

(受理:平成11年8月18日)

## 電気・電子機器

### Electric and Electronic Appliances

原賀 康介\*

Kousuke HARAGA

#### 1. まえがき

筆者が電気・電子機器の接着技術の開発に従事しはじめてから26年になる。26年前はまだ真空管を使った機器が多く、電卓もない時代で、電気機器における接着といえばスピーカーの組立と冷熱機器における断熱材の貼り付けなどが主要なものであった。70年代のオイルショック、省エネ、軽薄短小化、80年代のハイテク化、電子化、円高による海外シフト、産業構造の変革、空洞化、90年代のバブル崩壊、グローバル化、環境問題と電気・電子産業は常に時代の波に翻弄されながら最先端の開発を行ってきた。多くの製品開発の中で接着接合の採用は増加し、現在では、接着技術は必要不可欠な要素技術の一つとなっている。

しかしながら、電気・電子機器分野で接着が接合技術のひとつとして今後定着できるかどうかはUnkownである。今後の課題について日頃考えていることを以下に記した。

#### 2. 設計環境の変化とデータベース

接着を採用するかどうかは設計部門の判断による。これまでの設計者の接着に対する不安要素は、何と言っても耐久性であり、採用するためには過酷な試験と裕度のある設計を余儀なくされてきた。これからの時代は、最適設計、限界設計、試作レスの方向にある。評価試験の大半がCAE (Computer Aided Engineering) 解析で行われ、3D-CAD (3-dimensional Computer Aided Design) とCAEが連成されて、設計者がコンピューター上で評価しながら設計していくようになる。このような設計環境においては、CAE解析に適用できるデータベースが充実しているか否かが採否の鍵となる。ところが、接着のデータベースは皆無と言っても過言ではない状態である。

必要なデータは、まず破壊に対する接着剤の実力値である。この実力値のことを筆者は「実効接着強度」<sup>1)</sup>と呼んでいる。例えば室温におけるせん断接着強度が20MPaであったとしても20MPaで設計することはできない。クリープ、疲労、熱サイクル、熱・水・薬品・光などの環境も考慮して、破壊しない応力の上限值が接着剤の実力値、即ち「実効接着強度」である。「実効接着強度」には後に述べる「ばらつき」も当然考慮されるべきである。実際には室温における静的初期強度の1/30程度にまで低下することもある。次に、機器の機能に影響する接着剤自体の物性値の変化の範囲についてのデータが必要である。例えば、初期状態の接着剤のヤング率と種々の環境下において変化した後のヤング率の値である。さらに、接着は界面での化学的な結合であるため「ばらつき」に関するデータはきわめて重要である。平均値や5個程度の試験データで設計することは論外である。「再現性」も考慮した最低値のデータが必要である。接着剤、被着材料・表面状態、作業条件、形状因子、力の方向など種々の組み合わせ条件における接着強度の統計値がなくてはならない。

制御盤や配電盤をはじめとする各種の板金構造物の接着組立が5年ほど前から急速に拡大している<sup>1-6)</sup>。接着剤は15年以上前に開発され、その当時数機種に採用されたが、その後10年間は耐久性に対する不安から設計者に受け入れてもらえなかった。特にこのような板金構造物は多品種小ロット生産で外注加工が多いもので、設計者があえてリスクの大きい接着の採用に時間をかけたがらないのも当然のことであった。ところが、接着技術を専門としている筆者らは、この分野に接着組立を導入する効果の大きさに着目しており、その後10年間に屋外暴露を含めて膨大なデータの蓄積を行いデータベースを整備し、この技術に関心を示した設計者とともに設計マニュアルも作成した。設計マニュアルでは負荷許容応力は80°C環境までの使用の場合わずか0.75MPaに設定されており、室温におけるせん断接着強度24MPaのわずか3%となっている<sup>1)</sup>。ここまできて初めて設計者が自由に選べる接合法の選択肢の中に入ることができ、その後は短時間で急速な拡大につながって行った。その

