

## 第3回 併用接合による接合信頼性の向上

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

本シリーズ「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」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」について述べた。今回は、併用接合による接合信頼性の向上について述べる。

併用接合は、自動車の車体組立においては、接着剤とスポット溶接を併用するウェルドボンディングが、ヘミング部を始めとして鋼板同士の接合に従来から多用されている。セルフピアシングリベットと接着剤の併用による車体組立も、Jaguarのアルミ車体やBMWのアルミ/鋼車体などで採用されている。HONDAの鋼/アルミハイブリッド・ドアではヘミング部に接着剤と3Dロックシームと呼ばれる巻きかしめが併用されている。

今後、車体の材料多様化が進めば、異種の複合材料同士や複合材料と金属の接合など、さまざまな組合せが考えられ、それぞれに新たな締結法が用いられるであろう。接合には、強度的特性だけでなく、作業性や設備、コスト、電食、意匠性なども考慮しなければならない。

ここでは、接着剤とスポット溶接、接着剤とリベットの併用を例に、併用接合による接合信頼性の向上について述べるが、素材の種類や構造に合わせた種々の接合の併用においても、考え方は同様である。

### 1. 併用接合の目的

#### (1) 接着剤の課題解決

接着剤による接合は、異種材料の接合ができる、面接合で応力分散ができるなど種々の特徴を有しているが、硬化までの時間が長い、高温で強度が低下する、クリープに弱い、せん断力には強いが剥離力に弱いなど多くの課題がある。接着部に他の接合法（接着剤と併用する接合法をここでは「他の接合法」と記す）を併用することにより、接着

剤の課題を解決することができる。

#### (2) 他の接合法の課題解決

スポット溶接やリベットなどの点接合のみで接合する場合は、薄板での締結強度が低い、応力集中しやすいため疲労特性に劣るなどの課題がある。点接合と接着剤を併用することにより、上記の課題を解決することができる。

#### (3) 両者の相乗効果の活用

併用接合は、それぞれの接合法の課題を相互に補うだけでなく、組合せの条件を最適化することにより、それぞれ単独での特性以上の性能を得ることができる。

## 2. 接合法の種類

図1<sup>1)</sup>には、変形流動を用いる主な接合・複合法を示した。これらの方法以外にも、さまざまな機械的接合、冶金的接合、化学的接合などがあり、接合される材料の種類や特性、組合せ、構造によって多くの選択肢がある。

接着剤との組合せで使用される接合法としては、スポット溶接、リベット、ねじ・ボルト、セルフピアシングリベット<sup>2)</sup>（図1の特殊リベット接合）、メカニカルクリンチング<sup>2)</sup>（図1の張出しかしめ）、ヘミングや曲げかしめ、プラスチックではスナップフィットなどが代表的である。

## 3. 併用接合による接合特性の改善

#### (1) 破壊に対する冗長性の拡大

図2<sup>3)</sup>は、幅25mm、厚さ1.6mmの軟鋼板同士を、重ね合せ長さ20mmで二液室温硬化型アクリル系接着剤で接着して中央部に1点のスポット溶接を併用したウェルドボンディング継手と、接着継手、スポット溶接継手の荷重-歪み線図の比較である。60℃雰囲気下で引張り剪断試験を行っている。接着、スポット溶接では1回の破壊で破断し

