

第4回 自動車の材料多様化における接着の課題

株式会社原賀接着技術コンサルタント
首席コンサルタント 原賀康介

はじめに

シリーズ「接着接合における高信頼性設計」の第1回目では「接着の実力強度と設計基準」¹⁾について、第2回目では「接着の耐久信頼性に影響する諸因子」²⁾について、第3回目では「併用接合による接合信頼性の向上」³⁾について述べた。今回は、シリーズ最終回として、「自動車の材料多様化における接着の課題」について述べる。

自動車の車体組立に使用される材料の多様化が進んでいる。金属材料においては、超高張力鋼板、アルミニウム、マグネシウム、チタンなどへの展開、樹脂材料においては、生産性を考慮した短繊維、特に炭素繊維とポリプロピレン、ナイロンなどの熱可塑性樹脂による複合材料やポリカーボネート樹脂ガラスへの展開などがなされている。

材料の多様化に伴い、異種材料の接合方法の開発も進んでいる。異種金属接合においては、摩擦攪拌接合（FSW）、レーザー溶接、スポット溶接、かしめなど、樹脂同士においては、一体成型、溶着など、金属と樹脂においては、機械的接合、接着、金属表面に細かい凹凸を形成して樹脂と直接接合する方法などが新たな展開を見せている。異種金属や金属と炭素繊維強化複合材料（CFRP）の接合においては、電食の防止策が課題であり、シール方法も種々検討されている。

接着剤による接合は、異種材料の接合方法として重要な要素技術であり、エポキシ系接着剤、ウレタン系接着剤、アクリル系接着剤を中心として、多くの接着剤メーカーが開発にしのぎを削っている。本稿では、自動車の材料多様化における接着の課題として、車体組立用接着剤に必要な性能と接着剤の現状、接着の本質的な問題点、車体組立における接着剤活用の方向性について述べる。

1. 車体組立用接着剤に必要な性能と接着剤の現状

(1) 車体組立用接着剤に必要な性能

車体組立用接着剤には次のような性能が求められる。

・作業性

①取扱いのし易さ：一液型が望ましいが、二液型では計量・混合の容易さ、温度・湿度の影響の少なさなど、②塗布しやすくてたれのない粘度、③隙間充填性、④塗布装置の簡便さ：繰返し吐出性、洗浄性、⑤油面接着性：特に板金部品では必須、⑥短時間硬化性、⑦ウェルドボンディング適性：スポット溶接併用の場合、⑧低内部応力：線膨張係数の差による熱変形の回避、⑨耐塗装性：耐薬品性、耐シャワー性、電着塗装適性、焼付け耐熱性、塗料密着性など、⑩絶縁性：電食防止のため、⑪シール性、など。

・接合特性

①各種材料への接着性：せん断強度、はく離強度、②強靱性、耐衝撃性：特に低温時、③高温強度、④振動吸収性、⑤信頼性：凝集破壊性、ばらつきの小ささ、⑥耐久性：耐環境性（特に塩水）、耐疲労性、耐クリープ性、など。

・その他

①保存安定性：海外工場への輸送など、②法規制対応：RoHS、REACHなど、③硬化後の臭気：車室内の臭気、④作業員へのやさしさ：皮膚かぶれ、吸引安全性、皮膚付着物の洗やすさ、⑤廃棄のし易さ：破棄物の少なさ、など。

(2) 接着剤の現状

上記を全て満足する接着剤は、現状では皆無に近い。接着剤は既に車体組立に採用されているが、接着剤だけで組立てられている物はほとんどなく、併用接合や構造設計により接着剤の欠点を補っている。

車体組立用接着剤のベース樹脂としては、エポキシ、ウレタン、アクリルが有力と考えられ、多くの接着剤メーカーで改良開発が進められている。

2. 接着の本質的な問題点

接着は、異種材料の接合ができる、応力分散が図れるなどの多くの特徴を有しているが、次のような本質的な問題点も有している。

①接着剤の組成により、接着しやすい材料と接着しにくい材料が異なる。そのため、部品の材質に合わせた組成が必要となる。異種材接合では接合される両部品と相性の良い組成が必要となる。

