

## 〈論文〉

(受理：平成元年1月20日)

## リベット併用による接着継手の強度上昇に 及ぼす接合部の形状、温度の影響

原賀 康介\*, 西川 哲也\*

### 要 旨

接着継手にリベットを併用することにより継手の強度が向上する条件を求めることを目的として、測定温度、ラップ長さ、リベット打点数、リベット打点位置、接着強度とリベット強度の比などの影響について調べた。その結果を要約すると次の通りである。

- (1) 測定温度の影響は非常に大きく、温度の上昇に伴いリベット併用による強度の上昇は大きくなる。これは接着剤の硬さと関連しており、接着剤が柔らかい場合に強度上昇は大きくなるものと考えられる。
- (2) ラップ長さが短い場合やリベット数が多くなるほど強度上昇は大きくなる傾向にある。
- (3) リベットの打点位置はラップ端部を避けてできるだけラップ中心部に打つのが強度の上昇に効果的である。
- (4) 接着のみの強度に対するリベットのみの強度比 (R/B) が大きいほどリベット併用による強度の上昇率は大きくなる。R/Bが1以上の場合にはすべての条件で強度上昇が見られ、約0.3以下では強度上昇は全く見られない。R/Bが0.3~1の範囲では強度が上昇したり低下したりする。
- (5) 本研究において、強度上昇率が最も大きいものは2.2倍にも達しており、強度の上昇量が最も大きいものでは745kgfも増加した。一方、リベット併用により接着のみにくらべて最も強度低下が大きいものは13% (300kgf) の低下がみられた。

### 1. 緒 言

接着剤とネジやボルト、リベット、スポット溶接などを併用する方法は、接着作業の合理化、継手の剛性向上、耐疲労特性・耐クリープ特性の向上、応力下での耐環境性の向上などに効果的であることが既に報告されている<sup>1~4)</sup>。ところが併用継手の最適条件についての報告はほとんど見当たらない。そこで、本研究では、接着継手にリベットを併用する場合に継手の強度が向上する条件を求めることを目的として、測定温度、ラップ長さ、リベット打点数、リベット打点位置、接着強度とリベット強度の比などの影響について調べた。

### 2. 実 験

#### 2.1 試験片の種類と材料

試験片としては、幅30mmの単純ラップ引張りせん断試験片を用いた。被着材は厚さ2.0mmのステンレス鋼板SUS304を、接着剤は二液主剤型変性アクリル系接着剤(電気化学工業(株)製)を、リベットはステンレススチールリベットSSD/54/BS(POPリベットファスナー(株)製)を用いた。図1にリベットの形状・寸法および締結方法を示した。

図2には、実験に用いた試験片の種類と形状・寸法を示した。図中の○印はリベットの打点位置を示している。ラップ長さLの中心部にリベットを1点、2点、3点打ったもの(Type C1, W2, W3)については、ラップ長さLを15mmから90mmまで15mmおきに変化させた。ラップ長さLが30mmのものについては、リベットを試験片の長さ方向に2点、3点打ったもの(Type L2,

\* 三菱電機(株)材料研究所  
 尼崎市塚口本町8-1-1 〒661

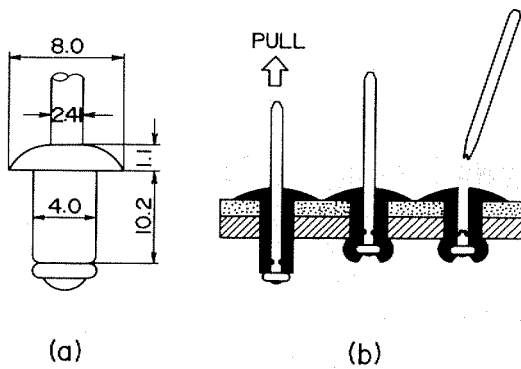


Fig. 1 Shape and dimension of rivet (a) and the fastening method (b).

