

## &lt; 綜 説 &gt;

(受理：平成7年10月18日)

# 接着・リベット併用による配電盤・制御盤の組立技術 Assembly Technique for Control Panel Enclosure with the Combined Use of Adhesive and Rivets.

原賀 康介<sup>\*</sup>・眼龍 裕司<sup>\*\*</sup>・中島 義信<sup>\*\*\*</sup>・八木 直樹<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kosuke HARAGA, Yuzi GANRYU, Yoshinobu NAKASHIMA and Naoki YAGI

## 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、品種が多く形状もさまざまなため、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、製造工期の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、塵埃、閃光を発生し、3K作業の代表とされ、作業環境の点からも改善が急務である。

このような背景から、配電盤や制御盤のきょう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、



## 原賀 康介

三菱電機(株)先端技術総合研究所 参事 工学博士。

昭和25年長崎県に生まれる。昭和48年京都大学工学部工業化学科卒業。同年三菱電機(株)入社、生産技術研究所、材料デバイス研究所を経て現在に至る。この間、一貫して接着技術特に構造接着の適用技術開発に従事。

趣味：少しのお酒と旅、散策、写真、Mac



## 眼龍 裕司

1952年富山県に生まれる。1978年早稲田大学大学院理工学研究科機械修士課程修了。同年、三菱電機(株)入社。生産技術研究所及び郡山製作所にて、主に加工・組立分野の自動化関連技術の研究、自動化システムの開発・設計に従事。現在、同社制御製作所、製造管理部、生産技術課長



## 中島 義信

三菱電機エンジニアリング(株)長崎事業所 技術計画課課長。

昭和15年長崎県に生まれる。昭和34年長崎県立佐世保工業高校卒業。同年、三菱電機(株)長崎製作所入社。直流回転機、配電盤、電力制御装置、船舶制御システムの設計、制御装置・配電盤組立工場の管理、VA/VE推進に従事。平成6年より現職。

趣味：山歩き、魚釣り、音楽鑑賞



## 八木 直樹

1965年兵庫県に生まれる。

1985年明石工業高等専門学校機械工学科卒業。同年三菱電機(株)生産技術研究所(現生産技術センター)入社。現在に至る。接着治工具の開発に従事。

趣味：野球、ランニング、ドライブ

\* 三菱電機(株) 先端技術総合研究所

尼崎市塚口本町8-1-1 〒661

\*\* 三菱電機(株) 制御製作所

神戸市兵庫区和田崎町1-1-2 〒652

\*\*\* 三菱電機エンジニアリング(株) 長崎事業所

長崎市旭町8-23 〒852

\*\*\*\* 三菱電機(株) 生産技術センター

尼崎市塚口本町8-1-1 〒661

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・実用化した。

以下に、その概要を報告する。

## 2. 接着・リベット併用組立法の適用対象きょう体

今回、接着・リベット併用組立法の適用対象としたきょう体は、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1.6mmから2.3mm、高さ最大2.5m、幅約1m、奥行き約1m、重量100kgから200kg（機器装着後重量250kgから700kg）程度のものである。

すでに接着・リベット併用組立法により実用化したものに、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）（写真1）、発電所向けデジタル制御盤（屋内盤）（以下、DDC盤と記す。）、工業用計算機盤（屋内盤）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きょう体の構造を図1に、底板と側板の連結コー