②表面での分子間力による接合であるため、最終的に界面が存在する。このため、部品のバルク特性ではなく、表面の特性が接合性能に影響する。例えば、複合材料と言っても、接着する表面はマトリックス樹脂だけであり、鋼やアルミと言っても、めっきの表面や酸化膜の表面であり、表面が弱ければ強固な接合は得られない。

3. 車体組立における接着剤活用の方向性

(1) 基本的考え方

多種多様な被着材料に合わせて接着剤を開発、使用することは、接着剤の多品種少量化を招くこととなり、接着剤のユーザー、接着剤メーカー共に好ましくない。また、次々と開発される被着材料に対応した接着剤の開発は、後追いの開発となり時間的にも不利である。

そこで、被着材料の表面を接着性に優れた状態に統一的に改質できる方法を開発し、接着剤は、界面密着性に捕らわれず、自動車用接合材として必要なバルク特性を満足させる開発に注力するのが得策であり、また、接着剤のバルク特性の不足分の補足や、作業性、接合信頼性の向上のために、併用接合や接合構造の検討も重要と考える。

(2) 接着剤のバルク特性の作り込み

低温における耐衝撃性の向上のためには、樹脂を強靱化する必要がある。強靱化の方法としては、硬い樹脂成分と柔軟なエラストマー成分の混合が基本であるが、海/島構造を形成させることによりさらに強靱性を高められると考えられる。二液アクリル系接着剤 (SGA) における海/島構造の例を図1に示した。

また、異種材接合における部品の線膨張係数の違いにより発生する熱歪みを無くすためには、加熱硬化をさけて室温硬化できる組成に持つて行くことが必要である。

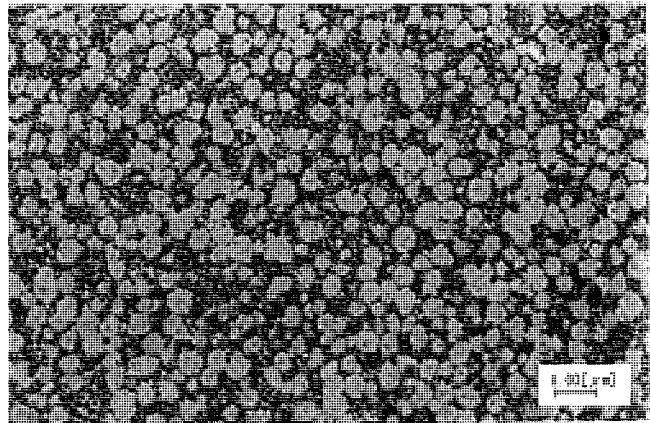


図1 二液アクリル系接着剤 (SGA) における海/島構造の例
(白い島がアクリル, 黒い海がエラストマー)
(写真提供: 電気化学工業株)

(3) 表面の改質

接着の対象となる材料の表面は、接着性に劣る物も多い。難接着性材料は表面を改質することによって、表面の接着性の向上を図る必要がある。

表面改質法としては、プラズマ照射 (大気圧, 低圧)、短波長紫外線照射 (低圧水銀ランプ, エキシマランプ)、火炎処理、レーザー照射など種々の方法があるが、被着材料の種類ごとに改質方法が異なることは設備面で不利であるため、広範な材料に共通して使用できる改質方法、改質装置の検討・開発が必要となる。

表面を改質する方法として、広範な材料に適用できるプライマーやコーティング剤の開発も考えられる。

樹脂や金属の表面にアンカー効果を持たせるための微細な凹凸を形成させるめっきやエッチングなども考えられる。

(4) 表層破壊の回避

表面と強力に接着すると、素材の表面付近の強度が低ければ、素材の表面層が接着剤に付着した状態で破壊する表層破壊が発生する。図2は、プラズマ処理したガラス繊維強化ポリエステル樹脂を二液アクリル系接着剤 (ハードロック NS700M-20: 電気化学工業株製) で接着したものの、引張りせん断試験における表層破壊の例である。表面近傍が接着剤に全面付着して剥がれ、繊維層が見えている。

