

接着・リベット併用による配電盤・制御盤の組立技術

眼龍裕司* 原賀康介** 八木直樹*** 駒澤吉郎+ 中島義信**

1. ま え が き

配電盤や制御盤を構成するきょう(筐)体やユニット等は、品種が多く形状も様々なため、組立作業を人手に頼るところが多い。しかし、近年、板金作業のうち、特に熟練を要するとされる溶接作業等の技能分野の人手不足が深刻化し、技術や技能の伝承が困難な状況にあり、品質の安定と向上、製造工程及び工期短縮への対応が困難になりつつある。一方、溶接及びその関連作業は騒音、じんあい(塵埃)、せん(閃)光を発生し、3K作業の代表とされ、作業環境の観点からも改善が急務である。

このような背景から、配電盤や制御盤の筐体組立作業の熟練技能からの脱皮と作業環境の改善を目的に、従来の溶接に代わる組立方式として、接着剤とリベットを併用する組立技術を開発し、実用化した。

以下に、その概要を述べる。

2. 接着・リベット併用組立法の適用対象筐体

今回、接着・リベット併用組立法の適用対象とした筐体は、従来アーク溶接によって組み立てられていた自立型鋼板製パネル構造のものであり、鋼板の厚さは主として1.6 mm から2.3 mm、高さ最大2.5 m、幅約1 m、奥行き約1 m、質量100 kg から200 kg(機器装着後の質量250 kg から

700 kg)程度のものである。

既に接着・リベット併用組立法によって実用化したものに、冷熱機器用高圧電動機盤(屋内盤)、ビル管理用リモートステーション盤(屋内盤)、ビル用受配電盤(屋外盤)、工業プラント用制御盤(屋内盤)、発電所向けデジタル制御盤(屋内盤)(以下“DDC盤”という。)、工業用計算機盤(屋内盤)(図1)などがある。このうちの一例として、DDC盤の接着・リベット併用組立法による筐体の構造を図2に、底板と側板の連結コーナ部の拡大図を図3に示す。コーナ金具

