

5.3 電気機器

原 賀 康 介*

はじめに

電気機器の組み立てにおける構造接着は、溶接やボルト・ナットなどに変わる接合法として年々増加しており、接着部に要求される強度、耐久性、信頼性も厳しくなっている。電気機器に構造接着を採用する目的は、薄板化・軽量化、剛性向上、応力分散・耐震性向上、意匠性向上、異種材接合、構造簡素化、部品の加工精度の低減、接合プロセスの簡素化、接合とシールの同時達成、隙間充填（部品精度の吸収）と接合の同時達成、熟練技能からの脱皮、製造エネルギーの削減などである。

以下に、各種金属における電気機器の構造接着の適用例を示す。

5.3.1 各種金属材料における構造接着の適用例

5.3.1.1 アルミニウムの構造接着

ルームエアコンの熱交換器は、一般にパイプ材として銅が使用されるが、アルミニウムパイプを用いたオールアルミ熱交換器もある。オールアルミ熱交換器の組立法として、図 5.11 に示すように、アルミ製の U ベントとアルミ直管が接着剤により接合・シールされるものもある。接着部には、高温での接着強度、長期間の耐溶媒性や耐冷凍機油性、屋外での長期耐水性などとともに、耐圧シール性が要求される。このような条件に耐える接着剤として 1 液加熱硬化型のペースト状接着剤が使用されている。U ベ

ントに接着剤を塗布して相手側に挿入すると必ず部分的に接着剤が欠き取られ、そのまま接着剤を硬化させるとほとんど漏れ不良となる。そこで、図 5.11 に示すように、挿入後に外管をバンド状にかしめてつぶして接着剤を接続部全体に均等に流動させることにより漏れ不良は 1/20 万以下となる。耐圧強度は 140kgf/cm^2 以上あり、接着部ではなくアルミパイプ自体が破裂する。オールアルミ熱交換器の組み立てに接着法を採用してからすでに 24 年が経過したが、現在でも冷媒漏れもなく順調に稼働している。

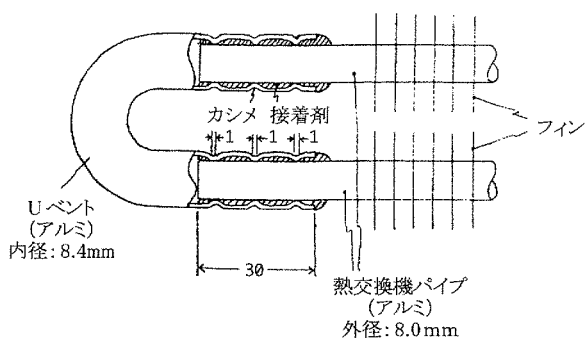


図 5.11 オールアルミ熱交換器における接着・シール構造の一例

大形のパラボラアンテナの反射鏡は、円形を径方向、円周方向に分割した扇形のパネルを多数組み合わせさせて製作される。図 5.12 は 1 枚の反射パネルである。アルミ製の反射板の裏面に、予め溶接で組まれたアルミ製の補強枠が接着されている。接着部には、風速 90m/秒 の台風にも耐える強度と屋外で 25 年から 30 年間の耐久性が要求される。接着剤は 2 液室温硬

* 三菱電機(株) 先端技術総合研究所 環境・分析評価技術部
 尼崎市塚口本町 8-1-1 〒661-8661

化型変成アクリル系接着剤が用いられている。補強枠は溶接で組まれており剛性が非常に高いので、曲率を反射板の曲率に合わせることは困難で、反射板と補強枠のには数ミリの隙間が生じる。接着剤はこの隙間を埋めて部品精度を吸収する機能も果たしている。

