

電気機器における構造接着技術の 開発と実用化

(三菱電機エンジニアリング㈱) 高木正己

(三菱電機㈱) ○原賀康介、服部勝利、山田 祥、伊藤憲治

Development and Applications of Structural Adhesive Bonding in Electric and Electronic Equipments.

(Mitsubishi Electric Engineering Corp.) Masami TAKAGI

(Mitsubishi Electric Corp.) Kosuke HARAGA, Katsutoshi HATTORI,
Akira YAMADA, Kenji ITO

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おり、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。ところが、電気機器においては組み立て作業性が重要視されるため、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、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。このため、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に不足していた剥離強度、衝撃強度、耐環境性の改良に着手し、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^{1, 2)}。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な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なった³⁻⁸⁾。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^{2, 9, 10-13)}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^{1, 2)}

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に硬化する、⑤溶剤を含まない、⑥塗布装置が簡単で自動化しやすい。構造用SGAの開発目標を次のように設定し、

表1 SGAとエポキシ系接着剤の接着強度の比較

接着剤		剥離強度 kg/25mm	衝撃強度 kg·cm/cm ²	剪断強度 kg/cm ²
S G A	構造用 (二液主剤型)	30	32	217
	汎用 (二液主剤型)	17	17	202
	汎用 (主剤・プライマー型)	12	18	203
エ ポ キ シ	構造用 (一液型)	27	39	223
	汎用 (二液型)	6	17	96

被着材：鋼-鋼

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剥離強度：20kg/25mm以上
 ②衝撃強度：30kg・cm/cm²以上、③耐湿性：60℃90%RH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の特性を汎用SGA及びエポキシ系接着剤と比較して表1～3、
 図1～2に示した⁹⁾。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の樹脂ビーズを添加している。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用時間がとれるように、標準的なSGAより遅く設定してある¹⁰⁾。

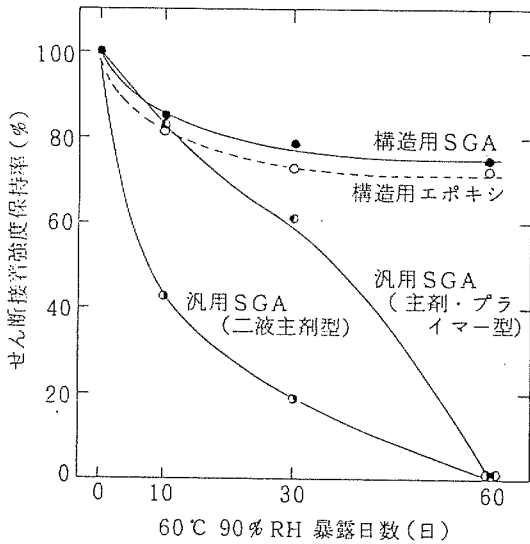


図1 構造用SGAの耐湿性(被着材：鋼-鋼)

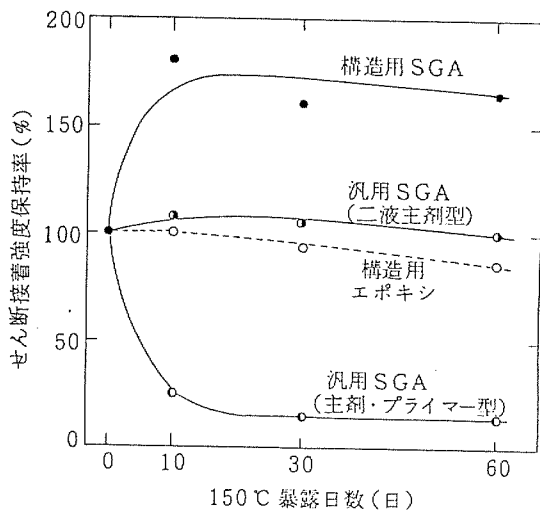


図2 構造用SGAの耐熱性(被着材：鋼-鋼)

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 ²
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%