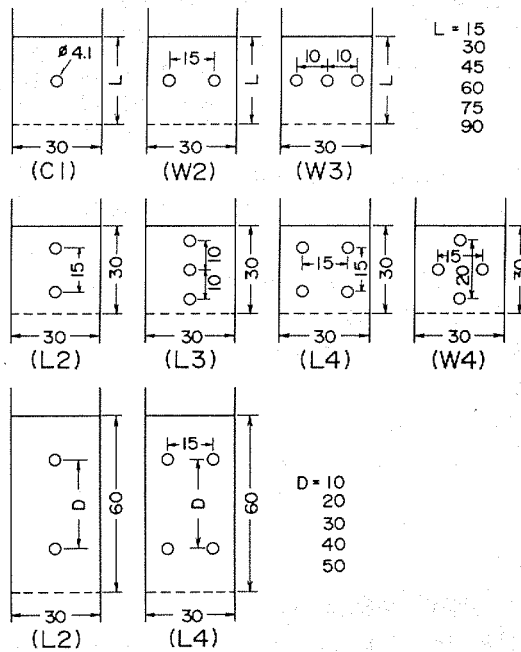


Fig. 2 Shape and dimension of lap shear specimens. (○: Position of rivets)

L3) および 4 点打ったものも作製した。4 点打ちについては 2 種類の打ち片 (Type L4, W4) を行った。また、ラップ長さ L が 60mm のものについては、2 点打ち (Type L2), 4 点打ち (Type L4) についてリベット間の距離 D を 10mm から 50mm まで 10mm おきに变化させたものも作製した。

それぞれの形状の試験片について、接着とリベットの併用、リベットのみ、接着のみの 3 種類を作製した。接

着のみの試験片では図中のリベット用の穴はない。

## 2.2 試験片の作製方法

被着材をアセトン中で超音波洗浄した後、被着材の上に接着剤の二液を同量塗布して混合し、貼り合わせた後すぐにリベットを打ち、室温で約 10 日間硬化させて試験片とした。

## 2.3 評価方法

引張り速度 5 mm/min で引張りせん断試験を行い、ラップ端部の接着部が破壊を始める強度を求めた。測定は 0℃, 25℃, 50℃, 80℃ の 4 条件の雰囲気下で行った。チャック間距離はいずれの試験片でもラップ端部からチャックまでの距離が 50mm となるようにセットした。サンプル数 n は 5 ケとした。なお、約 2000kgf で被着材のステンレス鋼板が降伏点 (33kgf/mm<sup>2</sup>) に達するため、0℃ ではラップ長 30mm 以下、25℃, 50℃ では 60mm 以下、80℃ では 90mm 以下の試験片について試験を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 荷重—伸び曲線

図 3 に、ラップ長さ 30mm の Type C1, W2, W3 の 3 種類の試験片の 80℃ 雰囲気における荷重—伸び曲線を示した。図中、破線は接着のみの継手、実線は接着・リベット併用継手、1 点鎖線はリベットのみ継手の場合である。図より、接着のみの継手およびリベットのみ継手においては、破断点におけるピークは 1 つしか見られないが、接着・リベット併用継手の場合には、図中の A 点と R 点の 2 つのピークがみられる。この A 点のピークはラップ端部の接着部の破壊によるものであり、R 点のピークはリベットの破壊によるものである。以下、本

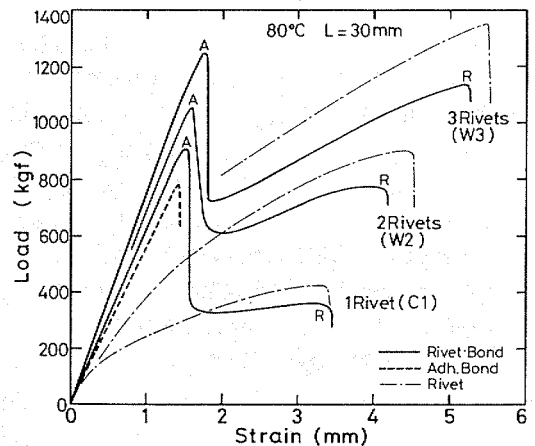


Fig. 3 Applied load-strain curves of each joint. (Lap length : 30mm. Temperature : 80°C)