アルミニウムの接着においては表面処理が重要である。図 5.13, 図 5.14 に、長期間の耐熱性、耐水性に及ぼす表面処理の影響の例を示した。

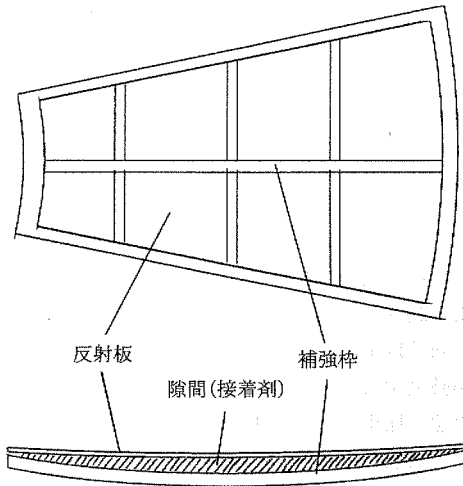


図 5.12 大形パラボラアンテナの反射板と補強枠の接着構造

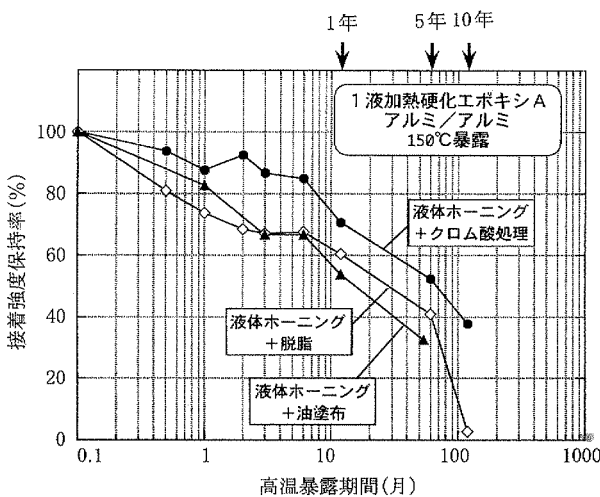


図 5.13 アルミニウムの接着における長期耐熱性に及ぼす表面処理の影響

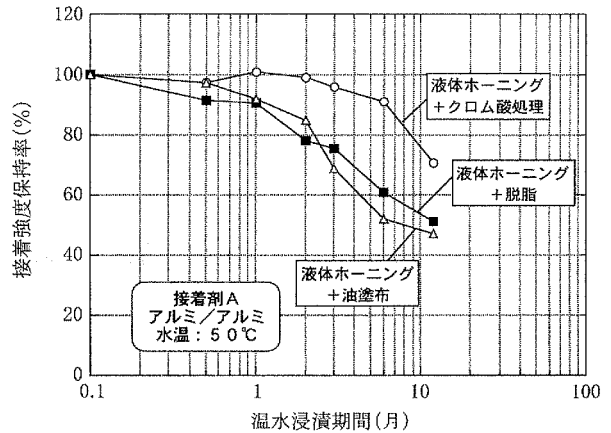


図 5.14 アルミニウムの接着における耐水性に及ぼす表面処理の影響

5.3.1.2 鋼板の構造接着

産業用有圧換気扇の羽根 (直径 30cm~1.2m 程度) には、図 5.15 に示すように、鋼製のスパイダーに鋼製のブレードが接合される構造のものがある。従来は、一般にリベットで組み立てられており、接合部の応力集中が大きく薄板では接合強度、疲労強度が低下するため、薄板化、軽量化に限界があった。また、リベット締結後に塗装を行なっても塗料が重ね合わせ部の内部まで十分に入らず、使用中に錆が発生するという問題もあった。そこで、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による接合が採用されている。接着剤により部品の重なり部分の全面が面接合されるので、接合部での応力分散が図れ、薄板でも高い接合強度と優れた耐疲労特性が得られる。ウェルドボンディングと高張力鋼板を採用することにより 30~40%の薄板化、軽量化が実現している。さらに、スポット溶接が併用されていることにより接合信頼性が非常に高く、また、重なり部分での錆の発生もなく、リベットの突起もないので外観意匠性にも優れるなどの効果も得られている。接着剤は一液加熱硬化型のエラストマー変性の構造用エポキシが使用され、油面に塗布して貼り合わせ、スポット溶接の後塗装し、焼き付け塗装ラインで 160°C~180°Cで塗料と接着剤が同時に硬化される。スポット溶接は接着

