、(A)のように平面パネルに反りのあるハット形補強材を接着する例です。部品の貼り合わせ時に一度仮加圧して、加圧を外した後に再度本加圧を行うことはよく行われています。仮加圧で塗布された接着剤は押しつぶされて薄くなり、余分な接着剤ははみ出しますが、ここで力を抜くと部品はスプリングバックで元の形状に戻るため接着層は再び厚くなりますが、はみ出した接着剤が元の場所に戻ることはなく、接着部の周囲から空気を引き込んでしまいます。その結果、(B)のように接着層に欠陥部が生じます。欠陥部は、接着剤の硬化不良や接着強度の低下、欠陥部への塗装の薬液や使用中の水の浸み込みによる劣化などを引き起こすこととなります。

この現象は板金部品で多く見られるトラブルですが、接着層の厚さは薄いいため、合わせ面に少しでもガタがあると剛体部品でも起こる問題です。二度加圧を避けて、加圧が一度で済むような治工具の設計と施工が重要です。

参考文献 (第4章)

- 1) 原賀康介：接着の技術誌、Vol.32、No.3、p.62 (2012)。
- 2) 原賀康介：接着の技術誌、Vol.24、No.2、p.58 (2004)。
- 3) 原賀康介：日本接着学会誌、Vol.39、No.12、p.448 (2003)。
- 4) 原賀康介：日本接着学会誌、Vol.43、No.8、p.319 (2007)。
- 5) 原賀康介：日本接着学会誌、Vol.40、No.11、p.564 (2004)。