表層破壊を防ぐためには、素材の表層を強化する必要がある。シート材であればクラッドやラミネート、コーティングなどが考えられる。竹は、図3に示すように、表面が

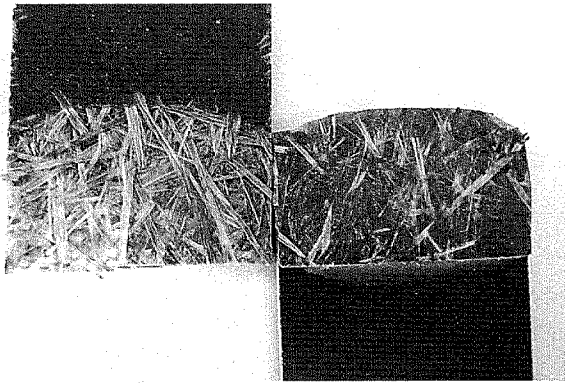


図2 引張り剪断試験における表層破壊の例

硬く内部が柔らかく、繊維の密度も表層と内部で異なっていて、軽量で強靱な性質を有している。材料自体に、竹のように表層が内部より強靱になるような傾斜機能を付与できれば一層好ましい。

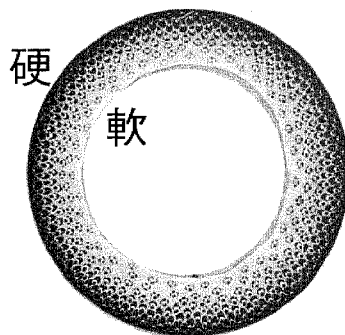


図3 竹の断面の構造

接着剤から考えれば、表層破壊が始まる接着端部に加わる応力レベルを低減することが考えられる。接着剤の弾性率を下げれば応力レベルは低下するが強度も低下するため好ましくない。図4 (A) のように、接着中央部の接着剤は硬く、接着端部の接着剤を柔らかくすれば、接着端部での応力レベルを下げるができる。このように、接着層に傾斜機能を付与するアイデアは古くからあるが、民生機器や量産機器ではプロセスやコスト面から困難と思われていて検討例は少ない。エポキシ系接着剤やウレタン系接着

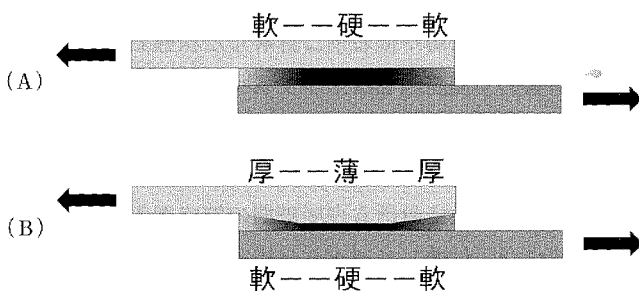


図4 接着端部の応力を低減させる方法の例
(A) 接着剤の硬さに傾斜を付ける、
(B) 接着端部の接着層を厚くする

剤では簡単にはできないが、二液アクリル系接着剤 (SGA) では、配合比の許容範囲の広さを利用して容易に実現できる。例えば、ガラス転移温度 T_g が 50°C の A 剤と、 160°C の B 剤を用いて、配合比を A 剤 : B 剤 = 7 : 3 ~ 3 : 7 に変化させると、混合物の T_g を 83°C ~ 127°C と変化させることができる。あるいは、弾性率が 100MPa の A 剤と、 1500MPa の B 剤を用いて、配合比を A 剤 : B 剤 = 7 : 3 ~ 3 : 7 に変化させると、混合物の弾性率を 520 ~ 1080MPa と変化させることができる。さらに、図4 (B) のように、接着層の厚さを、接着部の中央部では薄く、端部では厚くすることによっても、接着端部での応力集中を小さくすることが可能である。