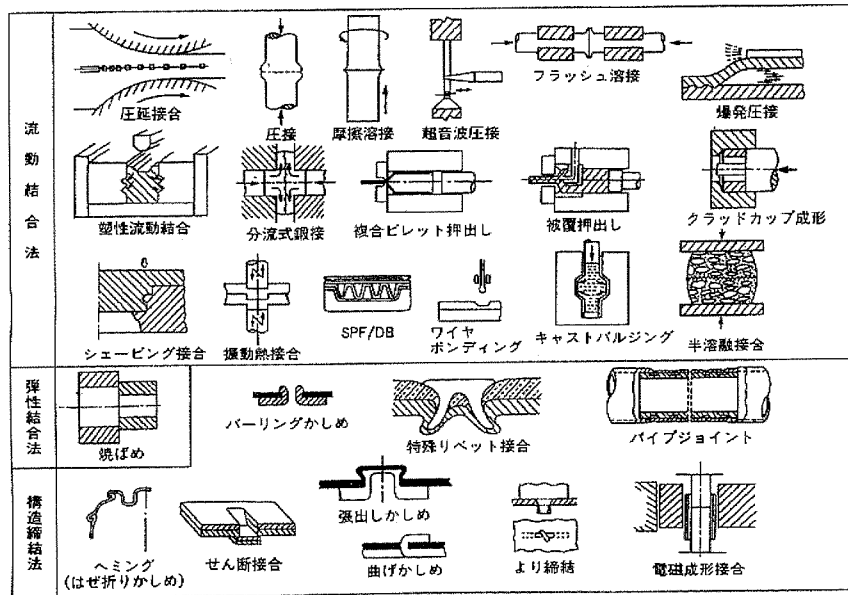


図1 変形流動を用いる主な接合・複合<sup>1)</sup>

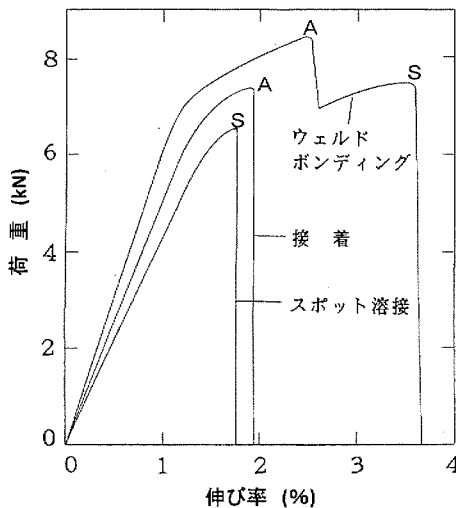


図2 接着，スポット溶接，ウェルドボンディングの荷重-伸び曲線 (60°C)<sup>3)</sup>

てしまうが、ウェルドボンディングでは、まずラップ端部の接着部が破壊するが、その後スポット溶接部と周囲の接着部が荷重分担をするため、もう一度荷重に耐えているのが分かる。一度の破壊によって破断してしまわないということは、破壊に対する冗長性が大きく拡大することとなり、接合部としての信頼性は大きく高まる。破壊に要するエネルギーは線図の面積となるので、ウェルドボンディングでは接着やスポット溶接に比べて破壊エネルギーが約3倍増加していることが分かる。

(2) 高温における接着強度の改善

図3<sup>3)</sup>は、接着継手とウェルドボンディング継手のせん断強度の温度依存性を比較したものである。被着材は幅25mm、厚さ1.6mmの軟鋼板同士、重ね合せ長さ25mm、接着剤は二液室温硬化型アクリル系、スポット溶接はラップ部の中央に1点とした。ウェルドボンディングでは、高温での接着部の破壊強度(第1破断点強度：図2のA点)が高くなっていることが分かる。例えば120°Cでの接着部

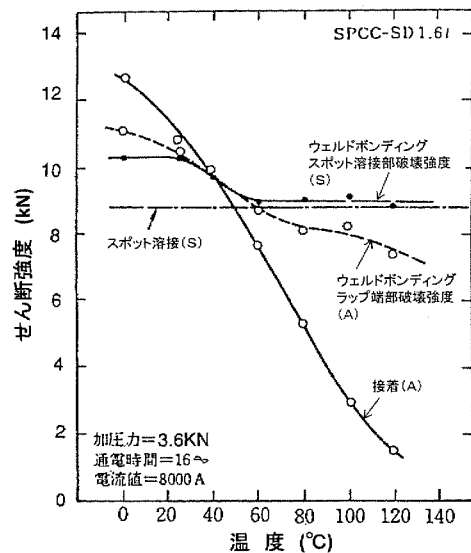


図3 アクリル系接着剤/軟鋼板のウェルドボンディングの剪断試験におけるラップ端部の破壊強度(A)とスポット溶接部の破壊強度(S)の温度依存性<sup>3)</sup>

端部の破壊強度は、接着では1.5kNであるが、ウェルドボンディングでは7kNと約4.5倍に向上している。これは、温度が高くなって接着剤が柔らかくなると、スポット溶接部での荷重分担率が高くなるためである。