実験ではラップ端部の接着部が破壊する A 点の強度について論じることとする。なお、接着部の破壊状態は本研究で用いたすべての試験片とも完全な凝集破壊であり、リベット部はすべてリベット自体の破壊で穴の変形は生じていない。

接着・リベット併用継手における R 点の破壊はリベットの破壊によるものであるが、R 点の破壊荷重がリベットのみの場合より低いのは継手の曲がり方の違いによるものと考えられる。リベットのみ継手では引張り荷重が加わると被着材はリベットを支点として即ち  $L/2$  の部分でのみ曲がる。一方、接着・リベット併用継手の場合は、接着部が破壊するまではラップ端部で被着材が曲がり、接着部が破壊した後にリベットを支点とした曲がりが生じる。即ちラップ端部とリベット部の 2箇所曲がりが生じ、リベット部での曲がり方はリベットのみ継手より小さくなっている。このリベットはせん断破壊強度より引張り破壊強度の方が大きいので、曲がりが大きくリベットに引張り方向の力がかかりやすいリベットのみ継手の方が高い強度を示したものと考えられる。

### 3.2 測定温度の影響

図 4 に、ラップ長さ 15mm, 30mm, 60mm の Type W2 の試験片における測定温度と引張りせん断強度の関係を

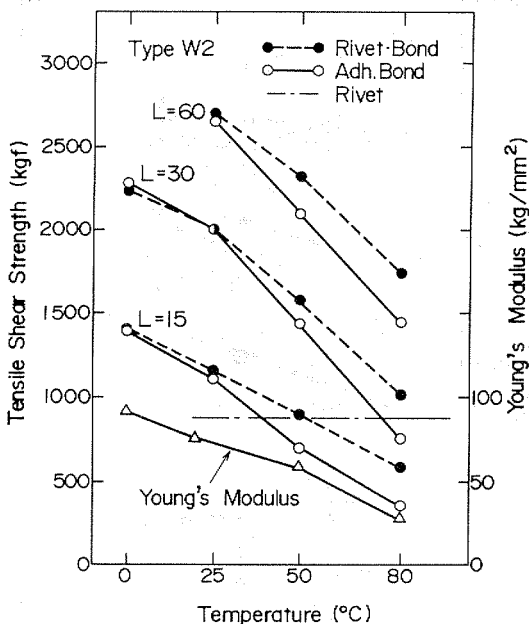


Fig. 4 Effect of temperature on tensile shear strength for each joint.

(Type of specimen : W2. Lap length : 15mm, 30mm, 60mm.)

示した。破線が接着・リベット併用継手、実線が接着のみの継手、1点鎖線はリベットのみ強度である。この結果より、いずれのラップ長さにおいても、測定温度が高いほどリベット併用による強度の上昇は大きい低温においてはほとんど強度上昇しておらず、測定温度の影響は非常に大きいことがわかる。

ここで、測定温度の上昇に伴って変化する特性として、接着強度の低下と接着剤のヤング率の低下が考えられる。まず、接着強度が低くなるとリベット併用による強度上昇が起こりやすくなるかについてみると、例えば、ラップ長15mmの0℃における接着強度(1391kgf)はラップ長60mmの50℃における接着強度(2100kgf)よりはるかに低いが、リベット併用により前者ではほとんど強度上昇は見られない(21kgf上昇)が後者では明らかな強度上昇(226kgf上昇)が見られる。この点から、接着強度の大小とリベット併用による強度上昇とはあまり関係がないと考えられる。一方接着剤のヤング率との関係についてみると、図4に接着剤のヤング率の温度依存性を示したが、温度の上昇に伴いヤング率はほぼリニアに低下しており、高温になるにつれてリベット併用による強度上昇が徐々に大きくなっていくのに関連しているように考えられる。接着のみの場合、接着剤が柔らかい程2枚の被着材の相対的なズレ量は大きくなる。図3に見られるように、リベットを併用することによりこのズレは小さくなるため、接着・リベット併用継手では接着のみの継手が破壊するのと同じ荷重を加えても破壊しなくなる。このようなリベット併用によるズレの減少効果は接着剤が柔らかい程、即ち測定温度が高い程大きくなると考えられる。この点より、接着剤が柔らかい場合にリベット併用による強度の上昇は大きくなるものと考えられる。