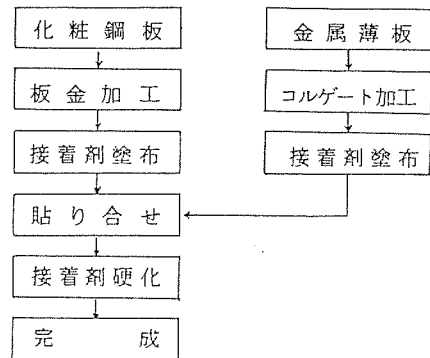
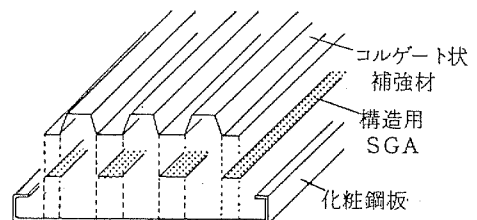


図3 エレベーターパネルの構造と製造工程

3. 構造接着の適用事例^{2, 9, 10-13)}

3.1 エレベータの意匠構造品の接着組み立て

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無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、鋼板に補強材を熱硬化型マスティックシーラーとスタッドネジにより接合し、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ない仕上げられていた。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。

エレベータの乗り場には図4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

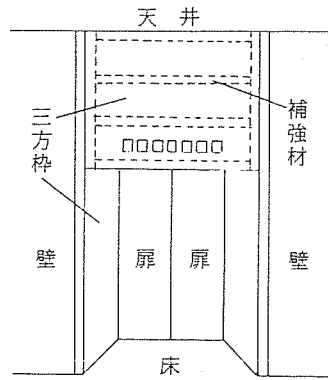


図4 エレベーター乗り場

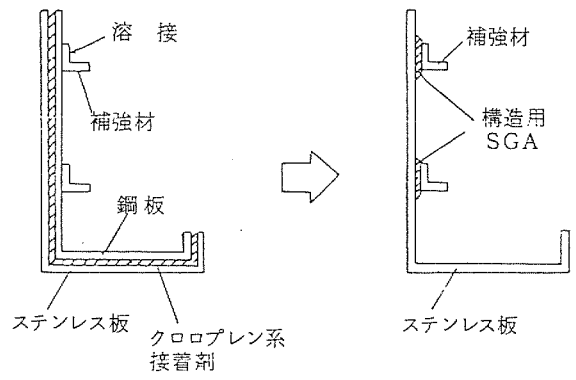


図5 ステンレス製三方枠の構造

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なため、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が、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や鏡面のような高度な仕上げがなされている場合には、接着剤の硬化収縮により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。このような場合には図6に示すようにアングル材の下に平板を備えた補強材を接合するなどの工夫がなされている。

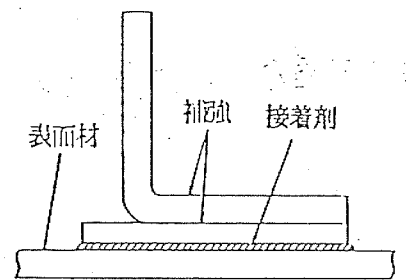


図6 接着歪を少なくする製品構造

エレベータの意匠構造品の組立に構造用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った。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は、構造用SGAにより組み立てられた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であるが、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。

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

これまでに述べ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なうことが、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させるために、これまでにこなってきた接着設計の技術について述べる。

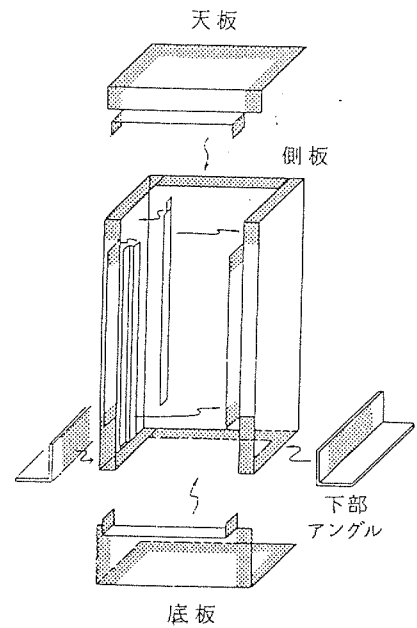


図7 接着防水筐体の組み立て図

4.1 接着部の適正な形状・寸法の簡易決定法⁴⁾

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高温高湿度中に一定期間暴露した後の接着面積 S と強度保持率 P の関係である。耐湿性は、同一面積であれば外周の長さが短い形状ほど、また同一形状であれば接着面積が大きいほど優れている。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