自動車用接着剤では、特に低温における耐衝撃性が要求されるため、接着剤は柔軟でガラス転移温度が低い物が有利である。一方、高温での強度も必要なため、ガラス転移温度が高く高温でもある程度の硬さが必要となる。これらの相反する要求を接着剤だけで満足するには課題も多いが、高温でも強度が低下しない接合法を併用することにより、両者の要求を満足させることができる。

### (3) 薄板での点接合の強度の改善

図4<sup>3)</sup>は、接着、スポット溶接、ウェルドボンディングのT形はく離強度の板厚依存性を比較したものである。被着材は軟鋼板同士で、幅は25mm、接着剤は二液室温硬化型アクリル系、スポット溶接は折り曲げ部から5mmのところに行った。この結果より、板厚が厚ければ、接着よりスポット溶接の方が高強度であるが、板厚1mm以下では、スポット溶接は接着より低強度となっている。ウェルドボンディングでは、板厚にかかわらず、いずれか高い方の強度を示している。

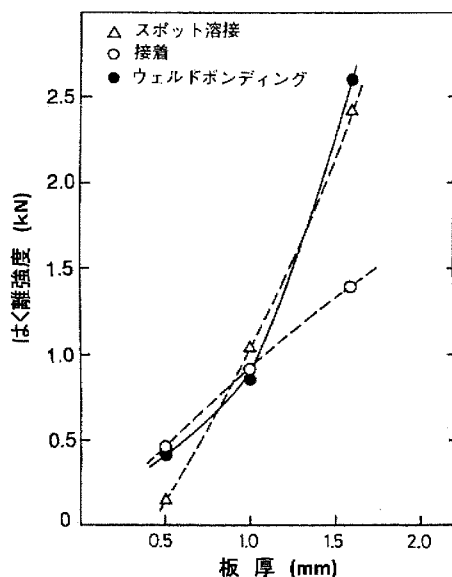


図4 ウェルドボンディング、接着、スポット溶接における板厚とT形はく離強度の関係<sup>3)</sup>

軽量化に伴って板厚が低減すると、スポット溶接やリベットなどの点接合では引張り強度が大きく低下することとなるが、接着剤の併用により強度低下を改善することができる。

### (4) 接着のクリープ特性の改善

図5<sup>4)</sup>は、接着、リベットボンディング（接着とリベットの併用）、ウェルドボンディングのクリープ変形率の時間経過の比較である。被着材は幅25mm、厚さ1.6mmの軟鋼板同士、重ね合せ長さ20mm、接着剤は二液室温硬化型アクリル系で、60℃雰囲気中で3kNのせん断荷重を負荷している。この結果から、接着剤とリベットやスポット溶接を併用することにより、初期変形量の減少と、クリープ変形が小さくなり、ウェルドボンディングではクリープはほとんど生じないことがわかる。図6<sup>4)</sup>は、60℃90%

