

## 〈綜 説〉

(受理：平成元年7月13日)

# 電気機器における構造接着技術の開発と実用化<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## Development and Applications of Structural Adhesive Bonding for Electric and Electronic Equipments.

原 賀 康 介<sup>\*</sup>, 服 部 勝 利<sup>\*\*</sup>, 山 田 祥<sup>\*</sup>,  
Kosuke HARAGA, Katsutoshi HATTORI, Akira YAMADA,  
伊 藤 憲 治<sup>\*\*\*</sup>, 高 木 正 己<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kenji ITO and Masami TAKAGI

### 1. はじめに

接着接合は他の接合方法にはない数々の特徴を有している。電気機器においても接着接合の持つ種々の機能を有効に活用することにより優れた製品を生み出すことができる。一方、電気機器においては組み立て作業性が重要視される。このため、従来から構造用接着剤として種々の分野で使用されているエポキシ系接着剤は作業性の点で難点が多く、電気機器設計上接着接合を適用したくても採用できないことが多かった。そこで、接合特性、接着作業性ともに優れた構造用接着剤の開発が期待されていた。

このような背景の中で、我々はSGA(変性アクリレート系接着剤)の優れた作業性(油面接着、室温速硬化、非混合など)に着目し、昭和50年頃から、構造用接着剤として当時のSGAに不足していた剝離強度、衝撃強度、耐環境性の改良に着手した。その結果、作業性、強度、耐久性ともに優れた構造用SGAを開発した<sup>1,2)</sup>。一方、接着接合の持つ機能を有効に活用し、しかも信頼性の高い製品を生み出すためには、用いる接着剤の特性(強度、耐久性、作業性など)を十分に評価し、接着剤の特性に応じた製品設計を行うことが重要である。そこで、開発した構造用SGAを使いこなすために必要な接着設計技

術の開発も併せて行った<sup>3-8)</sup>。構造用SGAおよび最適接着設計技術を適用し、昭和53年からエレベータの意匠構造品や各種筐体類の組み立てに構造接着が採用された<sup>2,9,10-13)</sup>。既に10年以上が経過したが現在まで不良ゼロの実績を得ている。

以下に、開発した構造用SGAの特性、エレベータや各種筐体類の構造接着適用事例、接着設計の技術について述べる。

### 2. 構造用SGAの開発

SGAには2液主剤タイプと主剤・プライマータイプとがあるが、構造用SGAは次の点から2液主剤タイプとした。①接着強度のばらつきが小さい、②接着剤層が厚くても十分に硬化できる、③2液の配合比の変動に対して接着強度の変化が小さい、④接着部からはみ出した接着剤も十分硬化する、⑤溶剤を含まない、⑥塗布装置が簡単に自動化しやすい。構造用SGAの開発目標を次のように設定し、エラストマー成分としてNBRを用いた系で改良を進めた。①剝離強度:20kg/25mm以上、②衝撃強度:30kg・cm/cm<sup>2</sup>以上、③耐湿性:60℃90%RH

### 原 賀 康 介



昭和48年京都大学工学部工業化学科を卒業。同年、三菱電機㈱に入社。生産技術研究所を経て現在材料研究所主事。入社以来、一貫して接着接合技術の開発に従事し、現在に至る。  
趣味：釣れない釣り、魚の飼育

\* 三菱電機㈱材料研究所  
尼崎市塚口本町8-1-1 〒661  
\*\* 同 稲沢製作所 稲沢市菱町1 〒492  
\*\*\* 同 ビル施設工事部  
東京都中央区日本橋小伝馬町11-9 〒103  
\*\*\*\* 三菱電機エンジニアリング 稲沢市菱町1 〒492  
\*\*\*\*\* 平成元年度日本接着協会技術賞受賞

雰囲気60日間暴露後の強度保持率が70%以上, ④耐熱性: 150℃ 雰囲気60日間暴露後の強度保持率が70%以上, ⑤対象被着材: 鋼板, ステンレス板, アルミ板, 亜鉛めっき鋼板, 化粧鋼板, ⑥凝集破壊すること。