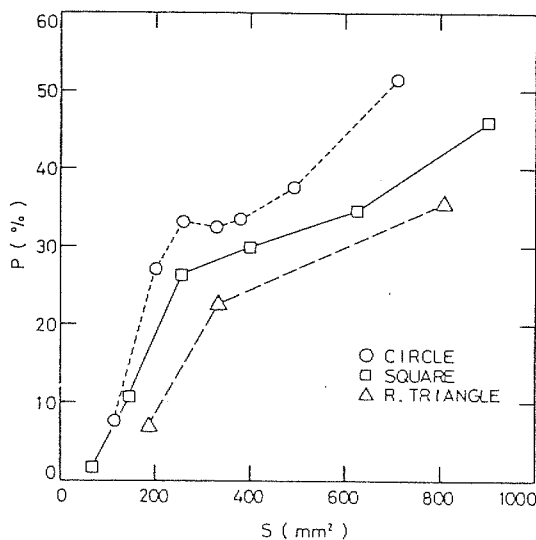


Fig. 8 Bonded area S vs. tensile strength retention P (%).

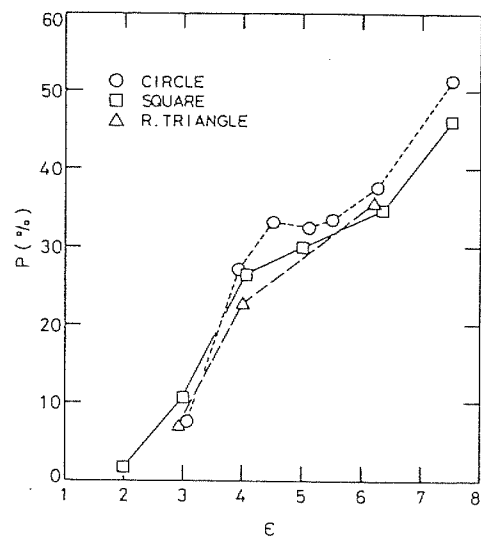


Fig. 9 ϵ vs. tensile strength retention P (%). (ϵ is the ratio of bonded area to contour line length.)

の適否を判定できる指標が必要である。そこで、接着部の形状の適正さを示すパラメータとして S/L^2 (L は接着部の外周の長さ)を、また形状と寸法の両方の適正さを示すパラメータとして $\epsilon = S/L$ を適用している。横軸を ϵ で整理しなおすと図8は図9のように一本の線に重なる。 S/L^2 、 ϵ 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 ϵ 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を知ることができる。

4.2 接着部への水分の侵入による強度変化の推定⁷⁾

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の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。