部分の全面が面接合されるので、接合部での応力分散が図れ、薄板でも高い接合強度と優れた耐疲労特性が得られる。ウェルドボンディングと高張力鋼板を採用することにより 30~40%の薄板化、軽量化が実現している。さらに、スポット溶接が併用されていることにより接合信頼性が非常に高く、また、重なり部分での錆の発生もなく、リベットの突起もないので外観意匠性にも優れるなどの効果も得られている。接着剤は一液加熱硬化型のエラストマー変性の構造用エポキシが使用され、油面に塗布して貼り合わせ、スポット溶接の後塗装し、焼き付け塗装ラインで 160°C~180°Cで塗料と接着剤が同時に硬化される。スポット溶接は接着

剤の硬化までの仮固定と、スパイダーの曲面にブレードの曲面を押しつけて沿わせるためにも重要な役割を果たしている。産業用有圧換気の羽根組立にウェルドボンディング法を採用して14年が経過したが現在でも接着不良や錆発生の問題は生じていない。

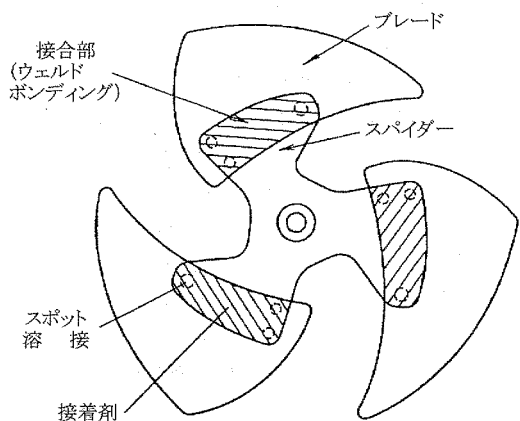


図 5.15 ウェルドボンディングによる産業用有圧換気扇の羽根組立構造

5.3.1.3 亜鉛めっき鋼板の構造接着

図 5.16 は、接着剤とリベットを併用したリベットボンディング法により組み立てられる配電盤・制御盤用筐体の構造例である。このような板金構造物は、溶接やボルト・ナット、リベットで組み立てられるのが一般的であるが、接着接合を採用することにより、熟練技能（アーク溶接、歪み取り作業）からの脱皮、3K 作業（溶接、パテ作業、塗装など）の廃止、製造工程の合理化（歪み修正作業の廃止）、性能向上（軽量・高剛性化・耐震性向上）、製造エネルギーの削減などに大きな効果が得られている。接着剤は、室温硬化性で油面接着性のある 2 液型変成アクリル系接着剤が使用されている。ここで、薄板での接合強度、耐久性、剛性、応力分散、振動吸収、シーリング性、電食防止（絶縁）などの基本性能は接着剤に依存しているが、リベットは、接着剤硬化までの固定治具の代用、位置合わせの簡易化、電気的導通の確保、焼き付け塗装など的高温における接着はがれの防止、火災による接着剤焼失時の形状維持など接着の欠点を解消する重要な機能を果たしている。板金材料は裸の鋼板も使用されるが、各種の亜鉛めっき鋼板が使用される場合が多い。亜鉛めっき鋼板は、