### 3.3 ラップ長さの影響

図5に、Type W3の試験片について25℃, 50℃, 80℃で測定したラップ長さLと引張りせん断強度の関係を示した。図中、破線が接着・リベット併用継手、実線が接着のみの継手、1点鎖線はリベットのみ強度である。この結果より、いずれの温度においてもラップ長さが短い場合にリベット併用による強度の上昇は大きくなる傾向が見られ、ラップ長さの影響はあると言える。なお、ここでもやはり測定温度が低いほど強度の上昇は小さくなっている。

ラップ長さが短い場合にリベット併用による強度の上昇は大きくなり、ラップ長さが長い場合にリベット併用による強度の上昇が小さくなる理由としては次のように考えられる。接着のみの場合、ラップ長さが長くなる程ラップ端部の応力は大きくなりラップ中心部の応力は小

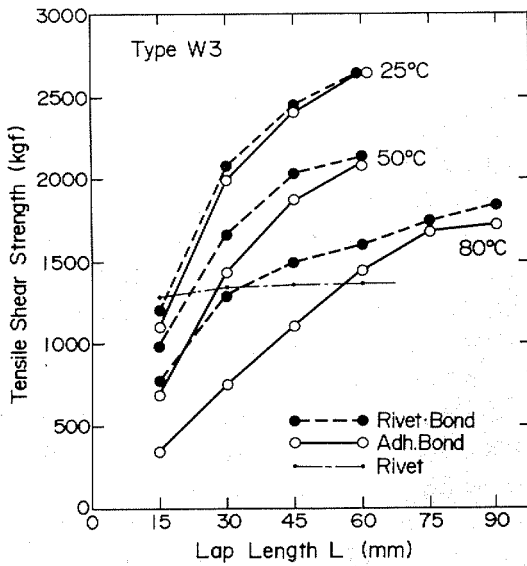


Fig. 5 Effect of lap length L on tensile shear strength for each joint.  
(Type of specimen : W3. Temperature : 25°C, 50°C, 80°C.)

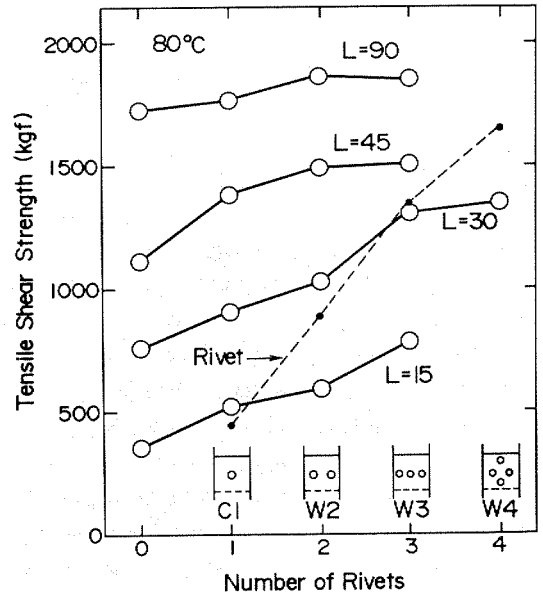


Fig. 6 Effect of number of rivets on tensile shear strength for each joint.  
(Temperature : 80°C)

さくなる。このため、ラップ長さが長い程 2 枚の被着材の L/2 点の相対的なズレ量は小さくなる。ラップ長さの中心部にリベットを併用することによりラップ端部の接着部の破壊強度が上昇するのは、リベットがこのズレを押さえるためと考えられるが、ラップ長さが長い場合は接着のみの場合でもラップ中心部でのズレ量は元々小さいためリベットを併用してもラップ端部の接着部の破壊強度の上昇効果は小さいものと考えられる。