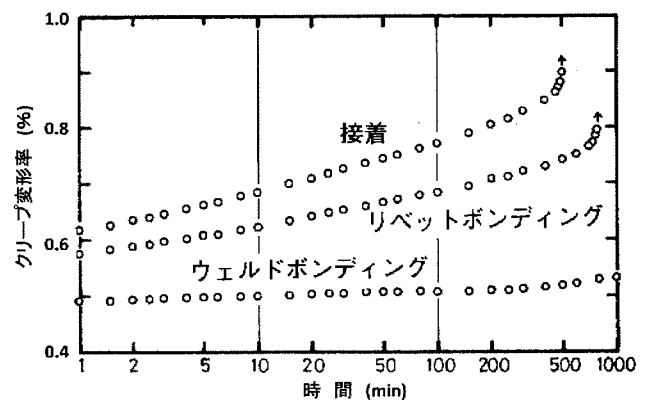


図5 接着、リベットボンディング（接着とリベットの併用）、ウェルドボンディングのクリープ変形率の時間経過の比較（60℃、3kN 負荷）<sup>4)</sup>

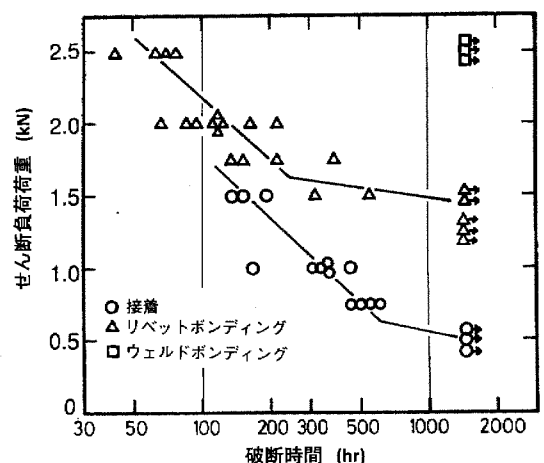


図6 60℃90%RH 雰囲気中でのクリープ破断特性の比較<sup>4)</sup>

RH 雰囲気中でのクリープ破断特性の比較である。リベットやスポット溶接を併用することによって、接着のクリープ破断特性が大きく改善されることが分かる。ここでもウェルドボンディングではクリープ破断は見られていない。図7<sup>4)</sup>は、60℃ 90% RH 雰囲気中でのクリープ負荷荷重と、60日間暴露後にラップ端部に発生した赤錆の発生距離の比較である。リベットやスポット溶接を併用することによって、リベットやスポット溶接が荷重を分担して接着端部の応力が低減するため、接着部の耐湿性が向上することが分かる。

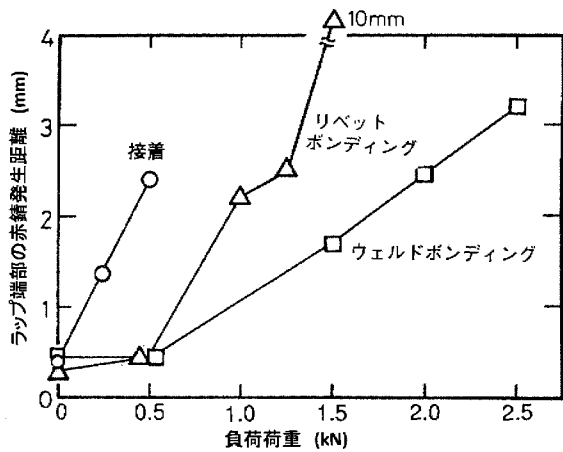


図7 60℃ 90% RH 雰囲気中でのクリープ負荷荷重と、60日間暴露後にラップ端部に発生した赤錆の発生距離の比較 (ラップ長 20mm)<sup>4)</sup>

(5) 疲労特性の改善

図8<sup>5)</sup>、図9<sup>3)</sup>は、接着、スポット溶接、ウェルドボンディングの疲労特性の比較である。図8は、柔軟なウレタン系接着剤であるため、接着の疲労特性はスポット溶接より劣っているが、ウェルドボンディングではいずれよりも高い疲労特性を示している。図9は、二液室温硬化型アクリル系接着剤で、接着の疲労特性はスポット溶接より優れているが、ウェルドボンディングではいずれよりも高い疲労特性を示している。このように、併用によって、点接合や柔らかい接着剤での疲労特性の不足を改善することができる。図10は、ガラス転移温度が高い一液加熱硬化型エポキシ系接着剤を用いた場合であるが、接着剤が硬い場合には、一般に、併用接合でも接着のみでの疲労特性以上にはならないことが多い。