開発した構造用SGAの特性を表1~3, 図1~2に示した<sup>9)</sup>。なお, 開発した構造用SGAには接着剤層厚さのコントロールのためにφ0.1mmの樹脂ビーズが添加してある。また, 硬化時間は, 大型構造物組み立てに必要な適切な可使時間がとれるように, 標準的なSGAより遅く設定してある。

表1 SGAとエポキシ系接着剤の接着強度の比較

接着剤		剝離強度 kg/25mm	衝撃強度 kg・cm/cm <sup>2</sup>	剪断強度 kg/cm <sup>2</sup>
S	構造用 (二液主剤型)	30	32	217
	汎用 (二液主剤型)	17	17	202
A	汎用 (主剤・プライマー型)	12	18	203
	構造用 (一液型)	27	39	223
エポキシ	汎用 (二液型)	6	17	96

被着材: 鋼-鋼

表2 各種金属に対する構造用SGAの接着強度

被着材料	はく離強度 kg/25mm	せん断強度 kg/cm <sup>2</sup>
鋼板	30	217
アルミ板	22	233
ステンレス板	27	246
亜鉛めっき鋼板	22	209
アロイ鋼板	38	232
塩ビ鋼板(裏)	25	169

表3 各種金属における構造用SGAの耐湿性

(せん断接着強度保持率%)

被着材	60℃ 90%RH暴露日数		
	10日	30日	60日
鋼	84	78	75
アルミ	102	104	104
亜鉛めっき鋼板	104	100	110

### 3. 構造接着の適用事例

#### 3.1. エレベータの意匠構成品の接着組み立て

エレベータの人が乗る部分をカゴ室と呼ぶ。このカゴ室は壁面および扉パネルで構成されており, 構造体として十分な強度と剛性, 耐振性, 防音性, 軽量性ととも, 歪みやスポット溶接痕などがない高度な平坦度が要求される。このため, パネルの裏面に補強材が接合される構造となっている。

従来, これらのパネル類は, 強度, 耐久性の点から接着剤のみでの組み立ては困難であり, 鋼板に補強材をス

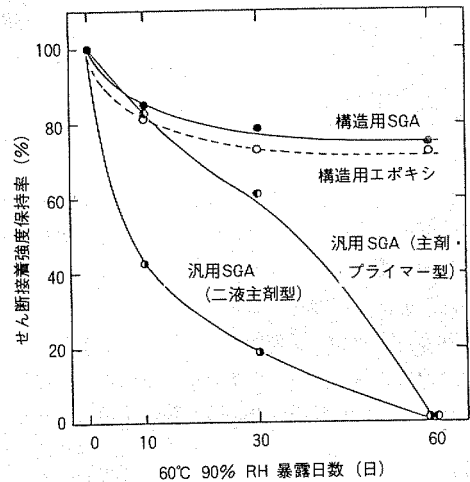


図1 構造用SGAの耐湿性(被着材: 鋼-鋼)

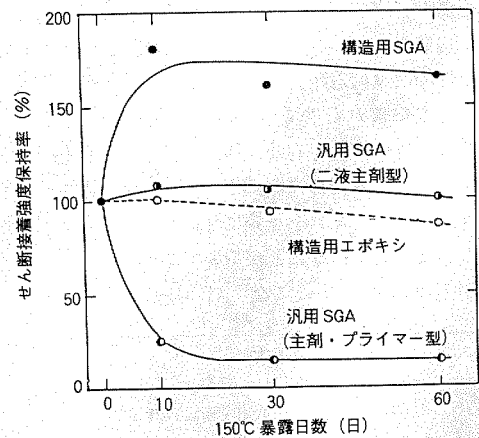


図2 構造用SGAの耐熱性(被着材: 鋼-鋼)

タッドネジと熱硬化型マスチックシーラーとにより接合し、表面の歪みを除去した後、塗装やメラミン化粧板貼りを行って仕上げられていた。ところが、構造用SGAの適用により接着剤のみでの組み立てが可能になり、熱を加えたり歪み修正作業などができない塩ビ化粧鋼板も意匠材として適用できるようになった。構造用SGAにより組み立てられるパネルの構造と製造工程を図3<sup>9)</sup>に示した。補強材は、軽量で剛性が高く、しかも接着特性を最も有効に発揮できるように、金属薄板をコルゲート状に折り曲げたものが使用されている。材質は耐食性の点から亜鉛めっき鋼板が用いられている。接着剤は補強材と化粧鋼板に2液をそれぞれ別々に塗布して貼り合わせている。