### 3.4 リベット打点数の影響

図 6 にラップ長さ 15mm, 30mm, 45mm, 90mm 接着リベット併用継手におけるリベット打点数と 80°C 強度の関係を示した。図中にリベットのみ強度も破線で示したが、リベット強度はリベットの数に比例している。ラップ長さによるリベット強度の変化はない。図より、リベット数が多くなるほどリベット併用による強度の上昇は大きくなる傾向が見られ、リベット打点数の影響はあると言える。なお、ここでもやはりラップ長さが長いほど強度の上昇は小さくなっている。リベット打点数の増加によるラップ端部の接着部の破壊強度の上昇は、リベットの締結強度が高くなるため接着部のズレを押さえる効果が大きくなり継手の剛性が高くなり図 3 に見られるように荷重-伸び曲線の傾きが大きくなるためと考えられる。

### 3.5 リベット打点位置の影響

図 7 は、ラップ長さ 30mm の接着・リベット併用継手

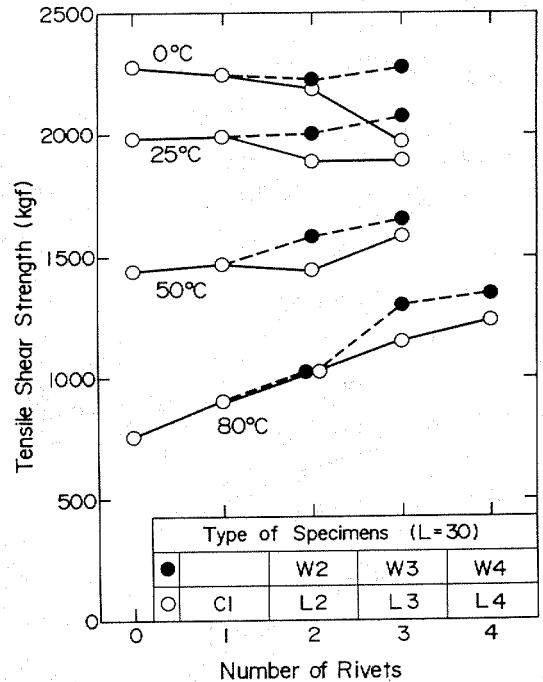


Fig. 7 Effect of rivet position on tensile shear strength.  
(Lap length : 30mm)

において、リベットの打点位置を変えた場合の引張りせん断強度の比較を各温度について示したものである。図より、いずれの温度においても、リベット打点数が同じでも打点位置が異なると接着部の破壊強度は変化することがわかる。リベット2点打ち、3点打ちの場合は、リベットをラップ部の長さ方向に配列した場合 (Type L2, L3) よりもラップ長さの中心に幅方向に配列した場合 (Type W2, W3) の方がリベット併用による強度上昇は大きくなる傾向がある。リベット4点打ちの場合は、ラップ長さの端部より中心部に多く打った場合 (Type W4) の方が強度上昇は大きくなっている。さらに、温度が低くなると、リベットをラップ部の長さ方向に配列した場合 (Type L2, L3) には接着のみの強度よりもむしろ強度が低下してしまうこともわかる。なお、リベットのみ継手の強度はリベットの打点位置を変えてもほとんど変化せず図6に示した強度が得られている。

以上の結果より、リベットの打点位置はラップ部の長さ方向の端部を避けてできるだけラップ中心部に打つのが良いと考えられる。そこで、次にラップ部の長さ方向でのリベット打点位置の影響を調べた。その結果を図8に示す。図8は、ラップ長さ60mmの試験片において、ラップ部の長さ方向にリベットを2点1例 (Type L2), 2点2列 (Type L4) 打つ場合のラップ長さ方向のリベット間距離  $D$  を変化させて、接着・リベット併用継手、リベットのみ継手、接着のみの継手の引張りせん

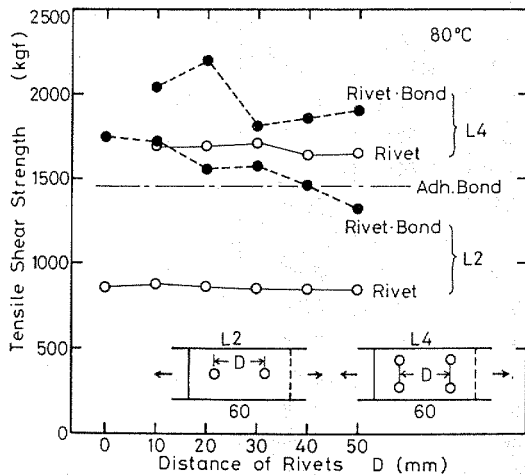


Fig. 8 Effect of distance of rivets  $D$  on tensile shear strength for each joint.  
(Type of specimen : L2, L4. Temperature : 80°C.)