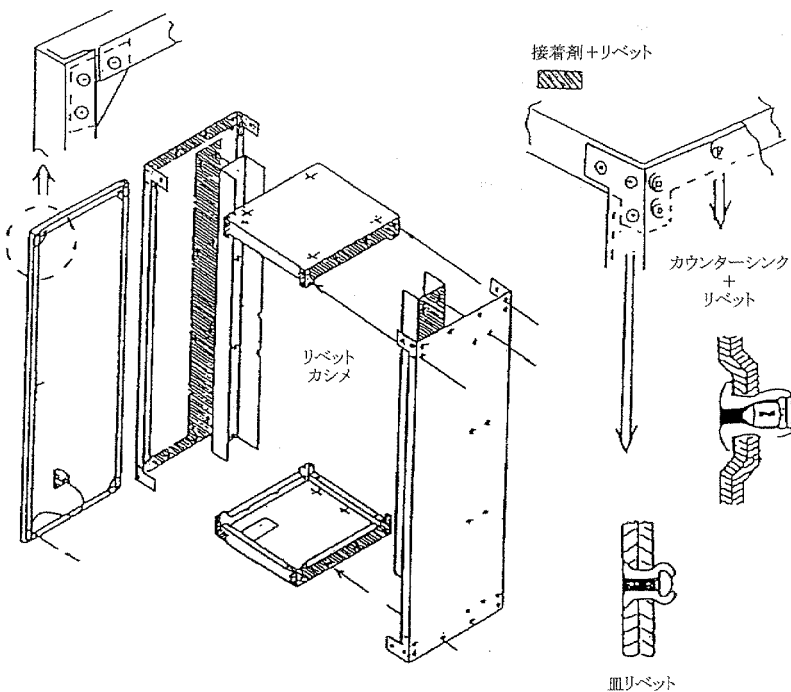


図 5.16 リベットボンディングによる配電盤・制御盤用筐体の組立構造の一例 (800w×800D×2300H)

溶接の場合は溶接前にめっきを除去したり、溶接後には錆防止のためにタッチアップ塗装が必要であるが、接着はめっき面を傷つけないため製造工程の簡素化に適した材料である。表 5.12 に、リベットボンディング法の採用による種々の効果をアーク溶接との比較で示した。リベットボンディングによる板金筐体の組み立ては、中小形筐体においては 1980 年から適用されており、大形筐体でも 1994 年から適用されており、屋内外で多くの実績がある。

亜鉛めっき鋼板の構造接着は、図 5.17 に示すように、エレベータの意匠構造パネルの補強材接合でも採用されている。

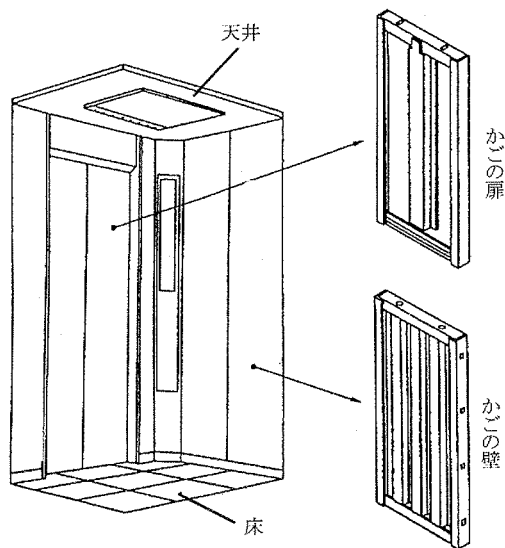


図 5.17 エレベーターのかご室の外観と意匠構造パネルの裏面構造

亜鉛めっき鋼板にはめっきの金属の組成、熱処理、めっきの後処理に非常に多くの種類があり、接着性は大きく異なる。同種材料でもロットやメーカーによる差も大きく、接着の対象材料とする場合には事前に十分な検討が必要である。表 5.13 に、各種の亜鉛めっき鋼板の構造用ウレタン系接着剤によるはく離強度の比較を示した。

5.3.1.4 ステンレス鋼板の構造接着

エレベーターの扉には、ヘアライン加工、エッチングによる模様付け、鏡面仕上げなどを行ったステンレス鋼板製のものが多くあり、図 5.17 に示したように、ステンレス鋼板の裏面には亜鉛めっき鋼板製の補強材が接着されている。接着剤は、室温硬化性の 2 液型変成アクリル系接着剤が使用されている。

ステンレスはロットやメーカーによる接着性の差が大きい材料で、高強度で信頼性の高い構造接着を行うためには表面処理が必要である。表 5.14 には、ロットやメーカーが異なる SUS304 の受け入れ状態のままと含水有機リン酸化合物系プライマー (F100: 電気化学工業(株)製) を塗布した場合の 2 液型変成アクリル系接着剤による接着強度を示したが、受け入れ状態では接着強度、破壊状態に大きな差があり、表面処理が必要なことがわかる。表面処理としては短波長紫外線 (FUV) 照射も効果的である。図 5.18 は、2 液型変成アクリル系接着剤によるステンレス鋼板の短波長紫外線照射の有無によるはく離接着強度と凝集破壊率のばらつきとの比較である。ステンレス鋼板への短波長紫外線照射により凝集破壊率が大きく向上していることがわかる。その結果、表 5.15 に示すように、アコースティックエミッションで調べた AE 発生開始強度及び破断までの AE 発生回数は大きく改善されていることがわかる。また、図 5.19 に示すように、疲労特性にも大きな差が生じている。