【塗布パターン(A)における接着剤の広がり方】

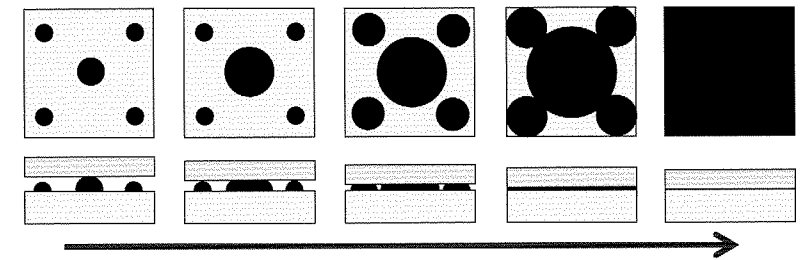


図4.3.15 気泡を入れない接着剤の塗布パターン

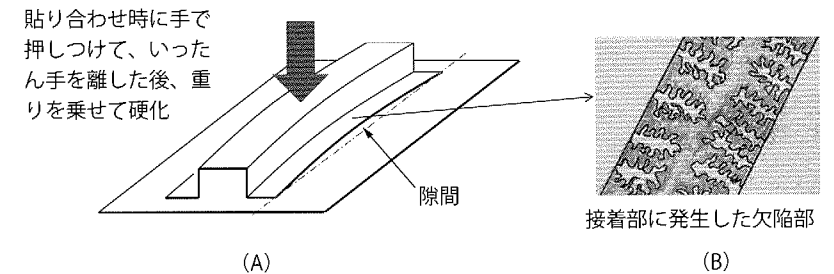
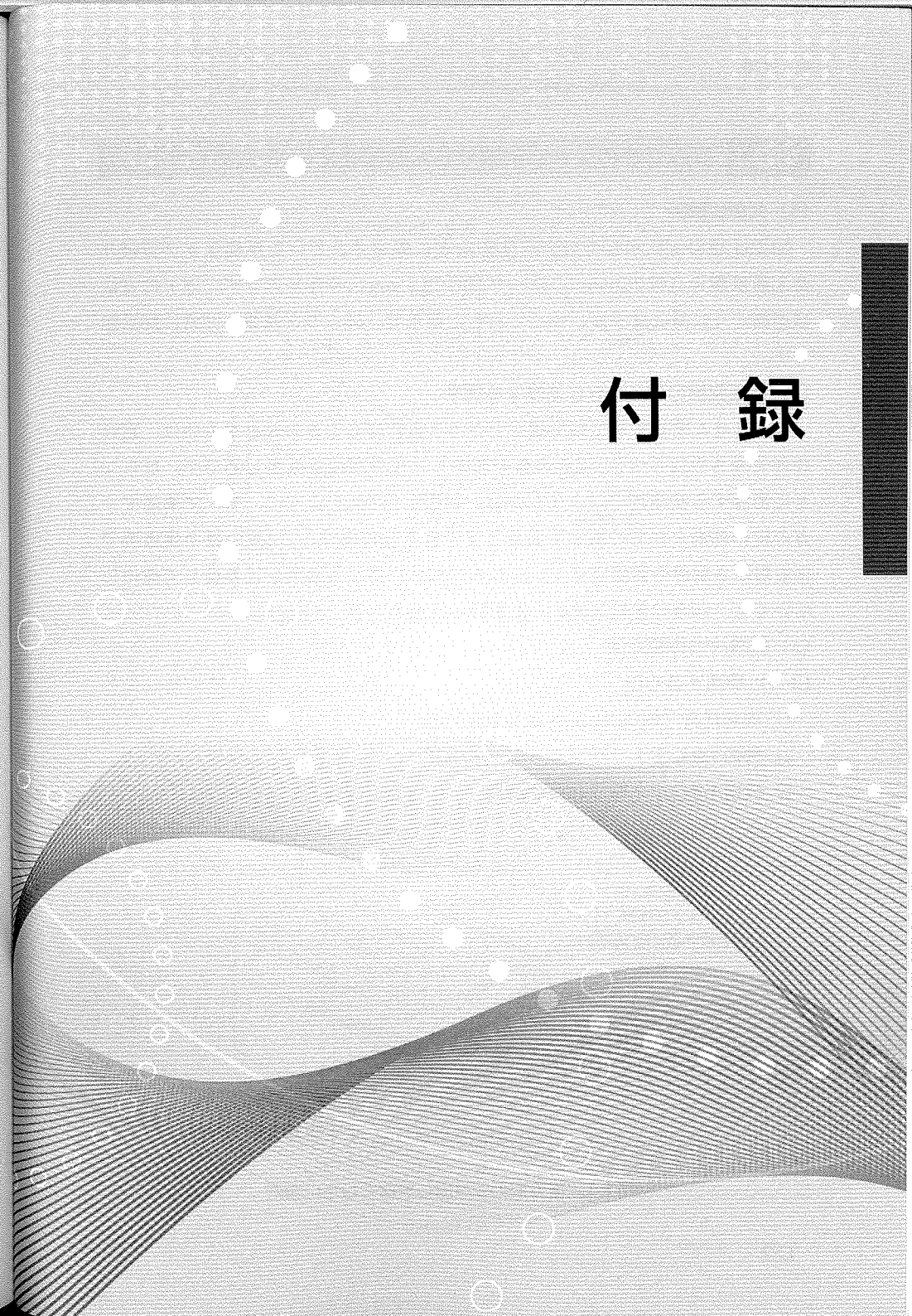


図4.3.16 二度加圧による接着欠陥（空気の引き込み）の発生

付 録



付録1 ばらつきの少ない引張りせん断試験片の作り方

(1) 対象試験片

図2.3.1項の(A)に示したJIS K 6850などに規定されている単純ラップ引張りせん断試験片（幅25.0 mm、ラップ長さ12.5 mm）の作り方です。以下の方法は面倒そうに見えますが、やってみると簡単で、ばらつき低減に非常に効果的です。

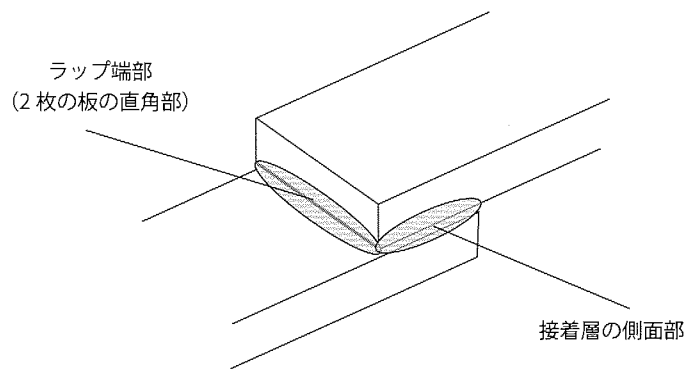
(2) 接着強度のばらつきに影響する因子

引張りせん断試験片で強度測定を行うときにばらつきの元となるのは、重ね合わせ長さのばらつき、2枚の板の曲がり、接着剤のはみ出し部です。ばらつきに影響する接着剤のはみ出し部は、付図1.1に示すように、ラップ端部で一方の板の端面と他方の板の平面部とでできる直角部分と、2枚の板の側面部で接着層厚さ部分の側面部です。これらの部分以外に接着剤がはみ出して硬化していても、ばらつきにはほとんど影響しません。