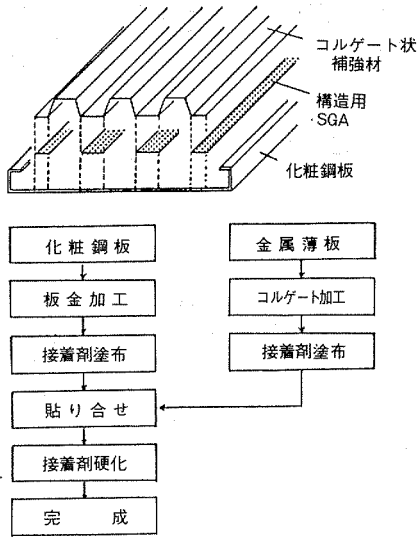


図3 エレベーターパネルの構造と製造工程

エレベータの乗り場には図4<sup>10)</sup>に示すような三方枠と呼ばれるものがある。三方枠にはカゴ室のパネル以上の厳しい平面度が要求される。このため、三方枠の裏面には多くの補強材が接合してある。意匠面にステンレスを用いたものでは、接合過程で歪みが生じた場合、意匠面を傷付けることなく歪みを除去することは困難である。このため、ステンレス板に補強材を直接溶接することはできず、従来は図5<sup>11)</sup>に示すように、鋼板に補強材を溶接し、溶接歪みを除去した後、鋼板上にさらにステンレス板をクロロブレン系接着剤により全面接着する構造がとられていた。構造用SGAの採用により補強材をステンレス板に直接接着する構造がとられるようになった。接着剤による接合歪みは非常に少なく通常問題とはならないが、ステンレス板が薄い場合、接着剤の硬化収縮

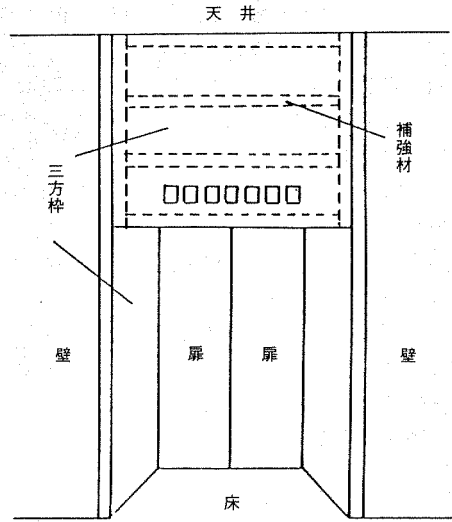


図4 エレベーター乗り場

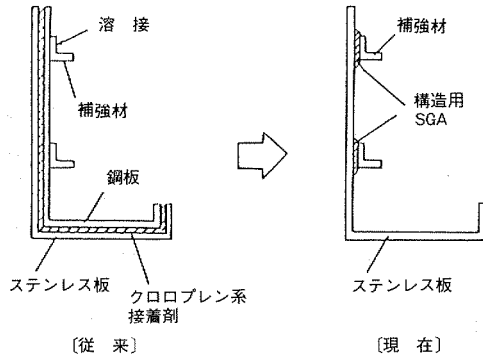


図5 ステンレス製三方枠の構造

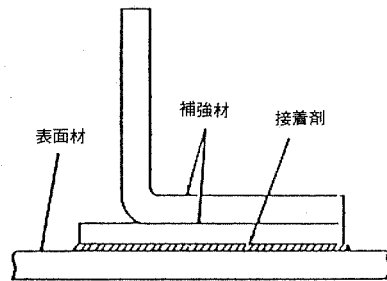


図6 接着歪みを少なくする製品構造

の際に発生する内部応力により意匠面にわずかな歪みが生じることがある。この歪みは意匠面の仕上げが高度なほど目立ち易い。このような場合には、図6<sup>10)</sup>に示すよ