表 5.12 リベットボンディング法による配電盤・制御盤組立の効果 (アーク溶接との比較)

組立法	溶接	リベットボンディング			
		鋼板		めっき鋼板	
		塗装	半塗装	塗装	塗装レス
板厚	3.2 mm	2.3 mm		1.6 mm	
筐体重量	100% (246 kg)	82% (201 kg)	82% (201 kg)	57% (140 kg)	57% (140 kg)
作業時間	100%	69%	53%	58%	36%
コスト	100%	80%	69%	70%	61%
工期	100%	100%	100%	100%	100%
工場騒音	98 ホーン	80 ホーン	80 ホーン	80 ホーン	80 ホーン
製造時の電力使用量	100%	64%	40%	43%	16%
塗装熱源ガス使用量	100%	55%	55%	55%	0%
素原料からの全使用エネルギー	100%	78%	83%	64%	51%

表 5.13 各種の亜鉛めっき鋼板の構造用ウレタン系接着剤によるはく離強度の比較

めっきの種類	めっき後処理	メーカー	はく離接着強度 (N/25mm) と破壊状態	
			+25℃	-20℃
溶融亜鉛	普通クロメート	A	196 界面	78 界面
		B	167 界面	0 界面
		F	108 界面	0 界面+P
	特殊クロメート	F	196 界面+凝集	59 界面+P
電気亜鉛	無処理	F	0 界面	0 界面
		D	0 界面	0 界面
	普通クロメート	D	49 界面	0 界面
		F	108 界面+凝集	118 凝集+界面
	リン酸塩処理	F	196 凝集	206 凝集
	樹脂コーティング	F	157 凝集+界面	147 界面+凝集
複合コーティング	D	0 界面	0 界面	
Fe-Zn	無処理	E	216 界面+凝集	0 全面P
アロイ化	特殊クロメート	F	0 全面P	0 全面P
合金	特殊処理	E	294 凝集	275 凝集