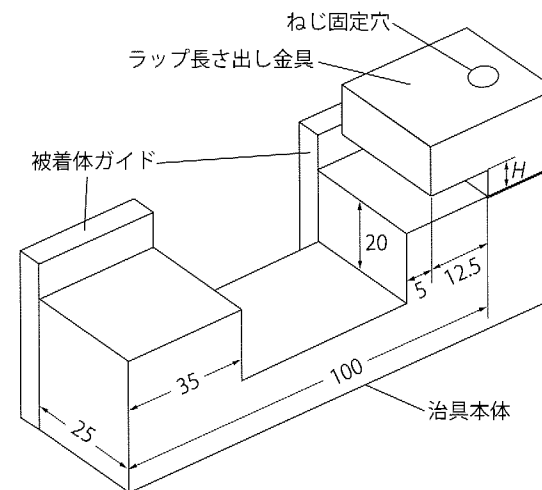
(3) 試験片の作製方法

(3-1) 準備するもの

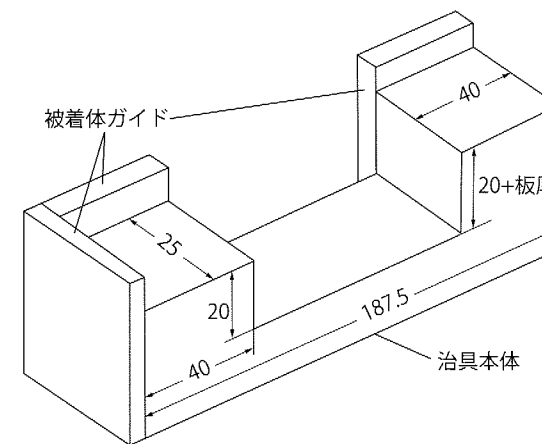
- 1) 被着材料 幅25.0 mm×長さ100.0 mm
- 2) 付図1.2に示すラップ長さセット治具
- 3) 付図1.3に示す貼り合わせ治具



付図1.1 接着剤のはみ出しをなくしたい箇所



付図1.2 ラップ長さセット治具（単位：mm）



付図1.3 貼り合わせ治具（単位：mm）

付録3 接着剤の管理のポイントチェックリスト

候補となる接着剤の種類が絞り込めたら、絞り込んだ接着剤の管理上のポイントをチェックします。管理が非常に難しくれば、採用するかどうか再考が必要になります。

付表3.1は二液型エポキシ系接着剤

付表3.2は一液加熱硬化型エポキシ系接着剤

付表3.3は二液型ウレタン系接着剤

付表3.4は二液型変性アクリル系接着剤 (SGA)

付表3.5はプライマー型変性アクリル系接着剤 (SGA)

付表3.6は一液湿気硬化型接着剤

のチェックリストです。

各チェックリストでは、接着剤の受け入れ・保管、接着作業の準備、接着作業、検査の段階に分けて示してあります。各チェックリストの中の●印をつけた項目は、特に重要な項目です。

なお、付表3.1～3.6のExcelファイルは(株)原賀接着技術コンサルタントのHP <https://www.haraga-secchaku.info/checklist/> からダウンロードできます。

付表3.1 二液型エポキシ系接着剤の選定・使用上の注意点、管理のポイント

※この表のExcelファイルは、(株)原賀接着技術コンサルタントのHP <https://www.haraga-secchaku.info/checklist/> からダウンロードできます