ナー部の拡大図を図2に示した。コーナー金具は剛性を確保するために用いている。

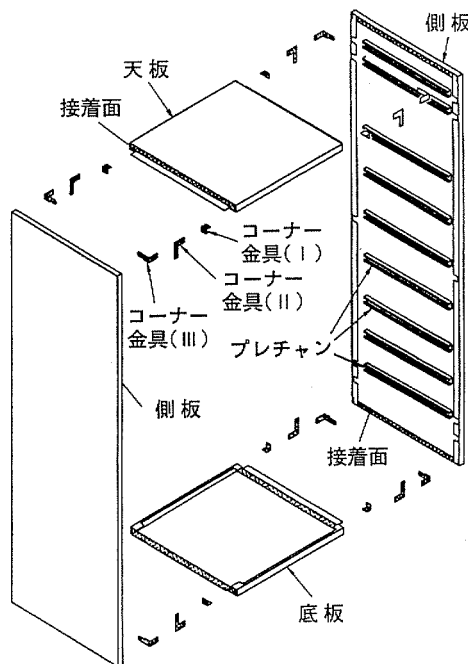


図1 接着・リベット併用組立構造における DDC 盤の主要部品の構成概略図

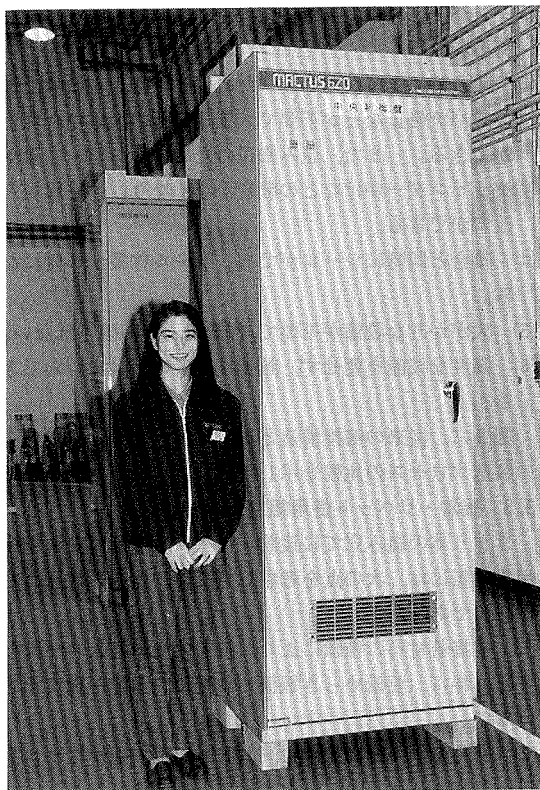


写真1 工業プラント用制御盤

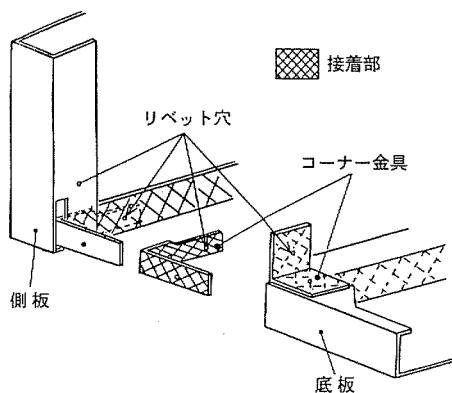


図2 接着・リベット併用組立構造における DDC 盤の底板と側板の連結コーナー部の拡大図

## 3. 接着・リベット併用組立法の概要

### 3.1 接着剤およびリベット

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㈱製）を使用してい

る。この接着剤は、昭和53年に当社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きょう体の組み立てやエレベーター・エスカレーターの補強材接合などにすでに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<sup>1)</sup>。接着剤の性状・物性を表1に示した。特徴は次の通りである。

表1 接着剤「ハードロック M372-20」の性状・物性

種類	2液接触硬化型構造用変性アクリル系接着剤	
主成分(A/B剤共)	アクリルモノマー、エラストマー(ニトリルゴム)、硬化触媒、接着剤層厚調整用ビーズ(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	20,000cps (at 25°C)	(A/B剤共)
含有溶剤	なし	(A/B剤共)
液比重	1.01 (at 20°C)	(A/B剤共)
硬化物物性		
硬度	ショアD55~60(at 25°C、5秒値)	
線膨張率	$1.10 \times 10^{-4} / \text{deg}$	
熱伝導率	$1.03 \times 10^{-3} \text{ Cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{°C}$	
体積固有抵抗	$1.26 \times 10^{10} \Omega \text{cm}$	
誘電率	60 Hz: 6.4、 $10^3 \text{ Hz}: 5.7$	(at 20°C)
誘電正接tanδ	60 Hz: $3.9 \times 10^{-2}$ 、 $10^3 \text{ Hz}: 6.6 \times 10^{-2}$	(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	22 ~ 38 kgf/25mm(at 25°C)	
せん断強度	170 ~ 250 kgf/cm <sup>2</sup>	

作業性の面では、

- (1) 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) 2液の接触により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。
- (3) 常温や冬期の低温時にも、短時間で硬化する。
- (4) 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、

- (1) せん断、はく離、衝撃のいずれにも高い接着強度を示す。
- (2) 優れた耐環境性を有する。
- (3) 焼き付け塗装時の高温下でも、熱劣化しない。

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き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ーのみである。

### 3.2 接着・リベット併用組立法の特徴

接着・リベット併用組立法は、接合強度を基本的に接着接合に期待し、接着接合の弱点をリベット締結により補い、総合的に優れた作業性と高い接合信頼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徴を次に示す。

性能面では、

- (1) 接着により面接合となるため、振動、疲労に強くなる。
- (2) 接合時に高温を要しないため、薄板でも歪みが生じず、寸法精度が向上し、外観も優れる。
- (3) 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。
- (4) 接着剤は、焼き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り解消される。
- (5) 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り解消される。