\*三菱電機(株)先端技術総合研究所  
 尼崎市塚口本町8-1-1 〒661-8661  
 Mitsubishi Electric Co., LTD.  
 Advanced Technology R&D Center  
 1-1, Tsukaguchi-Honmachi 8-Chome Amagasaki City  
 Hyogo 661-8661, Japan

後も新しい接着剤がいろいろと開発されているが、データベース、設計マニュアルが揃っていないために即採用には至っていない。

機器設計者が行う評価関係の業務は、機器を設計するための機器の機能評価であって、材料評価ではないことを忘れてはならない。接着強度や物性データはブラックボックス的に使える状態が必要である。そのための材料評価とデータベースの蓄積・整備は材料技術者の仕事である。設計マニュアルの作成は材料技術者と設計技術者の共同作業である。

なお、データは材料技術者の自己満足に陥ることなく、設計者が納得でき、さらに設計者、営業関係者が顧客に説明して納得いただけるまでに平易なものであることも重要である。

### 3. 材料開発・評価における CAE の活用

2で材料評価とデータベースの蓄積・整備は材料技術者の仕事であると述べたが、ここでは材料技術者はひたすら実験を行いデータを蓄積することとなる。今後は材料の開発・評価にも CAE 解析を活用して、実験量の削減、開発・評価期間の短縮を図っていくことが必要となる。当社においては、接着剤の物性値の最適値を CAE 解析で予測して、その物性にあった接着剤の選定や開発を行うことにより、試行錯誤的な実験の削減に効果を得ている<sup>7)</sup>。特に、CAE 解析の利点は、特定の物性値のみを変化させた架空の材料を作り出せることである。例えば、熱応力の低い接着剤を開発する場合には線膨張係数とヤング率が影響する。ここで、どちらの因子が支配的か、どの程度の物性値にすればよいのかは、CAE 解析ではコンピューター上で物性値を変えるだけで簡単にわかる。物性を変えた接着剤を調製して実験的に評価しようとしても、単独の物性値のみを変化させた材料を作ることは至難である。

接着の諸現象に対する専用のソフトというものはまだない。外力に対する接着部の応力解析でも、被着材料とは厚さもヤング率もオーダーの異なる接着層のモデル化には一工夫必要であるし<sup>8-9)</sup>、硬化収縮応力の解析では、一定温度での樹脂の収縮であるので、熱応力解析ソフトで接着剤だけにある膨張係数(収縮係数)を与えて、両被着材料の線膨張係数をゼロとして、これを冷却したとして解析すればよいが、液体から固化へと変化していく課程の扱い方が問題となる<sup>10)</sup>。接着層への水分の拡散は、熱伝導解析ソフトで代用することができるが、界面を伝わる水分の拡散の扱いが問題となる。このように、解析法自体の開発も今日的に重要な課題で当社も積極的に取り組んでいる。解析ツールの開発は解析技術者と材料技

術者の連携で行われる。近い将来このような解析法が確立すれば、設計者が設計段階で自由に使えるツールとなる。ただし、ツールができてデータベースがなければ役に立たない。データベースの充実がやはり重要である。

### 4. 製造プロセスと検査

接着の信頼性を考えるとき、製造プロセスや検査も重要な要素である。2に述べた「ばらつき」を含めた「実効接着強度」は、あらかじめ設定された作業プロセスの許容条件の範囲内で製造された場合のことで、許容範囲をはずれないように製造プロセス、設備を整備し、プロセス管理、検査方法を確立しておくことが信頼性確保の基本である。