〈選定・使用時の注意点〉

- 二液の配合比の許容範囲は狭い
- 十分な混合が必要
- 接着剤混合開始から貼り合わせ終了までの時間はポットライフ内で行うこと (ポットライフは混合量が多く、作業雰囲気温度が高いほど短くなる)
- 10℃以下の低温では硬化しにくい (加温が必要)
- 硬化後の硬さが硬いものは、一般にはく離、衝撃に弱い (カタログでは、せん断強度とはく離強度の両方を見ること)
- 基本的に油面接着性はない (接着面の十分な脱脂・清浄が必要)
- 界面破壊する場合は表面改質を行って凝集破壊にすること (界面破壊では、せん断強度が高くてもはく離強度や耐久性は低く、ばらつきも大きい)
- 要求スペックに合ったグレードの選定は接着剤メーカーと相談しながら行うこと

●は重要項目

接着剤	工程		管理項目		管理のポイント	
	受入	保管	ロット管理	納入仕様書	製造日の確認	試験結果の適合性確認
接着剤の受入・保管	●有効期限	●有効期限	●有効期限	●有効期限	●有効期限	●有効期限
		●保管場所・環境	●保管場所・環境	●保管場所・環境	●保管場所・環境	●保管場所・環境
		●低温保管時の結晶化	●低温保管時の結晶化	●低温保管時の結晶化	●低温保管時の結晶化	●低温保管時の結晶化
		●吸湿	●吸湿	●吸湿	●吸湿	●吸湿
接着作業の準備	作業環境	●温度・湿度	●温度・湿度	●温度・湿度	●温度・湿度	●温度・湿度
		●換気	●換気	●換気	●換気	●換気
	作業者	●教育・訓練	●教育・訓練	●教育・訓練	●教育・訓練	●教育・訓練
		●安全・衛生	●安全・衛生	●安全・衛生	●安全・衛生	●安全・衛生
		●接着阻害物の移行の防止	●接着阻害物の移行の防止	●接着阻害物の移行の防止	●接着阻害物の移行の防止	●接着阻害物の移行の防止
	接着剤取出し	●先入れ先出し	●先入れ先出し	●先入れ先出し	●先入れ先出し	●先入れ先出し
		●開封までの放置時間 (結露防止)	●開封までの放置時間 (結露防止)	●開封までの放置時間 (結露防止)	●開封までの放置時間 (結露防止)	●開封までの放置時間 (結露防止)
		●開封後の使用期間	●開封後の使用期間	●開封後の使用期間	●開封後の使用期間	●開封後の使用期間
	接着剤の状態確認	●分離・沈降の有無	●分離・沈降の有無	●分離・沈降の有無	●分離・沈降の有無	●分離・沈降の有無
		●色	●色	●色	●色	●色
		●粘度・流動性	●粘度・流動性	●粘度・流動性	●粘度・流動性	●粘度・流動性
	接着剤使用後の再保管	●容器の密閉	●容器の密閉	●容器の密閉	●容器の密閉	●容器の密閉
●冷蔵保管の適否 (容器内での結露防止)		●冷蔵保管の適否 (容器内での結露防止)	●冷蔵保管の適否 (容器内での結露防止)	●冷蔵保管の適否 (容器内での結露防止)	●冷蔵保管の適否 (容器内での結露防止)	
接着作業	計量・混合・塗布 (手作業の場合)		計量・混合・塗布 (手作業の場合)		計量・混合・塗布 (手作業の場合)	
	用具の準備	●計量・混合・脱泡・塗布・仕上げなどの用具を揃える	●計量・混合・脱泡・塗布・仕上げなどの用具を揃える	●計量・混合・脱泡・塗布・仕上げなどの用具を揃える	●計量・混合・脱泡・塗布・仕上げなどの用具を揃える	
		●二液の計量	●二液の計量	●二液の計量	●二液の計量	
	二液の計量	●配合比	●配合比	●配合比	●配合比	
		●二液の計量順番	●二液の計量順番	●二液の計量順番	●二液の計量順番	
		●二液の滴下位置	●二液の滴下位置	●二液の滴下位置	●二液の滴下位置	
		●配合比の許容範囲	●配合比の許容範囲	●配合比の許容範囲	●配合比の許容範囲	
		●配合量	●配合量	●配合量	●配合量	
	混合	●容器と攪拌具の形状	●容器と攪拌具の形状	●容器と攪拌具の形状	●容器と攪拌具の形状	
		●攪拌の仕方	●攪拌の仕方	●攪拌の仕方	●攪拌の仕方	
●混合状態確認		●混合状態確認	●混合状態確認	●混合状態確認		
脱泡	●脱泡の方法	●脱泡の方法	●脱泡の方法	●脱泡の方法		
	●脱泡時の発熱	●脱泡時の発熱	●脱泡時の発熱	●脱泡時の発熱		
	●脱泡時間	●脱泡時間	●脱泡時間	●脱泡時間		
	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み		
シリンジなどへの充填	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み	●気泡の巻き込み		
	●残液の保管	●残液の保管	●残液の保管	●残液の保管		