うにアングル材の下に平板を備えた補強材を用いて歪みをおさえるなどの工夫がなされている。

この他、構造用SGAによる補強材の接合はエスカレータにおいてもなされており、ステンレス製アウトワードキなどに使用されている。

エレベーターやエスカレータの意匠構造物の組み立てに構造用SGAが採用されたことにより、意匠の多様化への柔軟な対応、接合歪みの減少による構造の簡素化、薄板化による軽量化、製造工程の合理化、省エネなど多くの効果が得られている。なお、これらのパネル類はこの11年間に約60万枚が製造されたが、いずれも接着不良は全く発生していない。

### 3.2. 筐体類の接着組み立て

筐体類は通常溶接やボルトにより組み立てられるが、これらの方法では高剛性と軽量性の両立には限界がある。そこで、筐体類の組み立てにも構造用SGAが使用されるようになり、次のような効果が得られている。①剛性が増加する、②軽量化ができる、③接合部の応力集中が少なく振動、疲労に強くなる、④接合と同時にシールができシール作業が不要になる、⑤接合時に歪みが生じないため、歪み修正作業が不要で、寸法精度も向上し、外観も優れる。

図7<sup>11)</sup>は、構造用SGAにより組み立てられる接着防水筐体の組み立て図の一例である。板厚、重量は従来の溶接組み立て品の約1/2になっている。この筐体の機器装着状態での振動試験、共振試験、防水試験、各種強度試験、屋外暴露試験などによる機能評価の結果は、従来品と同等の性能であった。

なお、筐体のように立体的なものの接着組み立てにおいては、接着剤が硬化するまでの固定方法が問題となるが、リベットを固定治具のかわりに使用することによってこの問題は解消されている。

構造用SGAによる接着筐体は、この8年間に屋外使用品を中心として種々の形状のもの約500台が製造されたが、いずれもノートラブルの実績が得られている。

## 4. 接着設計技術

これまで述べてきたように接着剤を開発し各種の製品に適用したが、いかに特性の優れた接着剤といえども万能ではないので接着剤に期待しすぎて接着設計を怠ると思わぬ失敗を招く結果となる。そこで、用いる接着剤の特性(強度、耐久性、作業性など)を十分に評価し、接着剤の特性に応じた製品設計を行うことが、接着接合の持つ機能を有効に活用し、しかも信頼性の高い製品を生み出すために重要である。以下に、開発した構造用SGAを使いこなすために、特に耐久性に対する信頼性を向上