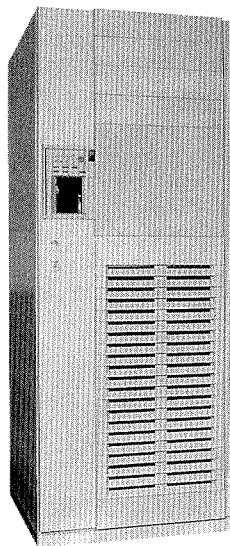


図1. 工業用計算機盤

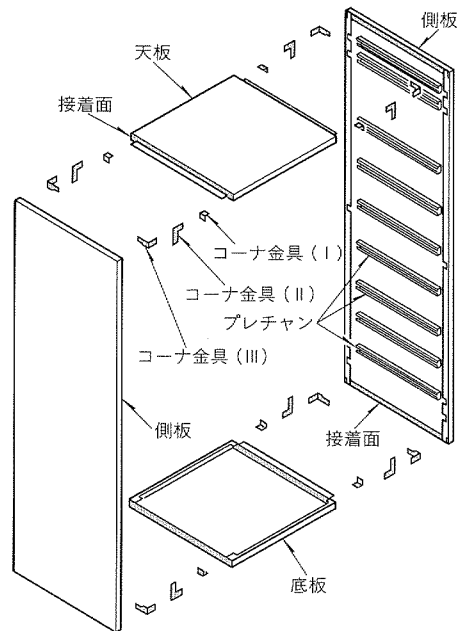


図2. DDC盤の主要部品の概略構成

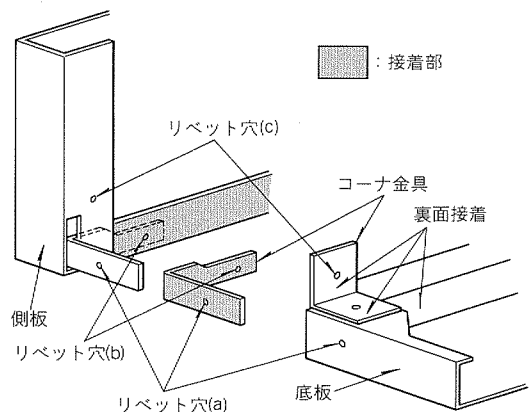


図3. DDC盤の底板と側板の連結コーナ部

は剛性を確保するために用いている。

3. 接着・リベット併用組立法の概要

3.1 接着剤及びリベット

接着剤は強度・耐久性・作業性の点から、常温硬化性の2液接触硬化型構造用変性アクリル系接着剤“ハードロックM372-20”（電気化学工業(株)製）を使用した。この接着剤は、昭和53年に三菱電機(株)材料研究所と接着剤メーカーで共同開発し、アルミ製制御盤や屋外用小型筐体の組立てやエレベータ・エスカレータの補強材接合などに既に15年以上用いられており、フィールドにおいてもその高い信頼性が立証されているものである⁽¹⁾。接着剤の性状・物性を表1に示す。特長は次のとおりである。

作業性の面では、

- 油面接着性に優れるため、接着前の脱脂が簡便に行える。
- 2液の接触によるラジカル反応で硬化するため、完全混合の必要がなく、配合比の許容幅が非常に大きい。
- 常温や冬期の低温時にも、短時間で硬化する。
- 接着剤中に膜厚調整用ビーズが混入されており、最適膜厚の管理が容易である。

性能面では、

- せん断、はく離、衝撃のいずれにも高い接着強度を示す。
- 優れた耐環境性がある。
- 焼付け塗装時の高温下でも、熱劣化しない。

一方、リベットは、作業性の点から、片側からの締結ができるマンドレル引抜きタイプを使用している。必要な工具は

ハンドガン式のリベッタのみである。

3.2 接着・リベット併用組立法の特長

接着・リベット併用組立法は、基本的には接合強度を接着接合に期待し、接着接合の弱点をリベット締結で補い、総合的に高い接合信頼性と優れた作業性を両立させるものである。接着・リベット併用組立法の特長を次に示す。

性能面では、

- 接着によって面接合となるため、振動、疲労に強くなる。
- 接合時に高温を要しないため、薄板でもひずみが生じず、寸法精度が向上し、外観も優れる。
- 異なる板厚や異種材料の接合が容易なため、材料の最適化・軽量化が図れる。
- 接着剤は、焼付け塗装時など高温での強度や耐クリープ性に劣るが、金属製のリベットの併用によって解消される。
- 接着剤のみでは、アースや電着塗装のための電気的導通が確保できないが、金属製のリベットの併用によって解消されることも確認している。

作業性の面では、

- 接着剤が未硬化状態でも、すぐに次工程に移行できる。
- リベットによって部材の位置決めや姿勢保持が容易である。
- 接合時にひずみが生じないため、ひずみ修正や塗装工程でのパテ修正などが不要で、製造工程の大幅な合理化ができる。また、ひずみ修正のためのハンマ作業やグラインダがけなどの騒音がなくなり、作業環境の改善ができる。

表1. ハードロックM372-20の性状・物性

種類 主成分(A/B剤とも)	2液接触硬化型構造用変性アクリル系接着剤 アクリルモノマ, エラストマ(ニトリルゴム), 硬化触媒, 接着剤層厚さ調整用ビーズ(φ0.15mm)
外観	A剤: 乳白色粘ちょう液 B剤: 三菱電機・盤標準色5Y7/1 粘ちょう液 硬化後の色: 5Y7/1
粘度 含有溶剤 液比重	20Pa・s {20,000cps} (at 25°C) (A/B剤とも) なし (A/B剤とも) 1.01 (at 20°C) (A/B剤とも)
硬化物物性	
硬度	ショアD55~60 (at 25°C, 5秒値)
線膨脹率	$1.10 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$
熱伝導率	$0.419 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ { $1.03 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ }
体積固有抵抗	$1.26 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$
比誘電率	60Hz; 6.4, 1kHz; 5.7 (at 20°C)
誘電正接tanδ	60Hz; 3.9×10^{-2} , 1kHz; 6.6×10^{-2} (at 20°C)
接着作業条件	
配合比	A剤:B剤=2:1 ~ 1:2
可使時間	3分(35°C) ~ 6分(5°C)
強度発現時間	10分(35°C) ~ 30分(5°C)
最終硬化時間	1日
接着強度	
はく離強度	215~372N {22~38kgf}/25mm (at 25°C)
せん断強度	16.6~24.5MPa {170~250kgf/cm ² }