(5) 併用接合法の活用

低温における耐衝撃性を向上させると、一般に、高温での接着強度やクリープ抵抗性が低下しやすくなる。本シリーズ3回目の「併用接合による接合信頼性の向上」³⁾ で述べたように、接着剤と他の接合方法を併用することによって、高温での接着強度、耐クリープ性、耐疲労性などを向上させることができる。

部材の線膨張係数の違いによる熱変形を無くすために、室温硬化型接着剤を用いると、接着剤の硬化までの固定が問題となるが、固定治具の代用として接着以外の接合方法を用いれば、硬化までの待ち時間を無くすることができる。室温硬化型接着剤で接着剤の硬化時間を短くすると、混合から貼り合せ終了までの作業可能時間も短くなり、夏期高温時には特に問題となる。接着剤と他の接合方法とを併用すると、短時間硬化は不要となるので、夏期高温時でも十分な作業時間が確保できる硬化速度に調整することができる。特に、気温が高い海外工場での生産には重要なポイントである。

(6) 今後期待される接着剤

車体の組立工程中に、接着のための脱脂工程を入れることはきわめて困難であることから、油面接着性は必須の条件と考えられる。室温硬化で油面接着性を有する接着剤は、現在のところアクリル系接着剤 (SGA) だけである。図5は、防錆油が流れるほど多量に付着した鋼材と鋼板を二液型アクリル系接着剤 (SGA) で接着した物の破壊面の状態であるが、接着剤は両面に強く接着しており、接着剤の中での

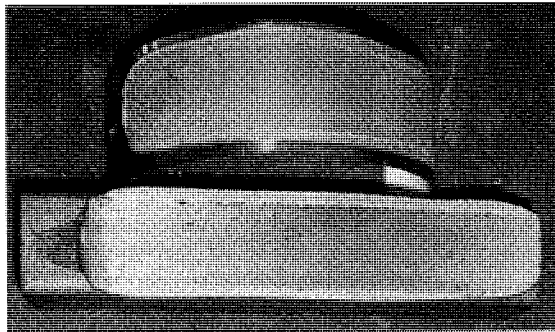


図5 防錆油が多量に付着した鋼材と鋼板を二液型アクリル系接着剤で接着した物の破壊面の状態。完全な凝集破壊になっている。

完全な凝集破壊になっている。

二液アクリル系接着剤を用いると、3.(4)で述べた傾斜機能を活用することもできる。

アクリル系接着剤(SGA)は、レドックス重合によりラジカル反応で硬化するため、可使時間(混合から貼り合せ終了までの作業可能時間)と固着時間との時間比率が3～4倍と短いという特徴もある。エポキシ系接着剤は、室温硬化型でも加熱硬化型でも、付加重合による硬化であるため、可使時間と固着時間との時間比率は12～16倍と長いのが一般的である。

従来のMMA(メチルメタアクリレート)系のアクリル系接着剤(SGA)は臭気が強く、輸出時に危険物に分類されるという欠点があったが、最近ではMMAを使用しない低臭気タイプでより安全な製品も増加しつつある。

上記のような点から、筆者は、車体組立用接着剤として、ラジカル反応のアクリル系接着剤が有力と考えている。ラジカル反応をさらに追求することによって、新機能や新工法の創出も可能と思われる。

(7) 接着評価における課題

せん断強度試験は、接着強度評価の基本であり、一般にJIS K6850などに準拠した引張りせん断試験が実施されている。図6は、各種の樹脂材料の引張りせん断強度の比較である。プラズマ処理を行った物は、いずれも接着剤の凝集破壊か樹脂材料の表層破壊であるので類似の強度を示すはずであるが、結果は材料間の比較ができないほど強度が大きく異なっている。これは、板と板を接着する引張りせん断試験で得られる最大強度は、被着材の引張り強度や、図7(A)に示すような接合部での板の曲がり方に大きく