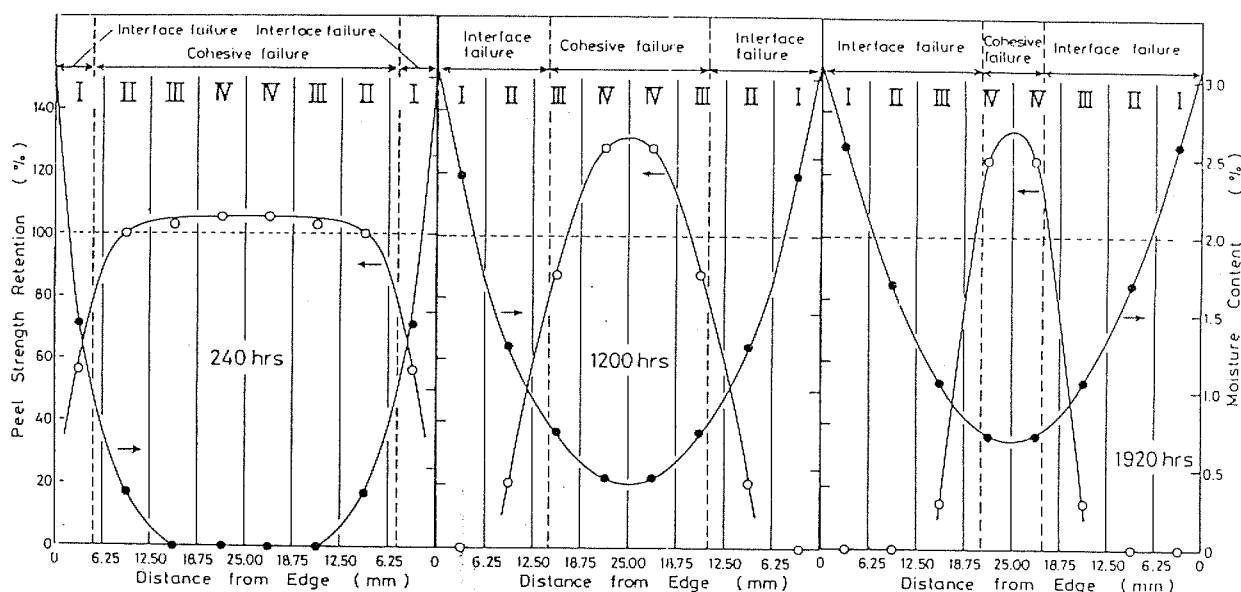


Fig.10 The relation between distribution of peel strength, distribution of moisture content and fracture mode. (70°C 90%RH)

4.3 水分の乾燥による強度低下の可逆性を考慮した屋外暴露における劣化の予測³⁾

図11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が、乾燥して水分を追い出すと接着強度は可逆的にある程度回復する。強度が回復するという事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示しており、回復の程度は接着剤、被着材により変化する。このため、接着剤、被着材の選定にあたっては乾燥可逆性の評価を必ず行なっている。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⁵⁾

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

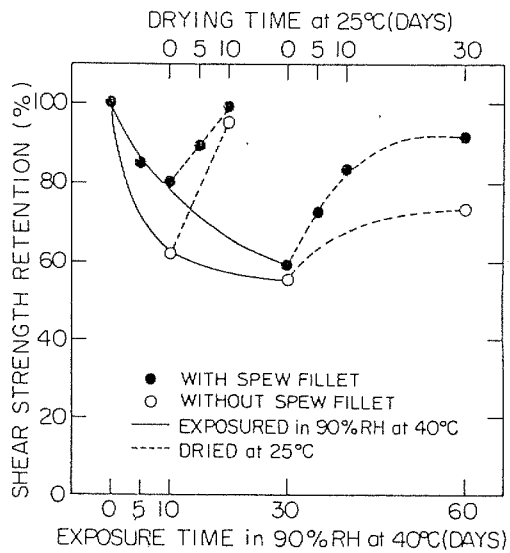


Fig. 11 Shear strength recovery of acrylic adhesive A1 by drying after humidity exposure.

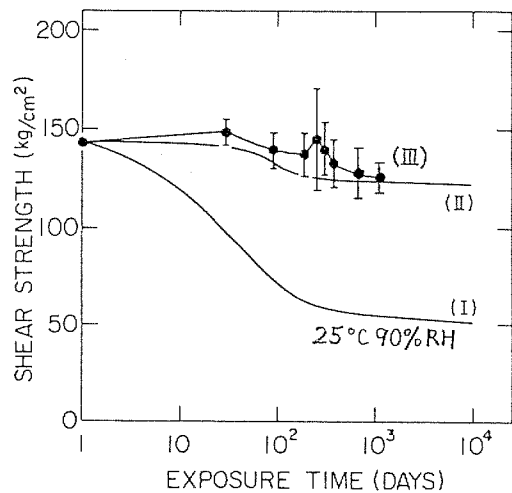


図 12. 乾燥による強度回復を考慮した屋外暴露劣化の推定曲線と実測値の比較

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許容値をあらかじめ求めている。図13には60°Cにおける相対湿度と負荷許容限界の関係を示した。 σ_L はクリープ破断試験から求めた屈曲点における負荷応力、 σ_P は負荷荷重の影響がなくなる許容限界値である。