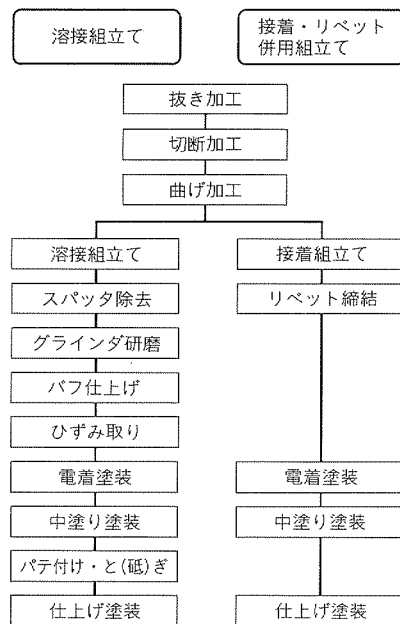


図4. 溶接と、接着・リベット併用組立法の製造プロセスの比較

- 接合と同時にシールができ、シール作業が不要になる。
- 大がかりな設備が不要で、作業場所が制限されない。
- 高度な技能を要せず、熟練技能者の不足に対応できる。

図4に、従来の溶接構造と接着・リベット併用組立法の製造プロセスの比較を示した。

3.3 接着・リベット併用組立法の留意点

筐体の組立てに接着・リベット併用組立法を採用する際には、次の点を考慮して設計、施工を行うことが必要である。

- 被接着材料の種類により、接着強度や耐久性が異なる。特に、亜鉛めっき鋼板では種類の選定が重要である。
- 部品の張り合せ時に、塗布した接着剤がこすり落とされたり、かき取られたりしない構造であること。
- 接着剤の可使時間(接着特性を低下させずに部品の張り合せ作業ができる接着剤塗布後の時間)内で接合が完了できる簡易な接合構造であること。
- 接着部に加わる応力がせん断方向になるように設計すること。
- いったん接着すると分解不可能なため、接着前の仮組みが重要である。

4. 接着・リベット併用組立筐体の性能

4.1 耐震性

4.1.1 筐体の耐震設計

地震に対応するため、配電盤や制御盤の筐体には、十分な耐震性が要求される。地震による破壊は、地震の振動数が筐体の固有振動数と一致して共振し、地震の数倍～30倍程度の力を受けて起きる場合が多く、また、輸送中や据付け時にも大きな外力が加わることがある。輸送中に受ける力は、道路

表2. 代表的な耐震設計規格

規準番号	規準名称	制定機関
JEM-144	配電盤・制御盤の耐震設計指針	日本電機工業会
JEAG-4601	原子力発電所耐震設計技術指針	日本電気協会
JEAG-3605	火力発電所の耐震設計指針	日本電気協会
JEAG-5003	変電所等における電気設備の耐震対策指針	日本電気協会
JEIDA-29	工業用計算機設置環境基準	日本電子工業振興協会
JIS Z 0200	包装貨物の評価試験方法通則	日本工業規格

表3. JEAG-3605の設計レベル2クラスI及びJIS Z 0200の振動試験条件

	JEAG-3605 設計レベル2クラスI		JIS Z 0200
	掃引試験 (共振点の調査)	耐震強度試験	運搬耐久性試験
周波数範囲	1Hz以上	共振周波数	5～55Hz
加振方向	左右, 前後, 上下	左右, 前後, 上下	左右, 前後, 上下
加速度振幅	0.25G	0.25, 0.5, 0.75G	0.75G
加振時間	任意	正弦30波	40分

$$1G=9.8m/s^2$$

事情、盤筐体の積替えや積降し状況によって異なるが、配電盤や制御盤の自重の16倍近くの力を受けることがある。したがって、筐体は耐震性を十分に考慮した設計が必要である。