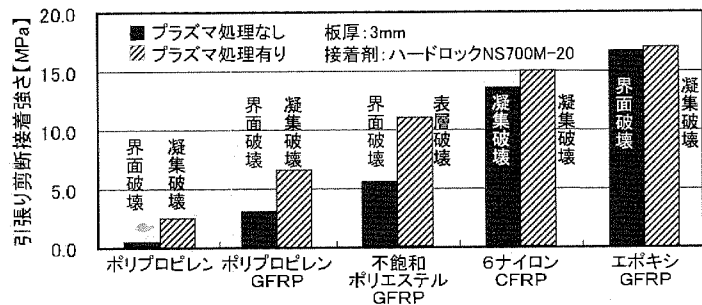
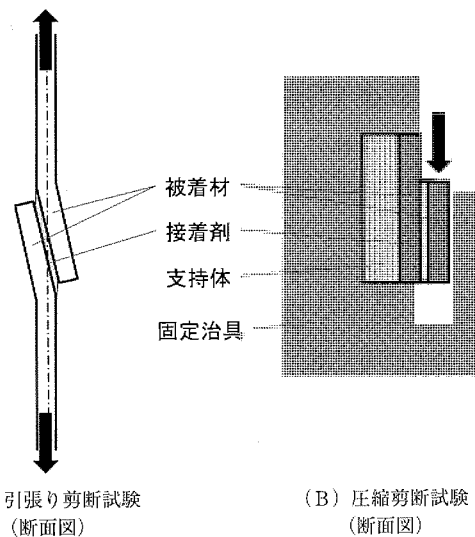


図6 各種の樹脂材料の引張りせん断強度の比較



(A) 引張りせん断試験 (断面図) (B) 圧縮せん断試験 (断面図)

図7 引張りせん断試験における接着部の曲がり、圧縮せん断試験の方法

依存するためである。板の曲がりが起こると、はく離力により低強度で破壊しやすくなる。樹脂材料や複合材料のせん断接着強度を正確に測定するためには、板/板での引張りせん断試験から、図7(B)に示すような圧縮せん断試験に移行する必要があると考えられる。

耐衝撃性試験も重要であり、最近では、図8(A)に示すような、JIS K6865に準拠したくさび衝撃試験が増加している。この試験においては、被着材料を図8(A)のような形状に曲げる必要がある。金属板では容易に曲げ加工ができるが、樹脂材料や複合材料では簡単にはできない。そこで、例えば、図8(B)に示すような平板で可能な試験方法を考案する必要がある。

接着の信頼性については、本シリーズ1回目の「接着の実力強度と設計基準」¹⁾で述べたが、破断強度や平均値ではなく、内部破壊強度の評価やばらつきを考慮した統計的扱いも重要である。

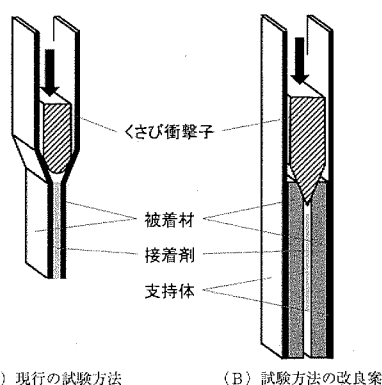


図8 現行のくさび衝撃試験方法と平板試験片での試験方法の案

(8) 接着部の検査と補修、解体

接着接合が車体の主要構造部に使用される場合には、車体組立工程での検査法の開発も重要となる。航空機や宇宙機器で行われているような超音波検査やX線検査をそのまま適用することは困難であり、短時間で判定できる方法と、判定基準の策定が必要となる。また、数万km走行後の接着部の健全性を整備工場で簡易に評価する方法と判定基準の策定も必要となる。

接着部に損傷が見つかった場合の補修方法の開発も必要である。

さらに、廃車となった場合の接着部の解体方法もあらかじめ考えておかなければならない。

残念ながら、筆者は現時点でこれらに関して提案できるだけの知見を有していない。

あとがき

材料多様化に対応する接合法の一つとして接着接合についての課題を述べた。接着剤の性能改良はまだ必要であるが、接着剤を用いる場合は、表層破壊のしにくさなど、接着に適した部品側の表面状態の形成や他の接合法との最適な併用法の検討など、トータルの検討が重要である。