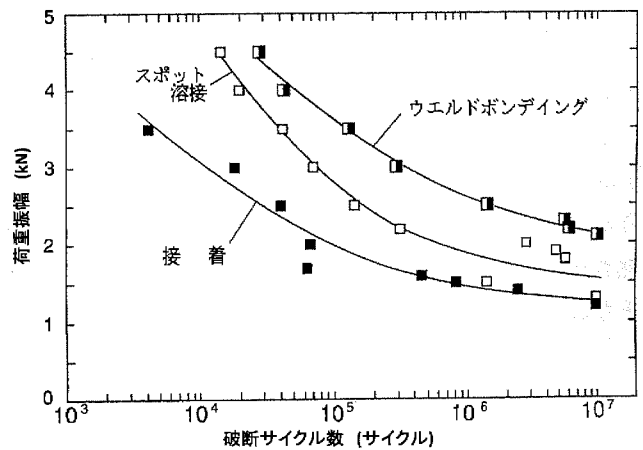


図8 疲労特性の比較 (ウレタン系接着剤)<sup>5)</sup>

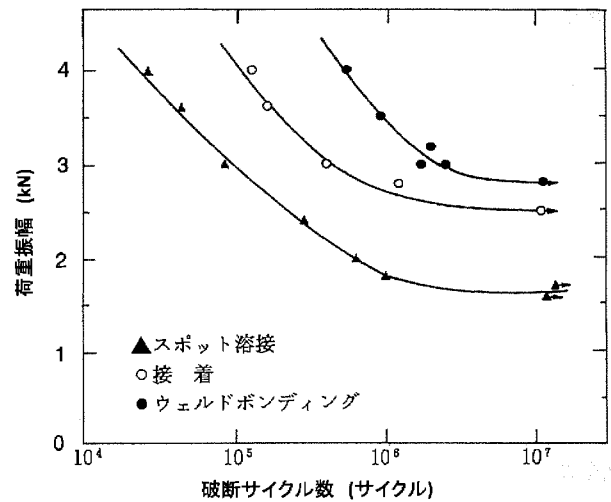


図9 疲労特性の比較 (アクリル系接着剤)<sup>3)</sup>

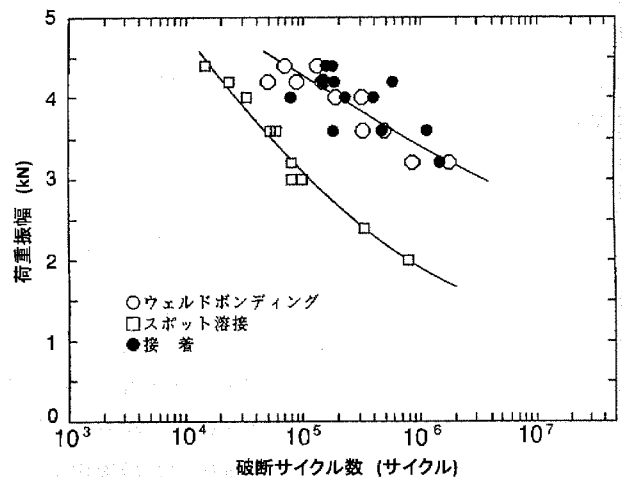


図10 疲労特性の比較 (一液加熱硬化型エポキシ系接着剤)

#### 4. 接着剤とスポット溶接の条件

ウェルドボンディングを行う場合には、電極の加圧力で電極直下の接着剤が押し出されてメタルタッチすることによって通電が可能となる。電極加圧力だけで接着剤が流動しないフィルム状接着剤では通電ができない。このような場合には、図11<sup>6)</sup>のように、分流板を用いて通電発熱させて接着フィルムを溶融させることによって通電可能となる。

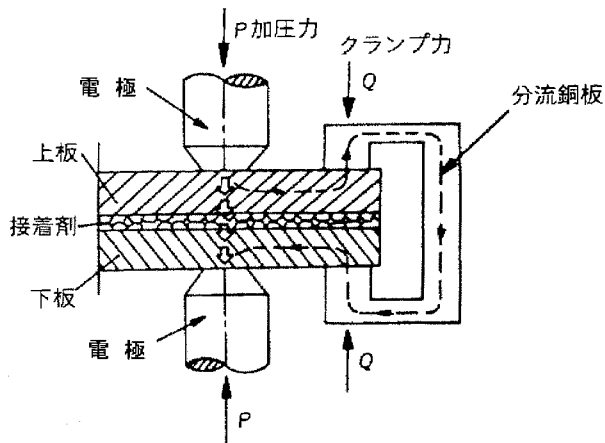


図11 フィルム状接着剤の分流板による加熱溶融ウェルドボンディング<sup>6)</sup>

二つの電極を片側だけに並べるシリーズスポット溶接という方法があるが、金属とプラスチックのように片方が電気を通さない材料では、通電によって金属板を加熱して接着剤を短時間に部分硬化させることもできる。

スポット溶接時にチリ（火花）が生じると、チリによって接着剤が飛散して接着欠陥が生じる。接着欠陥部が生じると、接着強度の低下や接着部への水分の浸入による劣化が生じやすくなる。電流値を下げてチリを発生させない電流値に設定する必要がある。同じ電流値でも電流密度が高くなると発熱量が増加するため、チリが発生しやすくなる。ウェルドボンディングにおいては接着剤中の充填剤の種類や量によって電流密度が変化する。図12<sup>3)</sup>に示すように、充填剤を含まない接着剤や熱で溶融しない充填剤を含む接着剤では、通電路が狭くなるため電流密度は高くなる。アルミ粉などの金属充填剤を含む接着剤では、熱で溶融した充填剤が広がって電流密度は低くなる。充填剤の種類や量に合わせて電流値や電極加圧力を最適化する必要がある。