表2に、三菱電機(株)において耐震設計の条件として準拠している代表的な規格を、表3に、JEAG-3605の設計レベル2クラスI及びJIS Z 0200の振動試験条件を示した。

4.1.2 筐体の振動試験

図2に示したDDC盤筐体にダミーウェートを載せ、表3の耐震試験条件で振動試験を行った。なお、1995年1月17日の阪神大震災では、地表面で最大833Gal(0.85G: 8.33m/s²)の水平方向の揺れが観測された⁽²⁾ため、耐震強度試験は規格を上回る0.87～0.89Gで試験を行った。

図5に、掃引試験における左右方向の加振周波数と応答倍率の測定結果を示した。共振点では側面及び前面の上部で約9倍の応答倍率であった。表4に示すように、接着・リベット併用組立筐体の共振周波数は、左右方向が8.8Hz、前後方向が9.5Hz、上下方向が55Hz以上で、溶接構造筐体の共振点を上回っており、溶接構造筐体よりも剛性に優れていることが確認された。また、共振周波数で0.87～0.89Gの加速度を与えて実施した耐震強度試験及び0.75Gでの運搬耐久性試験においても、全く異常は見られなかった。

以上の結果から、接着・リベット併用組立筐体は、高い剛性と優れた耐震強度を持っていることが確認された。

4.2 接合強度

図6に、アーク溶接、スポット溶接、リベット、接着、接着・リベット併用の接合強度の比較試験の結果を示した。試験は、厚さ2.3mmの鋼板を用いて、図7に示す形状・寸

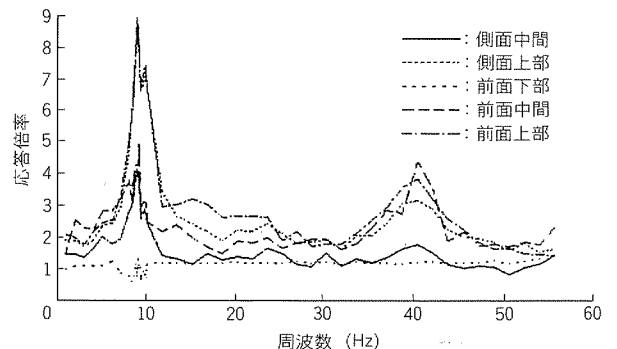


図5. 左右方向の加振周波数と各加速度計の応答倍率の測定結果

表4. 接着・リベット併用組立筐体の共振周波数と剛性

		接着・リベット併用 筐体	溶接筐体
共振周波数	加振方向		
	左右	8.8Hz	5.0Hz
	前後	9.5Hz	9.3Hz
	上下	55Hz以上	55Hz以上

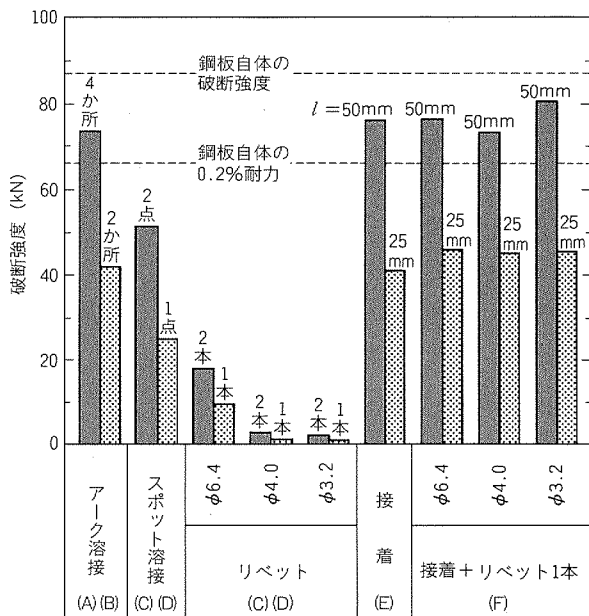


図6. 各種接合方法の接合強度の比較
(厚さ2.3mmの鋼板と鋼板の組合せ)