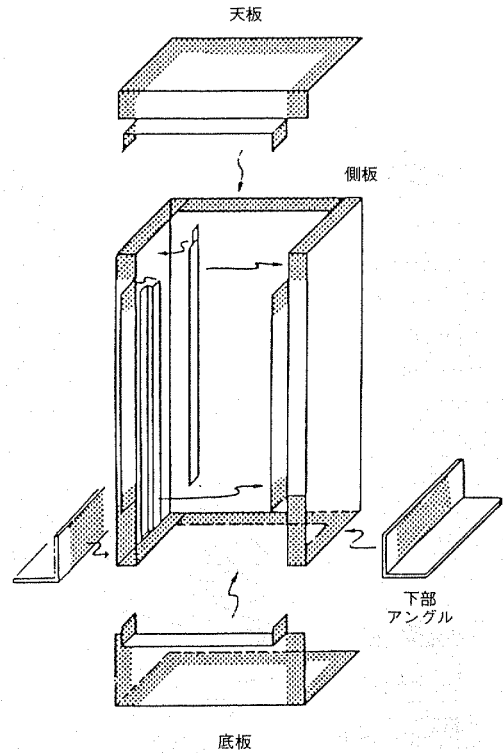


図7 接着防水筐体の組み立て図

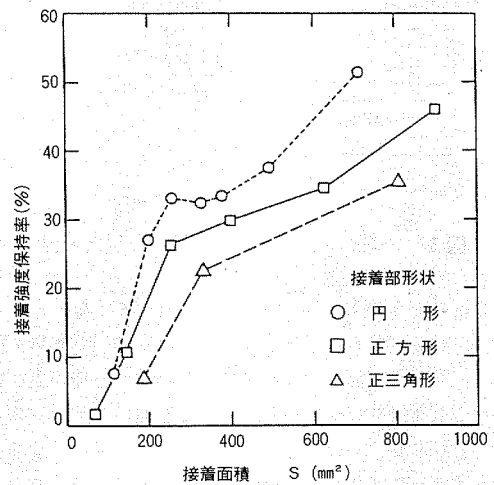


図8 接着部の形状、面積と接着強度保持率の関係

させるために、これまでに行ってきた接着設計の技術について述べる。

### 4.1. 接着部の適正な形状・寸法の簡易決定法

接着部の形状・寸法は、耐久性特に耐湿性や耐水性に大きく影響する。図8<sup>11)</sup>に一例を示す。これは、接着部

が円形、正方形、正三角形の突き合わせ試験片を80℃ 90% RH 雰囲気中に一定期間暴露した後の接着面積Sと強度保持率の関係である。耐湿性は、同一形状であれば接着面積が大きいほど、また同一面積であれば外周の長さLが短い形状ほど優れている。このように、耐湿性は接着部の形状、寸法により変化するため、設計者が容易に接着部形状の適否を判定できる指標が必要である。そこで、接着部の形状・寸法の適正さを表わすパラメータとして  $\epsilon = S/L$  を適用している。横軸を  $\epsilon$  で整理しなおすと図8は図9<sup>1)</sup>のようにほぼ一本の線に重なる。

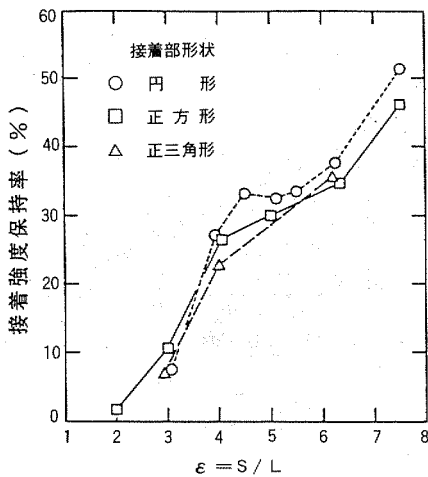


図9  $\epsilon$  と接着強度保持率の関係  
 $\epsilon = (\text{接着面積 } S / \text{接着部外周の長さ } L)$

$\epsilon$  が大きいほど耐湿性に優れている。JISの引張りせん断試験片の  $\epsilon$  は4.17であるので実際の接合部の耐湿性が標準試験片で測定したデータに対してどの程度変化するかも知ることができる。

4.2. 接着部への水分の侵入による強度変化の推定

接着部の形状、寸法がほぼ決定したら次にその形状、寸法における耐湿劣化を予測することが必要である。接着剤の飽和吸水率と接着部への水分の拡散係数および接着部の寸法がわかればある時間における接着部内での吸水率の分布はFICKの拡散の式から計算で求められる。一方、実験により接着層の吸水率と接着強度の関係を求めておくと、図10<sup>2)</sup>に示すようにある時間における接着部内での強度の分布を知ることができる。種々の接着部寸法について簡単に計算できるので最適接着部寸法を決定することができる。

4.3. 水分の乾燥による接着強度の回復を考慮した屋外暴露における劣化の予測

図11<sup>3)</sup>に示すように、接着部に水分が侵入すると接着強度は低下する。しかし、乾燥して水分を追い出すと接着強度はある程度回復する。強度の回復は水分の侵入により被着材と接着剤の界面での結合破壊が起っていないことを意味している。回復の程度は接着剤、被着材により異なる。このため、接着剤、被着材の選定にあたっては乾燥による強度回復の評価は有効である。

屋外環境においては湿潤状態と乾燥状態が繰り返されるため、湿潤状態における強度低下率と乾燥による強度回復率の関係を求めておくと、図12<sup>4)</sup>に示すように、湿潤状態における長期間の強度低下予測カーブ(I)を強度