作業性の面では、

- (1) 接着剤が未硬化状態でも、すぐに次工程に移行できる。
- (2) リベットにより部材の位置決めや姿勢保持が容易である。
- (3) 接合時に歪みが生じないため、歪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、歪み修正のためのハンマー作業やグラインダーがけなどの騒音がなくなり、作業環境の改善ができる。
- (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) 大がかりな設備が不要で、作業場所が制限されない。
- (6) 高度な技能を要せず、熟練技能者の不足に対応できる。

図3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

きょう体の組み立てに接着・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。

- (1) 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。
- (2) 部品の貼り合わせ時に、塗布した接着剤がこすり落とされたり欠き取られたりしない構造であること。
- (3) 接着剤の可使時間内で接合が完了できる簡易な接合構造であること。

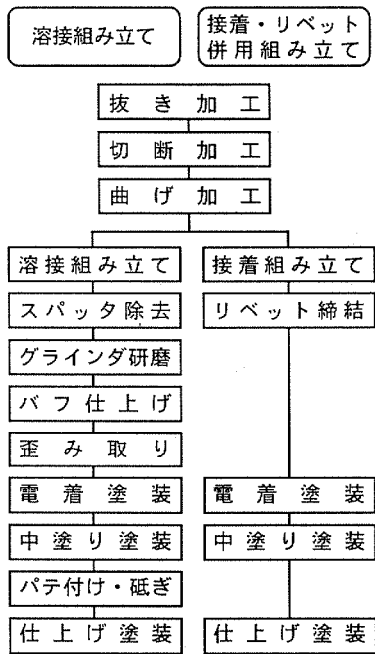


図3 溶接と接着・リベット併用組立法の製造プロセスの比較

- (4) 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。
- (5) 一旦接着すると分解不可能なため、接着前の仮組が重要である。

4. 接着・リベット併用組立きょう体の性能

4.1 耐震性

4.1.1 きょう体の耐震設計

地震対応のため、配電盤や制御盤のきょう体には、十分な耐震性が要求される。地震による破壊は、地震の振動数が盤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こる場合が多く、また、輸送中や据付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、道路事情、盤きょう体の積み替えや積み降ろし状況により異なるが、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。従って、きょう体は耐震性を十分に考慮した設計が必要である。

表2には、当社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には、JEAG-3605の設計レベル2クラスI及びJIS-Z0200の振動試験条件を示した。

4.1.2 きょう体の振動試験

図1に示したDDC盤きょう体にダミーウエイトを載せ、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833ガル(0.85G)の水平方向の揺れが観測された<sup>2)</sup>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4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・リベット併用組立きょう体の共振周波数は、左右方向が8.8Hz、前後方向が9.5Hz、上下方向が55Hz以上で、溶接構造きょう体の共振点を上回っており、溶接構造きょう体より剛性に優れていることが確認された。ま

表2 代表的な耐震設計規格

規番号	規名称	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	日本電子工業会
JIS-Z0200	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-Z0200の振動試験条件

	JEAG-3605 設計レベル2クラスI		JIS-Z0200
	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

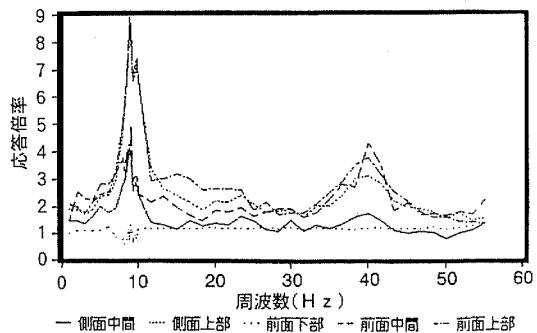


図4 接着・リベット併用組立きょう体の掃引試験における左右方向の加振周波数と各加速度計の応答倍率の測定結果

表4 接着・リベット併用きょう体の共振周波数 (溶接きょう体との比較)

		接着・リベット併用きょう体	溶接きょう体
共振周波数	加振方向		
	左右	8.8 Hz	5.0 Hz
	前後	9.5 Hz	9.3 Hz
	上下	55 Hz以上	55 Hz以上

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。

以上の結果より、接着・リベット併用組立きょう体は、高い剛性と優れた耐震強度を有していることが確認された。

#### 4.2 接合強度

図5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6に示す形状・寸法の単純重ね引張りせん断試験片により行った。この結果より、重ね合わせ長さ $\ell$ を50mmで接着した場合は、ビード長さ25mmのアーク溶接を4ヶ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わかる。また、リベット自体の強度は接着に比べて非常に低く、そのため接着・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わかる。