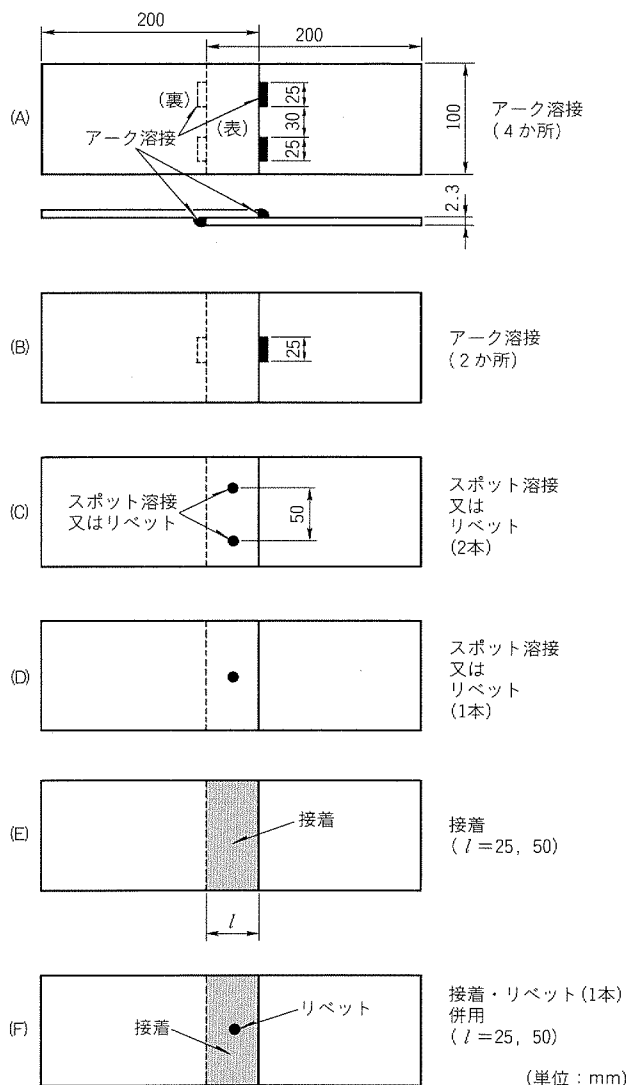


図7. 試験片の形状・寸法 (鋼板と鋼板の組合せ)

法の単純重ね引張りせん断試験片で行った。この結果から、重ね合せ長さ l を 50 mm で接着した場合は、ビード長さ 25 mm のアーク溶接を 4 か所行った場合と同等の強度が得られ、鋼板自体の 0.2% 耐力を上回っていることが分かる。また、リベット自体の強度は接着に比べて非常に低く、接着・リベット併用の強度は、接着によるものが支配的であることが分かる。

4.3 接着耐久性

この接着剤は、先にも述べたように、既に 15 年以上のフィールド実績があり、高い信頼性が立証されているものである⁽¹⁾。

図8は、この接着剤の開発初期に、屋外暴露における接着強度の長期経年変化を、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基に、アレニウス法に従って推定したものである⁽²⁾。図中には、その後実際に屋外暴露試験を行った結果も示したが、推定値とよく一致しており、30年の経年変化でも86%以上の強度保持率を保有すると推定できる。なお、実際に筐体組立てに用いている接着剤ハードロック M 372 は、図8の実験以後に完成したもので、更に優れた耐久性を持っている。