接着作業	貼り合わせ	気泡混入	空気を巻き込まないように貼り合わせる
		● 可使時間	塗布開始から貼り合わせ作業終了までの上限時間を規定しておく（夏期高温時基準） 塗布に時間がかかる場合は、塗布開始からの経過時間をカウントしてアラームを出す
	硬化までの加圧・固定	治具の清掃	接着剤付着がないこと
		加圧力	部品の変形や位置ずれが生じず、接着層の厚さが所定厚さになる下限圧力程度
	● 二度加圧	空気の引き込みが生じやすいので二度加圧はしない	
室温での硬化	● 温度・時間	最低温度・湿度と硬化時間の管理	
		硬化場所の温度・湿度の自動記録	
		低湿度時は加湿する	
		大量の発生を行う場合は、発生ガスに注意（換気）	
工 程		管理項目	管理のポイント
検査		外観検査	はみ出し部の硬化状態の確認
	● 抜取り破壊検査	凝集破壊率	
		未硬化部の有無	
	強度と変動係数		

あとがき

この本の執筆は、接着剤を用いて電気・電子機器を製造する企業の技術者からの「接着剤をどうやって選べばよいのか教えて欲しい」という相談から始まりました。接着剤の選定作業は、経験が少ない技術者、とりわけ化学系ではない技術者にとっては困難で、私も適切な指導をできないままでした。接着剤の選び方は、従来から多くの方々がさまざまな書籍やセミナーなどで解説されてきましたが、実際にその方法や手順で選ぼうとしても、結局は選べないという結果に終わることがほとんどでした。私は部品や機器を製造する企業で、接着のキーマンを務めて多くの接着剤を選定してきたので、自分自身はどうやって選んでいたのだろうかということを改めて思い直してみました。その挙げ句にまとめたのが、第3章「ユーザー視点からの“新しい”接着剤の選び方」です。まだまだ不十分と思いますが、少しは質問の回答に近づけたのではないかと考えています。

次に相談されたのは技術者育成です。接着が専門ではない部品や機器の設計者や生産技術者が、接着を汎用的に用いることができるようになるためには何を知っておけばいいのか、何を目標に学べばいいのか、ということでした。従来から多数の方々がいろいろな接着の書籍を書かれています。内容を見ると化学に偏っており、化学に詳しくない技術者には少々理解しにくい内容のようです。一方、接着剤を用いる際に知っておかねばならない点についての記述はわずかです。

設計・生産技術者は日常業務で多忙を極めている中で、接着以外にも多くの技術を習得しなければなりません。技術者にとって、接着は接合技術の中のOne of Themにすぎません。接着の専門家でなければ使えないような技術であれば、接着はいつまで経っても汎用技術にはなり得ません。そこで、改めて接着を用いる技術者が知っておかねばならないことと、知らなくても最低限の知識や感覚を持っておけばよいことを分けてみました。それをまとめたのが、第1章「接着剤のユーザーが知っておくこと、知らなくてよいこと」と、

第2章「これだけは知っておきたい接着の基礎知識」です。

さらに設計者の方々からは、接着部の強度設計法について多くの質問がなされます。設計に用いることができる接着強度の考え方、その測定方法、試作品での強度評価の方法、試作品での強度とCAE解析での応力・変位の解析結果の対応づけの仕方、劣化による強度低下の予測法などです。残念ながら、確立された汎用的な設計法、設計基準、設計指針というものは存在しません。しかし、試作品を作って評価して判断するだけでは、過剰品質の設計をせざるを得ません。そこで、筆者が長年にわたって積み上げてきた設計法「Cv接着設計法」について、今回初めて詳細を第4章「高信頼性・高品質接着のための目標値と簡易設計法」の中に掲載しました。