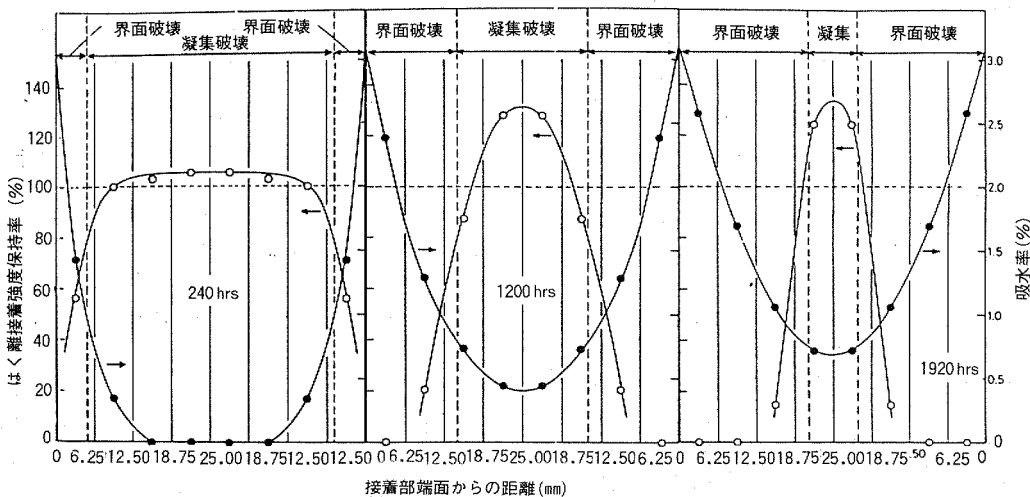


図10 70℃ 90% RH 雰囲気暴露における接着部端面からの距離とはく離接着強度保持率、吸水率、破壊状態の関係

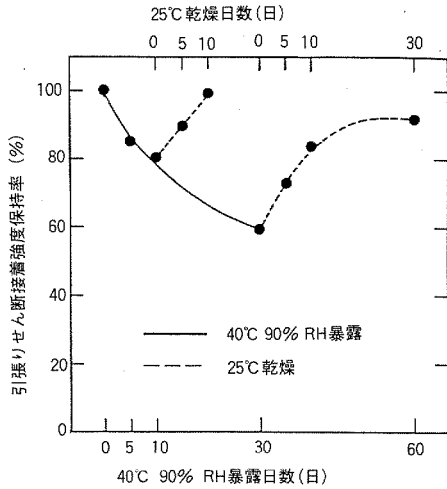


図11 40°C 90% RH 暴露による接着強度の低下と乾燥による接着強度の回復

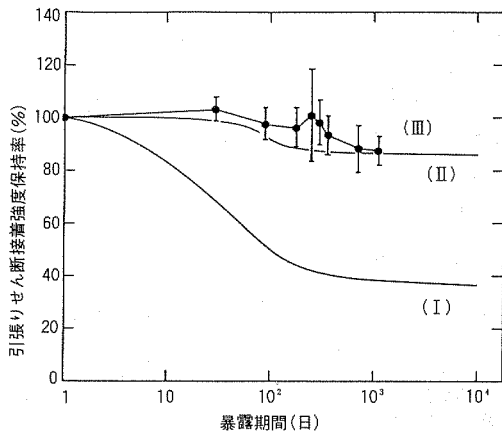


図12 乾燥による接着強度の回復を考慮した屋外暴露における強度低下の推定曲線(Ⅱ)と実測値(Ⅲ)の比較  
(Ⅰ)は加速試験から推定した25°C 90% RH 雰囲気における強度低下曲線

回復率で補正することにより屋外環境における長期間の強度低下予測カーブ(Ⅱ)を得ることができる。実際の屋外暴露試験結果(Ⅲ)と良く一致している。

4.4. 負荷荷重及び湿度に対する設計基準

接着部に荷重が負荷された状態で使用されると無負荷の状態に較べて劣化を起しやすい。また、湿度が高い状態では負荷荷重の影響が大きくなる。そこで、継手設計に使用できる負荷応力許容値をあらかじめ求めている。

図13<sup>5)</sup>には60°Cにおける相対湿度と負荷応力の許容限界の関係を示した。

4.5. ウェルドボンド、リベットボンドによる信頼性向上

接着部に大きな荷重が加わる場合や、高温状態での接着強度の低下などに対して信頼性を向上させるためにはウェルドボンドやリベットボンドを採用している。図14<sup>6)</sup>に示すように、ウェルドボンドを行うと負荷荷重の影響はほとんど無視できるようになる。筐体組み立てでも述べたが、ウェルドボンドやリベットボンドは接着工程の合理化にも非常に有効な方法である。