図9には、ハードロック M 372 で接着した各種の材料の

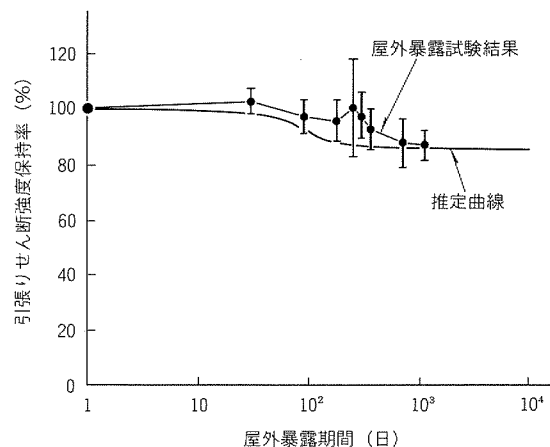


図8. 屋外暴露における接着強度の経時変化の推定曲線と屋外暴露試験結果の比較

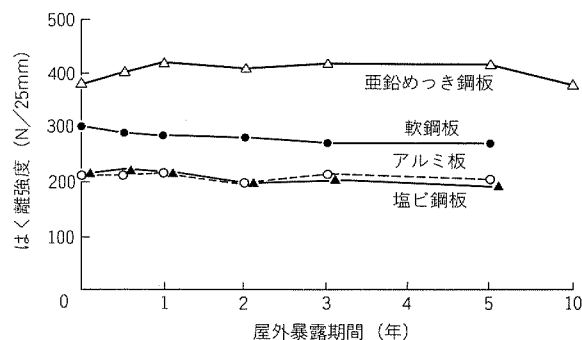


図9. ハードロックM372で接着した各種の材料の屋外暴露試験の結果

屋外暴露試験の結果を示した。試験片には、幅 25 mm、接着部の長さ 150 mm のはく離試験片を用いた。この結果から、長期の屋外暴露においてほとんど強度低下が見られず、耐久性に優れていることが分かる。なお、屋外暴露における劣化の主要因は接着部への水分の浸入によるものであり、接着部内部での吸水率の分布状態は接着部の幅によって変化し、接着部の幅が 2 倍になると耐久性は 4 倍になると考えられている⁽⁴⁾。例えば、試験片の幅が 25 mm である図の結果を幅 50 mm の接着部の場合に換算すると、横軸の時間が 4 倍となり、5 年目が 20 年目に相当する。筐体の接着部の寸法は 25 mm よりも大きく設計してあるので、図の屋外暴露試験の結果よりも更に耐久性に優れると考えられる。

5. む す び

配電盤や制御盤の筐体組立作業の熟練技能からの脱皮と作業環境の改善を目的に、従来の溶接に代わる組立方式として、接着剤とリベットを併用する組立方式を開発し、従来工法による強度や剛性、意匠性、耐久性等を損なうことなく実用可能であることが確認できた。

接着・リベット併用組立方式による効果をまとめると次のとおりである。

- 熟練技能が不要で、品質の安定・向上が図れる。

- 筐体の組立て及び塗装工程で省工程化が図れる。
- 溶接電力が不要となり、省エネルギー化が図れる。
- 3K 作業がなくなり、クリーンで静かな環境での作業が可能となる。

なお、この開発は、配電盤や制御盤類を製造する社内の多数の製作所及び関連会社の協力によって全社的に展開したもので、新世代の革新的な組立法として種々の製品への適用が急速に加速されつつある。

三菱電機(株)における実用化を一つの契機として、筐体類の組立作業分野に接着・リベット併用方式が広く普及していくことを期待したい。

参 考 文 献

- (1) 原賀康介, 服部勝利, 山田 祥, 伊藤憲治, 高木正巳: 電気機器における構造接着技術の開発と実用化, 日本接着協会誌, 25, No.11, 528 (1989)
- (2) 朝日新聞, 1995 年 1 月 18 日夕刊
- (3) 原賀康介: 接着接合物の環境耐久性評価, 日本接着協会誌, 15, No.12, 568 (1979)
- (4) 宮入祐夫 編: 接着応用技術, 日経技術図書, 515 (1991)