P:めっきと素材鋼板間での破壊

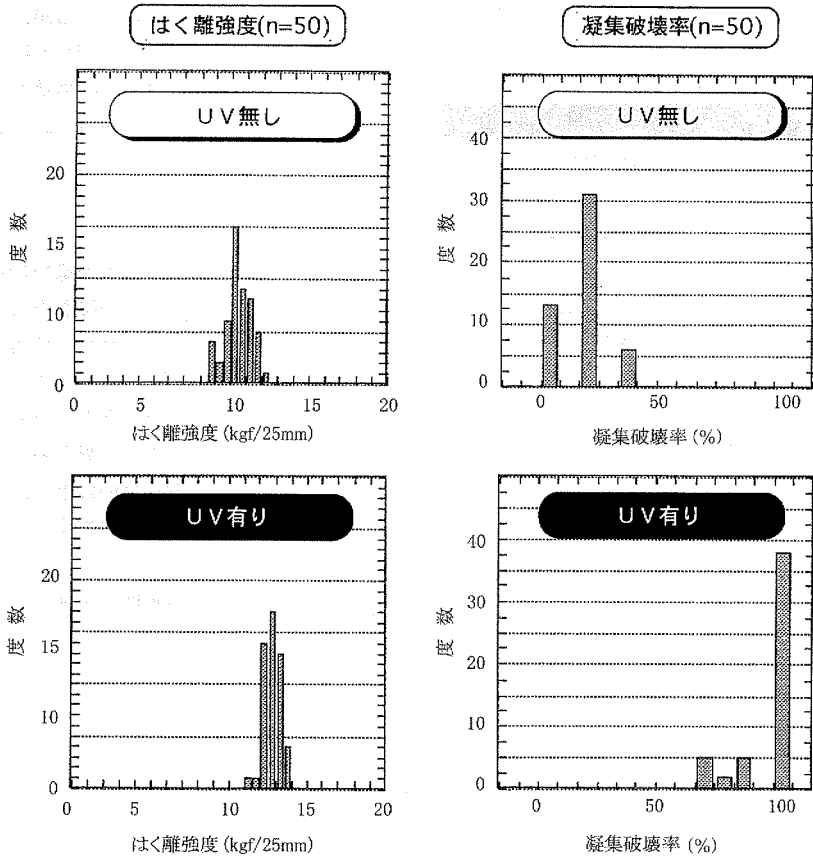


図 5.18 ステンレス鋼板の短波長紫外線照射の有無とはく離接着強度、凝集破壊率

表 5.14 メーカーやロットが異なるステンレス鋼板 (SUS304) のはく離強度とプライマーの効果

	はく離強度 (kgf/25 mm)	
	未 処 理	プライマー処理
A 製作所購入品	3.7 (界面破壊)	24.0 (凝集破壊)
B 製作所購入品	10.5 (界面破壊)	22.2 (凝集破壊)
C 製作所購入品	8.3 (界面破壊)	23.6 (凝集破壊)
D 製作所購入品	15.2 (凝集+界面破壊)	22.7 (凝集破壊)
E 製作所購入品	22.6 (凝集破壊)	22.9 (凝集破壊)

表 5.15 ステンレス鋼板の短波長紫外線照射による AE 発生特性の向上

UV 照射	サ ン プ ル	AE 発生開始 強 度 比	破断までの AE 総 発 生 回 数
なし	1	7%	25 回
	2	8%	17 回
	3	31%	117 回
	平均	15%	53 回
有り	1	51%	19 回
	2	76%	11 回
	3	100%	1 回
	平均	76%	10 回

AE 発生開始強度比 = AE 発生開始強度 / 破断強度

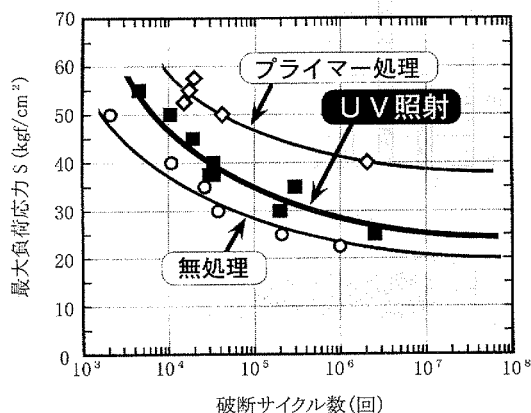


図 5.19 ステンレス鋼板の、プライマー処理、短波長紫外線照射による疲労特性の向上

5.3.1.5 化粧鋼板の構造接着

電気機器において化粧鋼板は塗装レス化や外観・意匠性向上の目的で多く使用されている。化粧鋼板にはフィルム貼りや塗装、めっき・蒸着・発色加工品など多くの種類がある。化粧鋼板の接着においては表面の化粧層と接着剤、化粧層と素材金属との密着性の両方が重要である。図 5.16 に示した配電盤・制御盤のリベットボンディング組み立てではプレコート鋼板が使用される場合もあるが、塗料は接着用塗装鋼板として専用に開発されたものである。図 5.17 に示したエレベータの意匠構造パネルにもフィルム貼り鋼板や塗装鋼板が使用されており補強材が接着されている。

おわりに

電気機器における構造接着の適用例を金属の種類別に示したが、信頼性の高い接着を行う基本は、被着材料の界面での結合力を高めて接着剤の内部で破壊する凝集破壊に持っていくことである。特に、金属材料は同仕様の材料といえどもロットによる接着性の差が大きく、メーカーが異なると同種材といっても別材料と考えた方がよいほどである。開発時点においては材料の最適仕様の選定だけでなく、メーカー差、ロット差も十分にチェックして、ばらつきが大きい場合には表面処理法を検討すべきである。

つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける

接着の技術

ADHESION TECHNOLOGY, JAPAN

特集：金属材料の接着（構造接着）

つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける

Vol. 23 No. 1 2003



発行：日本接着学会

つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける つける