複合材料が急速に量産車にまで適用されると、繊維や樹脂の生産量が急増し、資源からリサイクルまでがこれまでとは大きく変化することとなり、新たな社会的歪みを生み出すことも危惧される。先進国では十分なりサイクルができたとしても、その他の国では焼却処分されるものも多いためと考えられる。特に炭素繊維は導電性があるため、空气中に飛散した短繊維が電子部品の通電部に触れると短絡を起し、思わぬ障害を発生させる恐れが高い。

従来からの金属材料による軽量化技術の開発にも重きを置いて、最低限の樹脂化と金属材料との最適なハイブリッド構造の開発にもより注力すべきではないだろうか。利点と課題を熟考しながら開発を進めることが、企業や技術者の社会的責任ではなかろうか。

・参考文献

- 1) 原賀康介；“接着の実力強度と設計基準”，Polyfile, Vol.51, No.599, P.28 (2014).
- 2) 原賀康介；“接着の耐久性評価に影響する諸因子”，Polyfile, Vol.51, No.600, P.108 (2014).
- 3) 原賀康介；“併用接合による接合信頼性の向上”，Polyfile, Vol.51, No.601, P.74 (2014).

・全般的な参考書籍

- ・原賀康介著「高信頼性接着の実務」（日刊工業新聞社）2013年1月発刊
- ・原賀康介著「高信頼性を引き出す接着設計技術」（日刊工業新聞社）2013年11月発刊

所属：(株)原賀接着技術コンサルタント
 役職：専務取締役 首席コンサルタント
 専門：接着技術（特に構造接着と接着信頼性保証技術）
 ・略歴
 1973年 京都大学工学部工業化学科卒業
 同年 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
 2007年より電気化学工業(株)に兼務出向
 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
 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 『高信頼性接着の実務—事例と信頼性の考え方—』（日刊工業新聞社、2013年）、その他共著書籍多数

■お問い合わせ先

株式会社原賀接着技術コンサルタント

E-mail haraga-kosuke@kcc.zaq.ne.jp

URL <http://www.haraga-secchaku.info/>

高分子関連
技術情報誌

Polyfile

Information of Polymer Technology

ポリファイル

Vol.51 No.602
2014

4

特集

高性能電池を支える 材料・技術

リチウムイオン電池セパレーター「ESFINO」の特性と
その耐熱化に関する検討

酵素電池の開発と用途展望

リチウムイオン電池の現状と展望

小特集

初期酸化・耐候性の評価と考察

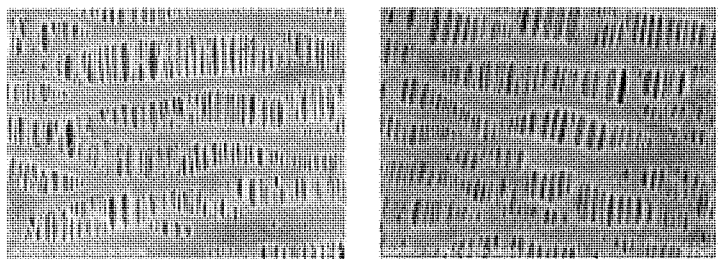
透明樹脂の劣化要因と耐候性

ケミルミネッセンス法による樹脂の初期酸化劣化評価

連続
企画

Polyfile 1月号~4月号

新しい自動車と材料技術



リチウムイオン電池用セパレーターのSEM像(左:従来品, 右:耐熱品)。従来品と耐熱品を比較すると、両者の孔構造にはほとんど違いが見られない。これは、大幅な設計変更をすることなく耐熱品を使用できることを示している。

(画像提供: 積水化学工業 高機能プラスチックカンパニー)

ポリファイル

検索

<http://www.taiseisha.co.jp/publication/index.html>