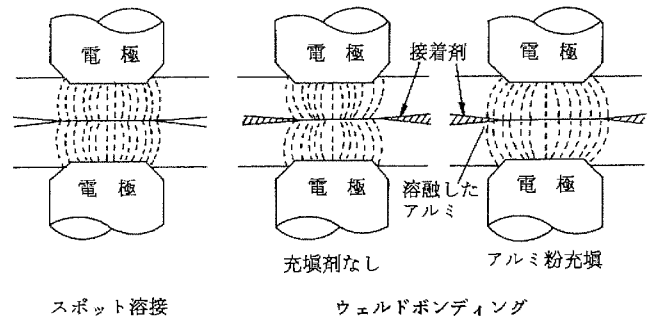


図12 金属粉末の有無による通電面積の比較<sup>3)</sup>

なお、スポット溶接を接着剤硬化までの仮固定として使用するには、ナゲット径は必要最小限に留めれば良い。ナゲット径減少により、インデンテーション（くぼみ）やシートセパレーション（板の浮き上がり）も低減できる。

#### 5. 併用接合の事例

自動車の車体組立にはこれまで加熱硬化型接着剤が多用されてきたが、今後、異種材料の組合せが増加すると、線膨張係数の違いによる熱変形が大きな課題となる。以下に、自動車以外での室温硬化型接着剤による併用接合の事例を示す。

図13は、高速列車の床下に吊されている列車空調装置の主枠で、軽量化のために薄いステンレス鋼板で作られている。強度、剛性、耐疲労性、シール性などが要求される。大きさは長さ3m、幅2m、高さ1m弱程度で、ウェルドボンディングで組立てられている。接着剤には二液室温硬化型アクリル系接着剤が用いられている。スポット溶接終了までの可使用時間が長く、可使用時間経過後から初期硬化までの時間が短いもので、油面接着性など優れた作業性を有している。室温硬化のため加熱工程は不要である。

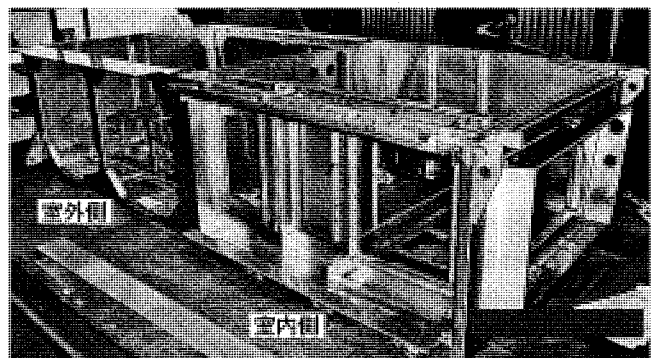


図13 車輦空調装置の主枠

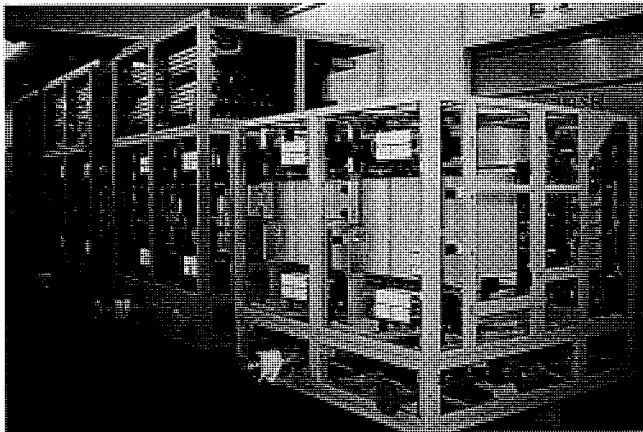


図 14 接着・リベット併用組立によるフレーム構造筐体<sup>7)</sup>

図 14<sup>7)</sup>は、高さ 2.7m、幅 2m、奥行き 2m、製品重量約 5 トンの大容量インバーター盤である。フレームの組立は、溶接を全く使わず、二液室温硬化型アクリル系接着剤と片側作業のリベットの併用で行われている。形材から薄板金に変更して、接着剤の面接合の活用により高剛性化したことで、フレーム重量は従来品の約半分に低減されている。また、溶接や歪み修正などの熟練技能からの脱皮、工程短縮も図られている。