この書籍では、部品や機器の設計者や生産技術者に役立つ内容をまとめたつもりですが、読み返すたびに「これも入れたい、あれも入れたい」と思うことがまだまだたくさんあります。機会があれば、さらにお役に立てる内容を整理して紹介したいと思っています。

本書が、接着剤を部品や機器の組立に用いる技術者の方々の一助となれば幸いです。

本書をお読みになされたご感想、ご意見、ご質問、ご要望などを筆者宛てにメール (haraga-kosuke@kcc.zaq.ne.jp) でお送りいただければ幸いです。

本書の構想段階から発刊に至るまで、種々のアドバイスをいただきました日刊工業新聞社出版局書籍編集部の矢島俊克氏に感謝の意を表します。

2022年2月

原賀 康介

索引

数字・アルファベット

5点塗布	148
90°はく離試験	39
180°はく離試験	39
Acoustic Emission (AE)	112
AE発生開始荷重比	112
ASTM C297	39
ASTM D393	39
ASTM D1781	40
Cv接着設計法	117, 118, 120
EIAJ ED-4703	40
Fickの拡散の式	138
IEC 60749-19	40
JAXA	93
JIS K 6800	75
JIS K 6849	39
JIS K 6850	38, 135, 152
JIS K 6853	40
JIS K 6854	39
JIS K 6855	40
JIS K 6856	40
MIL STD-883G	40
MMA	77
SGA	50, 70, 75, 110, 116, 136, 172, 176
SPR	25
SP値	84
T形はく離試験	39
WEB検索	95
WEB販売サイト	89
Wクリップ	154
X字形塗布	148
Y字形塗布	148

あ

アウトガス	87, 91, 97
アウトガス・データベース	93
アクチベーター	36, 73
アセトンタイプ	71
厚さ	50, 53, 70
厚さ調整	157
当て板	160
後硬化	65
アニオン重合	72
網目構造	68
アルコールタイプ	71
アンカー効果	29
安全サイド	135
安全性	27
安全率	119, 129
異音	145
異種材	20, 25
イソシアネート	68
板厚	43
位置合わせ	26, 65
一液加熱硬化型エポキシ系接着剤	116, 167
一液湿気硬化型接着剤	178
一液付加反応型シリコン系接着剤	69
位置ずれ	58, 87, 92, 94
糸切れ性	92
上側規格値	124
ウェルドボンディング	25
薄板化	20, 23
海島構造	51
エージング	67
エネルギー	146
エポキシ系	64

〈著者紹介〉

原賀 康介 (はらが こうすけ)

(株)原賀接着技術コンサルタント 専務取締役 首席コンサルタント 工学博士
日本接着学会構造接着・精密接着研究会幹事、接着適用技術者養成講座講座長、
接着技術者スキルアップ講座講座長

専門：接着技術（特に構造接着と接着信頼性保証技術）

1973年、京都大学工学部工業化学科卒業。同年に三菱電機(株)入社、生産技術研究所、
材料研究所、先端技術総合研究所に勤務。入社以来40年間にわたり一貫して接着接
合技術の研究・開発に従事。2012年3月、(株)原賀接着技術コンサルタントを設立し、
各種企業における接着課題の解決へのアドバイスや社員教育などを行っている。

開発した技術

接着耐久性評価・寿命予測技術
接着強度の統計的扱いによる高信頼性接着の必要条件決定法
耐用年数経過後の安全率の定量化法
接着の設計基準の作成
「Cv接着設計法」の開発
複合接着接合技術（ウェルドボンディング、リベットボンディングなど）
ハニカム構造体の簡易接着組立技術
SGAの高性能化（低ひずみ、焼付け塗装耐熱性、高温強度・耐ヒートサイクル性、
難燃性ほか）
内部応力の評価技術と低減法
被着材表面の接着性向上技術
精密部品の低ひずみ接着技術
塗装鋼板の接着技術 など

受賞

1989年 日本接着学会技術賞
1998年 日本電機工業会技術功労賞
2003年 日本接着学会学会賞
2010年 日本接着学会功績賞

著書

「高信頼性を引き出す接着設計技術—基礎から耐久性、寿命、安全率評価まで—」、
日刊工業新聞社、(2013年)
「高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—」、日刊工業新聞社、(2013年)
「自動車軽量化のための接着接合入門」(佐藤千明共著)、日刊工業新聞社、(2015年)
「わかる！使える！接着入門」、日刊工業新聞社、(2018年)
その他共著書籍 31冊