4.5 ウェルドボンド、リベットボンドによる信頼性向上⁶⁾

接着部に大きな負荷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に示すように、ウェルドボンドを行なうと負荷荷重の影響はほとんど無視できるようになる。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。

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

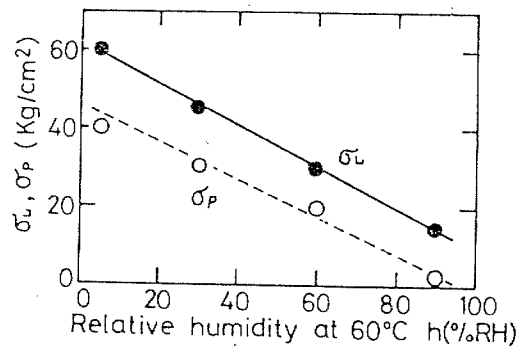


図13. 60°Cにおける相対湿度と負荷許容限界の関係

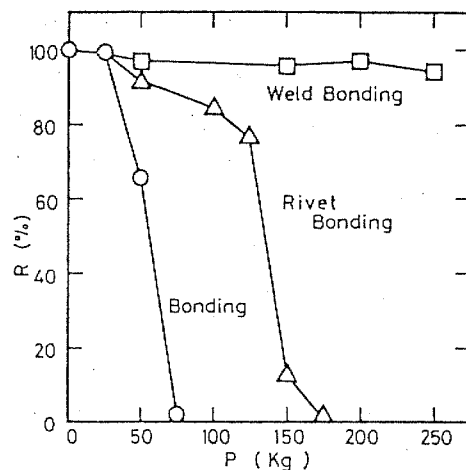


Fig. 14 R-P diagrams. (R; Ratio of the shear strength of loaded joints to that of unloaded joints after exposure for 60 days in 90% relative humidity at 60°C. P; Applied load.)

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。

終わりに、接着剤の開発に多大なご協力をいただいた電気化学工業（株）の諸氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 原賀康介, 山田 祥, 服部勝利; 接着, 24 (12) 9 (1980).
"変性アクリル系接着剤の構造用としての位置付け"
- 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). "新しい常温短時間硬化接着剤と、その金属構造・補強接着への適用"
- 3) 原賀康介; 日本接着協会誌, 15 (12) 568 (1979).
"接着接合物の環境耐久性評価"
- 4) 原賀康介, 児玉峯一; 日本接着協会誌, 16 (6) 224 (1980).
"接着接合物の耐湿性に及ぼす接着部形状・寸法の影響"
- 5) 原賀康介, 山田 祥, 児玉峯一; 日本接着協会誌, 19 (8) 333 (1983).
"鋼板接着接合物の耐久性に及ぼす外部応力と湿度の影響"
- 6) 原賀康介, 児玉峯一; 日本接着協会誌, 21 (1) 4 (1985).
"接着とスポット溶接又はリベット締結との併用継手における応力下接着耐久性"
- 7) 原賀康介; 日本接着協会誌, 23 (5) 178 (1987).
"接着部における吸水率及び接着強度の分布とその経時変化"
- 8) 原賀康介; 接着の技術, 3 (2) 5 (1983).
"接着不良を防止する導入前評価—製造工程との関連を中心に—"
- 9) 原賀康介, 山田 祥; 日本接着協会誌, 17 (12) 514 (1981).
"電気機器の構造接着—S G Aの二、三の応用—"
- 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).
"S G Aの工場における技術管理"
- 11) U S P 4,414,257 Elevator Panel
- 12) U S P 4,433,023 Panel For Elevator
- 13) 特公昭59-026755 エレベータ用ヘヤーライン仕上げパネル