#### あとがき

自動車の軽量化においては、今後さまざまな材料が多様な組合せで使用されるであろう。接合法もこれまでになく多様化するであろう。異種材料の接合法の一つとして接着接合は有力であるが、多くの課題もある。その他の接合法

法にも長所と短所が必ずある。接着剤と種々の接合法の併用接合法は、それぞれの課題を補い、さらに相乗効果を発揮できるものと期待される。今後の取り組みに期待したい。

#### ・参考文献

- 1) 町田輝史：“塑性加工技術による接合・複合—接合・複合技術の現状と将来—”，軽金属溶接，Vol.33, No.4, P.9 (1995).
- 2) 原賀康介ほか：“自動車車体軽量化のためのアルミ／アルミ，アルミ／鋼の各種接合法の強度特性”，日本接着学会誌，Vol.34, No.11, P.432 (1998).
- 3) 原賀康介ほか：“最近の接着技術の動向と将来への展望 3. 接着と溶接の併用法—ウェルドボンディング—の現状と将来”，溶接学会誌，Vol.56, No.3, P.148 (1987).
- 4) 原賀康介ほか：“接着とスポット溶接及びリベット締結との併用継手における応力下接着耐久性”，日本接着協会誌，Vol.21, No.1, P.4 (1985).
- 5) 原賀康介：“電機・電子機器における接着品質設計と安全率の定量化”，日本接着学会誌，Vol.39, No.12, P.448 (2003).
- 6) 原賀康介：“ウェルドボンディングの接合特性”，日本接着協会誌，Vol.22, No.3, P.164 (1986).
- 7) 原賀康介：“電気機器における構造接着技術”，溶接学会誌，Vol.70, No.2, P.253 (2001).

#### ・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

改訂  
新版

ひずみゲージによる

# ひずみ測定入門

—歴史から測定まで—

B5判 175頁 本体 3,200円＋税

高橋 賞・河井 正安 著

#### 〈主要目次〉

第1章 ひずみ測定の方法	第8章 ひずみゲージの取付法
第2章 ひずみゲージの種類・構造	第9章 全接合（トランスデューサー）
第3章 フリクション法	第10章 ひずみ測定器
第4章 歪増幅機法	第11章 グレーズ糊による取付法
第5章 ひずみゲージの応用	第12章 ロボットゲージによる取付法
第6章 接着剤、グーと電子ロードセル	第13章 現場における測定技術
第7章 ひずみゲージの検定法	第14章 特殊用途におけるひずみ測定

ひずみゲージは機械的な微小変化量である「ひずみ」を電気信号として検出するもので、いまや機械、電気の分野のみならず、自動車、造船、航空、建築、化学、医学、土木、繊維、食品など非常に多方面にわたって使用されている。

本書は、はじめてひずみゲージ及びひずみ測定器を使用される方々を対象に、理論、原理から具体的な使用法まで簡易に解説した入門書。社内研修用テキストとしても最適。

■ 大成社発行 TEL:03-5542-3372 FAX:03-5542-2077

高分子関連  
技術情報誌

# Polyfile

Information of Polymer Technology

ポリファイル

Vol.51 No.601  
2014

3

特集

## 界面のコントロールと 表面の機能化

界面制御による高分子材料の機能化

プリントドエレクトロニクスのための濡れ性評価・液滴形状制御技術

透布薄膜におけるぬれ制御・乾燥制御と信頼性向上

医療用接着剤開発の現状と展望

小特集

## UV・EB硬化材料・技術

特異な分解反応を利用するUV硬化物の解析と硬化メカニズムの考察  
環境・安全に配慮した水系硬化材料の開発

連続  
企画

Polyfile 1月号~4月号

## 新しい自動車と材料技術

パターンI      パターンII

プリントドエレクトロニクスを想定した電極構造の設計のパターン(上段)、液滴形状シミュレーションを活用した解析(中段)、くし形親撥パターンに塗布された超純水液滴の形状(下段)。材料の濡れ性評価、液滴形状制御は、微細・高精度パターン作成には欠かせない技術の一つである。  
(画像提供 産業技術総合研究所)