一旦接着されたものは最終段階での検査で不良とわかってでもサルベージして再接着することは実際には困難である。そのため検査工程をどのプロセスに入れるか、何をどのようにチェックするかが重要である。特に、全自動ラインでは厄介な問題である。最も重要な検査プロセスは、部品に接着剤が塗布されて貼り合わされる直前の段階である。ここでは、部品や材料が間違っていないか、表面は適切な状態になっているか、接着剤は正しく計量・混合・塗布されているかなどを短時間にチェックして良否を判定しなければならない。このチェックは、貼り付け作業を兼ねて作業者を配置して行うのが最も確実である。全自動が必ずしも最良ではない。自動で検査を行う場合は、部品や材料のチェック、表面の検査、接着剤の計量・混合のチェック、吐出チェック、塗布パターンのチェック、貼り合わせる部品のチェック、貼り合わせ後の接着剤のはみ出し状態のチェックとそれぞれにセンサーや画像処理などを配置する必要があり費用と判定のアルゴリズム、検査装置自体の信頼性が問題である。

なお、製造プロセスや検査に関しては設備設計および工作関係の技術者が担当するが、機器設計技術者および材料技術者との連携の中で最適条件を見いだしていくことが重要である。

### 5. おわりに

電気・電子機器には接着剤が必要不可欠の状況にあるが、日本接着学会の会員に電気・電子機器メーカーの技術者が非常に少ないことは残念である。これは、現在の接着学会が接着剤のユーザー(特に機器組立メーカー)のニーズとマッチしていないためと考えられる。今後、設計技術者にも有益な情報を提供できる学会に発展していくことを望むところである。

## 参 考 文 献

- 1) 中島, 田口, 眼龍, 八木, 原賀, “接着剤とリベット併用による板金筐体の設計・施工技術”, 機械設計, 41(4) 87 (1997).
- 2) 眼龍, 原賀, 八木, 駒沢, 中島, “接着・リベット併用による配電盤・制御盤の組立技術”, 三菱電機技報, 69(12) 70 (1995).
- 3) 原賀, 眼龍, 中島, 八木, “接着・リベット併用による配電盤・制御盤の組立技術”, 日本接着学会誌, 32(1) 14 (1996).
- 4) 田口, “接着剤を用いた金属筐体の組立工法”, 自動化技術, 28(7) 51 (1996).
- 5) “接着・リベット併用組立法“MELARS”による大型フレーム筐体, 塗装鋼板性筐体”, 三菱電機技報, 72(1) 86 (1998).
- 6) 緑川, 永田, 原賀, “接着剤とリベットの併用による板金構造物の組立技術「MELARS」”, 接着の技術, 19(1) 85 (1999).
- 7) 春名, 西川, 原賀, “接着接合体の熱応力に及ぼす樹脂物性の影響”, 日本接着学会誌, 29(8) 9 (1993).
- 8) 春名, 原賀, “数値解析を用いた接着接合体の設計技術”, 三菱電機技報, 70(2) 86 (1996).
- 9) 春名, “接着接合体の有限要素解析と製品設計への適用”, 日本接着学会誌, 34(10) 29 (1998).
- 10) 春名, 原賀, “接着剤の硬化収縮による内部応力を対象とした数値解析手法”, 日本機械学会論文集 (A 編), 60(579) 2589 (1994).

(受理: 平成 11 年 8 月 25 日)

## 自動車用接着剤の耐久性評価技術

## Durability Estimation Technology of Adhesives for Automotive

田 端 義 弘\*

Yoshihiro TABATA

## 1. 緒 言

近年, 車体剛性, 制振性向上を目的として, ボデーサイド部やエンジンルーム部のパネル接合に, スポット溶接と接着を併用するウエルドボンド工法が採用されている。また, ドア, フード, トランクリッド等のヘミング部への接着剤の適用が一般的となっている。これらの部位に用いられる接着剤は 1 液のエポキシ系樹脂を主成分として構成されており, 車体組み立て時に油面鋼板上に塗付され, 電着塗装オープンで硬化する。

これらの接着剤の採用にあたっては, ライン適合性の確認とともに, 接着剤の耐久性に関する評価が重要となる。接着部の劣化には, 水, 熱等の環境要因, 走行中の振動等による疲労が考えられ, 通常, それぞれの因子を考慮した試験が実施されている。