ユーザー目線で役立つ

接着の材料選定と構造・プロセス設計

NDC579.1

2022年2月28日 初版1刷発行

©著者 原賀 康介
発行者 井水 治博
発行所 日刊工業新聞社

〒103-8548 東京都中央区日本橋小網町14-1
電話 書籍編集部 03-5644-7490
販売・管理部 03-5644-7410
FAX 03-5644-7400
振替口座 00190-2-186076
URL <https://pub.nikkan.co.jp/>
email info@media.nikkan.co.jp
印刷・製本 新日本印刷

落丁・乱丁本はお取り替えいたします。 2022 Printed in Japan

ISBN 978-4-526-08188-0 C3043

本書の無断複写は、著作権法上の例外を除き、禁じられています。

●日刊工業新聞社の好評図書●

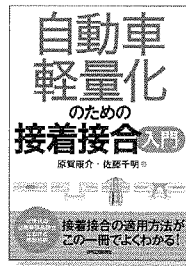
自動車軽量化のための接着接合入門

原賀 康介・佐藤 千明 著 A5判/216頁

定価：2,750円（本体2,500円+税10%）

ISBN 978-4-526-07364-9

溶接や締結などと比べてあまり知られていない接着を、より理解し活用してもらうことを主眼に置いて解説した。軽量化に貢献する組立方法の中での接着接合法の位置づけを明確にしつつ、接合機能と生産性、コストを並立できる接着剤の活用法と工法をやさしく指南する。



高信頼性接着の実務

原賀 康介 著 A5判/240頁

定価：2,640円（本体2,400円+税10%）

ISBN 978-4-526-07000-6

接着接合は部品組立における重要な要素技術だが、安易に使用される例が多い。ばらつきが少なく、耐久性に優れた高強度接着を行うには各工程でのつくり込みが不可欠である。本書は接着不良を未然に防ぎ、高信頼性接着を行う基礎と現場で必要とされる急所を解説する。



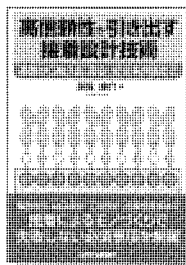
高信頼性を引き出す接着設計技術 基礎から耐久性、寿命、安全率評価まで

原賀 康介 著 A5判/272頁

定価：2,860円（本体2,600円+税10%）

ISBN 978-4-526-07156-0

材料設計・構造設計技術者向けに、他の接合方法と比べて「接着」を検討するための必要十分な知識と要点を簡潔にまとめた。接着剤の選定から接着構造、接着強度と製品信頼性、寿命評価法、設計基準と安全率評価などの勘どころを提示。接着設計のつくり込み技術を説く。



わかる! 使える! 接着入門

原賀 康介 著 A5判/176頁

定価：1,980円（本体1,800円+税10%）

ISBN 978-4-526-07823-1

原理・原則などロジカルな面と、実作業方法などマニュアル面をつなぐ「事前準備と段取り」に注目して解説するシリーズの「接着」編。出来映え設計から接着剤の選定、表面処理方法の検討、強度・耐久設計、構造設計、プロセス決定、試作時の注意などノウハウを整理した。



ユーザー目線で役立つ

接着^の 材料選定と 構造・プロセス設計



9784526081880



1923043023005

ISBN978-4-526-08188-0
C3043 ¥2300E

定価2530円
(本体2300円+税10%)
☆化学・バイオ

化学に不慣れな設計・生産技術者が正しく行える
「接着剤の新しい選び方」と「接着強度の見積もり法」

- 第1章 …… 接着剤のユーザーが知っておくこと、知らなくてよいこと
- 第2章 …… これだけは知っておきたい接着の基礎知識
- 第3章 …… ユーザー視点からの"新しい"接着剤の選び方
- 第4章 …… 高信頼性・高品質接着のための目標値と簡易設計法

付録 ばらつきの少ない引張りせん断試験片の作り方／
消去法による接着剤選定チェックリスト／接着剤の管理のポイントチェックリスト