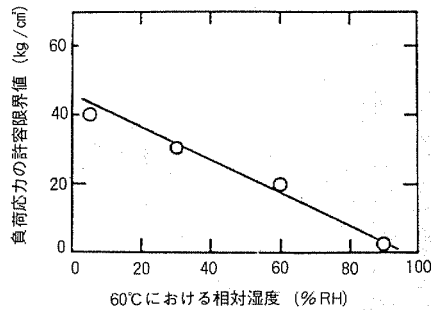


図13 60°Cにおける相対湿度と負荷応力の許容限界の関係

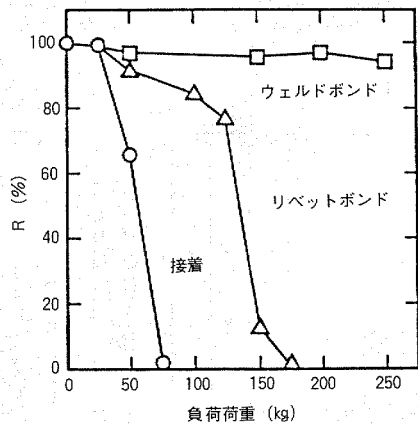


図14 荷重を負荷した状態で60°C 90% RH 雰囲気に60日間暴露した接着、リベットボンド、ウェルドボンドの各継手における負荷荷重と劣化促進の関係  
 $R(\%) = (\text{負荷試片の強度保持率} / \text{無負荷試片の強度保持率}) \times 100$

## 5. おわりに

構造用 SGA の特性、エレベータや各種筐体類における構造接着の適用事例、接着設計の技術について述べたが、10年以上を経過した現在まで全く不良が発生しなかったのは高性能接着剤の開発と接着設計とがうまくマッチしたことによるものと思われる。接着接合の適用は今後ますます拡大し、高度化、高機能化するであろうが、このような動向に対応していくには、接着剤の高性能化に期待するところは大きい。接着剤を使用するユーザー側としてはますます接着設計技術を高度化していくことが必要であると感じている。

最後に、この度技術賞を受賞させていただきましたことに感謝いたしますと共に、これを契機に、今後も尚一層研究開発に努力し、少しでも接着技術の発展にお役に立ちたいと考えております。

また、接着剤の開発に多大なご協力をいただきました電気化学工業㈱の各位に御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 原賀康介, 山田 祥, 服部勝利, 接着, 24 (12), 9 (1980).
- 2) 原賀康介, 山田 祥, 榊原邦夫, 服部勝利, 小林功, 三菱電機技報, 55 (3), 232 (1981).
- 3) 原賀康介, 日本接着協会誌, 15 (12), 568 (1979).
- 4) 原賀康介, 児玉峯一, 日本接着協会誌, 16 (6), 224 (1980).
- 5) 原賀康介, 山田 祥, 児玉峯一, 日本接着協会誌, 19 (8), 333 (1983).
- 6) 原賀康介, 児玉峯一, 日本接着協会誌, 21 (1), 4 (1985).
- 7) 原賀康介, 日本接着協会誌, 23 (5) 178 (1987).
- 8) 原賀康介, 接着の技術, 3 (2), 5 (1983).
- 9) 原賀康介, 山田 祥, 日本接着協会誌, 17 (12), 514 (1981).
- 10) 服部勝利, 安田政敏, 原賀康介, 第25回接着研究発表会講演要旨集, P. 27, (1987).
- 11) USP 4, 414, 257
- 12) USP 4, 433, 023
- 13) 特公昭59-026755

## 日本接着協会誌論文投稿について

拝啓 時下益々御清栄の段大慶に存じ上げます。

当協会ではかねてより皆様の御研究の成果による学術論文を広く御紹介申し上げております。

つきましては、最近の接着に関する科学と技術普及の及多数の論文御投稿をお願い申し上げます。

当協会では多数の海外の著名な接着研究者に対して協会誌を寄贈致しております。また Chemical Abstract にも抄録されておりますので、本誌に掲載されれば、海外からの反響を期待できます。

なお、当会は投稿料を頂戴いたしておりませんのでお申し添えいたします。

1) 切 なし, 随時

2) 投稿規定及び原稿用紙 (1冊500円送料別) はハガキにてお申し出頂ければ折り返し御送付申し上げます。