## 2. 吸水による影響の検討

実際の車両に使用されている構造用接着剤 A を用いて引張りせん断試験片を作製し, 劣化促進試験を行った

結果, 全体の傾向として, 接着強さ保持率は温度によらず湿度により左右されていることが判る。接着剤 A では耐湿試験後貯蔵弾性率  $E'$  とガラス転位温度  $T_g$  の大きな低下が認められるが, 接着剤を完全に乾燥させると  $E'$  と  $T_g$  の変化はほぼ可逆的に回復する。また, 別の接着剤 C では長期耐湿試験で凝集破壊から界面破壊への移行が見られることから, 接着剤の劣化は接着剤中への水の拡散による接着剤の可塑性および接着剤/被着体界面の結合力低下によるものと推測される<sup>1)</sup>。

構造用接着剤の吸水劣化メカニズム解析のため, 中村らの水の拡散による強度低下理論式 (1) を適用した結果を図 1 に示す (接着剤 A :  $T_g=120^\circ\text{C}$ , 接着剤 B :  $T_g=100^\circ\text{C}$ , 接着剤 C :  $T_g=65^\circ\text{C}$ )<sup>1-4)</sup>。

$$S(t)/S_0 = 1 - PC(t)/C_s \quad (1)$$

$S(t)$ : 時間  $t$  における接着強さ  $S_0$ : 初期接着強さ  
 $C(t)$ : 時間  $t$  における接着剤中の水の濃度  $P$ : 接着強さを低下させることに対する水の寄与率  $C_s$ : 接着剤中の水の飽和濃度

$T_g$  が試験温度に近い接着剤 C は (1) 式に従わないが, 一般に自動車に用いられる接着剤は  $T_g$  が  $80\sim 120^\circ\text{C}$  であり, (1) 式の適用が可能と判断している。

## 3. 鋼板の腐食による影響の検討

接着試験片の沖繩暴露試験では, 1.5~2 年目までは吸水による劣化メカニズムによく従うが, 1.5 年目位か

\* 日産自動車 (株) テクニカルセンター  
 車両技術開発本部 材料技術部  
 神奈川県厚木市岡津古久 560-2 〒 243-0192  
 Materials Development Department,  
 Vehicle Engineering Division, Technical Center  
 Nissan Motor Co., Ltd.  
 560-2, Okatsukoku, Atsugi City, Kanagawa, 243-0192  
 Japan

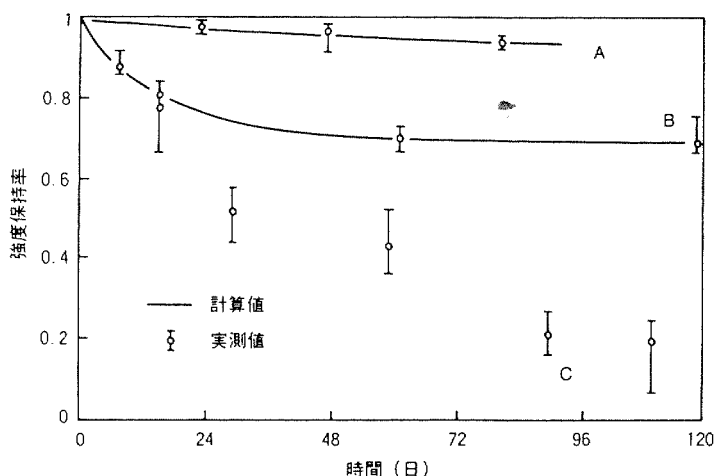


図1 接着強さ保持率の計算値と実測値  
(試験条件: 50°C 98%RH)

ら破断面のエッジ部付近に点錆のある試験片がみられるようになり、吸水劣化メカニズムによる計算値に対し、時間が長くなるにつれ接着強さのばらつき幅が大きくなる傾向が認められる。錆の発生は被着体の破壊を伴い、接着強さに大きな影響を及ぼす。