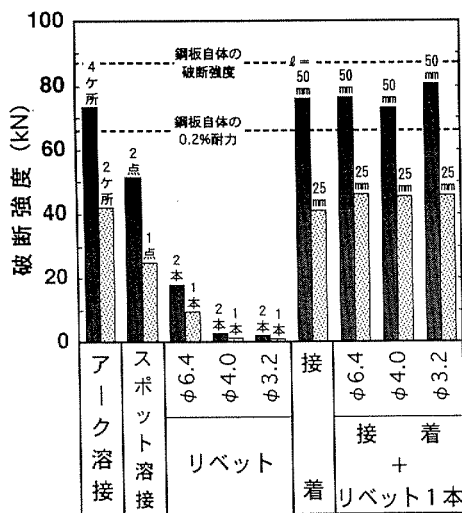
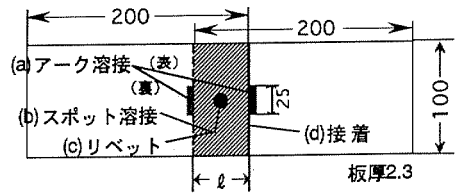
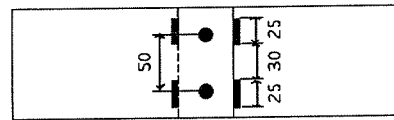


図5 アーク溶接、スポット溶接、リベット、接着、接着・リベット併用の接合強度の比較 (厚さ2.3mmの鋼板同士)



アーク溶接2ヶ所(a)( $\ell=25$ )、スポット溶接1点(b)( $\ell=25$ )、リベット1本(c)( $\ell=25$ )、接着(d)( $\ell=25, 50$ )、接着・リベット1本併用(d+c)( $\ell=25, 50$ )の場合



アーク溶接4ヶ所( $\ell=25$ )、スポット溶接2点( $\ell=25$ )、リベット2本( $\ell=25$ )の場合

図6 試験片の形状・寸法 (単位: mm)

#### 4.3 接着耐久性

この接着剤は、先にも述べたように、すでに15年以上のフィールド実績を有しており、高い信頼性が立証されているものである<sup>1)</sup>。

図7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もとに、アレニウス法に従い推定したものである<sup>3)</sup>。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有すると推定できる。なお、実際にきょう体組み立

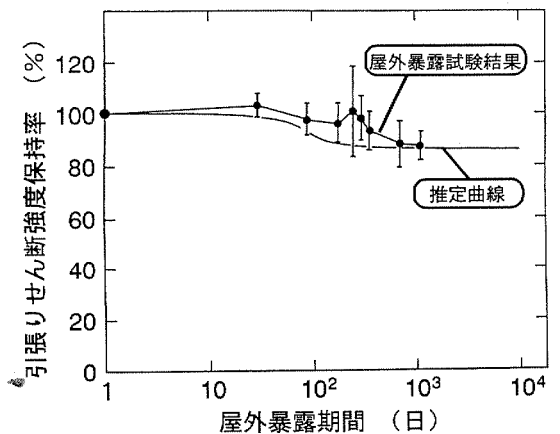


図7 屋外暴露における接着強度の経時変化の推定曲線と屋外暴露試験結果の比較

てに用いている接着剤「ハードロック M372」は、図7の実験以後に完成したもので、さらに優れた耐久性を有している。

図8には、「ハードロック M372」により接着した各種の材料の屋外暴露試験の結果を示した。試験片には、幅25mm、接着部の長さ150mmのはく離試験片を用いた。この結果より、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わかる。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り変化し、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<sup>4)</sup>。例えば、試験片の幅が25mmである図8の結果を幅50mm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。きょう体の接着部の寸法は25mmより大きく設計してあるので、図8の屋外暴露試験の結果よりさらに耐久性に優れると考えられる。

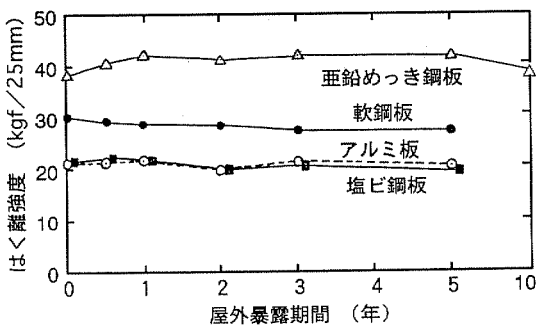


図8 「ハードロック M372」で接着した各種の材料の屋外暴露試験の結果

## 5. むすび

配電盤や制御盤のきょう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通りである。

- (1) 熟練技能が不要で、品質の安定・向上が図れる。
- (2) きょう体の組み立て及び塗装工程で省工程化が図れる。
- (3) 溶接電力が不要となり、省エネルギー化が図れる。
- (4) 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り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。

当社における実用化をひとつの契機として、きょう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(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(12), 568 (1979)
- 4) 宮入裕夫編, 接着応用技術, P.515, 日経技術図書 (1991)