接着接合における錆は接着剤と鋼板の境界部で進行することから、錆の発生には接着剤の硬化収縮と鋼板へのぬれ性が影響すると推測される。接着剤の耐食性を評価する方法として腐食環境試験 (CCT) が行われている。この試験は塩水噴霧、乾燥、湿潤を組み合わせたもので、JASO M 609 に規格化されている (JASO: 自動車規格)<sup>5)</sup>。通常はヘミング構造や接着構造を模した試験片を用いて試験を行い、錆の発生の有無、進行状況を観察し、接着剤の耐食性の良否を判定している。

#### 4. 疲れによる影響の検討

自動車用接着剤においては環境要因の他に、走行中の振動等による疲労も接着剤を劣化させる大きな要因である。実際の車両に使用されている構造用接着剤 D を用いて作製した引張りせん断試験片とスポット溶接試験片について疲れ試験を行った結果、低荷重側において接着試験片は良好な結果が得られている。接着試験片はスポット溶接試験片に比べ、応力を分散させる継ぎ手構造であると言える<sup>6)</sup>。

#### 5. 市場回収車との相関

自動車技術会「構造接着技術特設委員会」は 1989 年より接着接合部の経年信頼性評価技術の確立のため、ワー

キンググループによる調査、実験を行っている。市場経年車を回収し、接着部の残存接着強さを調べた結果、接着強さの保持率は、経年 5 年で 70~100%、経年 7 年で 50~70% であった。また、残存接着強さを部位別に比較すると、フロア>フード>ドア>ロッカインナの順となり、水の環境の厳しい順位と一致し、車両における接着剤の劣化因子として水の影響が大きいことが確認できる。また、破壊モードについては残存接着強さの低下に伴い、メッキ層破壊→凝集破壊→界面破壊と移行する傾向が見られる<sup>7)</sup>。

次に、市場経年車の接着部、環境劣化促進試験後の試験片および疲れ試験後の試験片について、残存接着強さと破壊形態の関係を図 2 に示す<sup>8)</sup>。すべての結果はほぼ同じ直線上にあり、劣化の方法や条件によらず、残存接着強さと破壊形態は同一の相関関係にあることが判る。つまり、残存接着強さは接着剤内部の凝集力の変化にはよらず、鋼板と接着剤間の界面結合力の低下により決まるといえる。また、市場経年車の接着破壊面には疲れ試験を行った破面に特徴的であるマダラ状の破壊が見られ、疲れの負荷が裏付けられる。

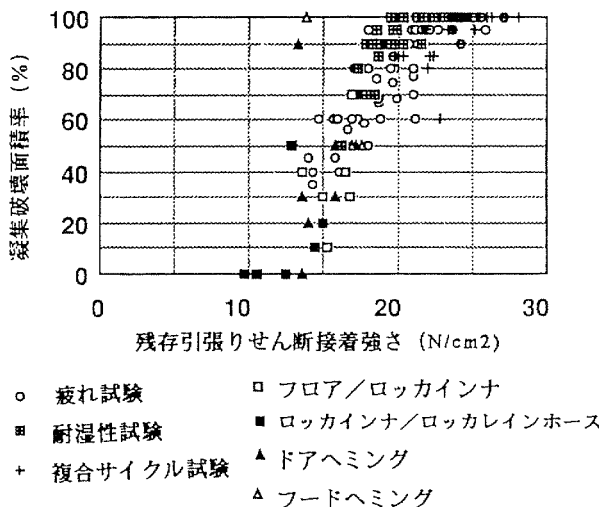


図2 試験片と実車回収品 (7年品) の比較

#### 6. まとめ

自動車用接着剤の耐久性評価を行なうには、温度、水、腐食要因等の静的な環境因子だけではなく、応力負