断強度を比較したものである。測定温度は80°Cである。この結果より、まず2点1列打ち (Type L2) について見ると、リベットのみ継手ではリベット間の距離  $D$  に関係なく強度は一定であるが、接着・リベット併用継手ではリベット間の距離  $D$  が長くなるほど、即ち、リベットがラップ端部に近づくほど強度は低下しており、リベットがラップ端に非常に近い場合 ( $D=50\text{mm}$ ) には接着のみの強度よりも低下してしまうことがわかる。2点2列打ち (Type L4) においてもやはりリベット間距離  $D$  が長いと強度は低くなる傾向が見られる。このような現象がおこる理由については現在のところはっきりしていない。

### 3.6 接着強度とリベット強度の影響

図9は、本研究で用いた全68条件の試験片について、接着のみの強度に対するリベットのみ強度比 ( $R/B$ ) とリベット併用による強度の上昇率 ( $RB/B$ ) の関係をプロットしたものである。図中の各点は  $n=5$  の平均値である。この結果より、 $R/B$  が大きいほどリベット併用による強度の上昇率は大きくなる。特に、 $R/B$  が1以上の場合にはすべての条件でリベット併用による強度の上昇が見られ、 $R/B$  が約0.3以下ではすべての条件でリベット併用による強度の上昇効果は全く見られず接着のみの強度と同じである。 $R/B$  が0.3~1の範囲ではリベット併用により強度が上昇したり低下したりしている。この範囲における強度上昇あるいは強度低下は3.2~3.5に示した要因によるものと考えられる。なお、 $R/B$  の  $R$  はリベットのみ継手の破壊強度

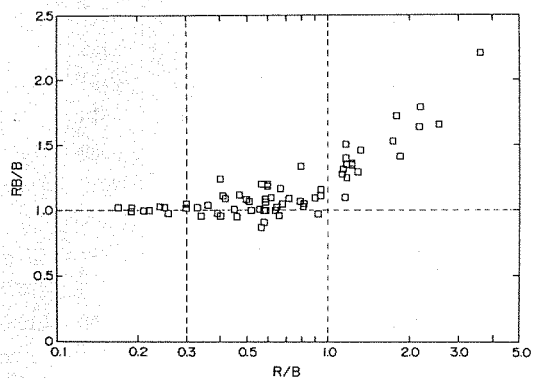


Fig. 9 Relation between  $R/B$  and  $RB/B$ .

$R$  : Tensile shear strength of a rivet fastened joint.

$B$  : Tensile shear strength of an adhesive bonded joint.

$RB$  : Tensile shear strength of a rivet-bonded joint.

を意味しているが、図3に示したように、接着・リベット併用継手ではラップ端部の接着部が破壊する時点においてはリベットはまだ破壊していないため、リベットのみ継手の破壊強度Rと接着のみの継手の強度Bを比較するよりむしろ、図3に見られるようにリベット継手の破壊強度が増加すると強度に比例してリベット継手の剛性が向上するため、Rの増加は継手の剛性が向上する効果と考えるのが適当であろう。

3.7 リベット併用による接着強度向上の効果

3.2~3.6の結果より、測定温度が高く、ラップ長さが短く、リベット数が多く、リベットはラップ中心部近くに打ち、接着のみの強度よりリベットのみ強度が大きいほどリベット併用による強度の向上が大きいことがわかった。

表1には、本研究で用いた全68条件の試験片の中で、リベット併用による強度の上昇率(RB/B)が大きかったものと小さかったものそれぞれ10種類を示した。この結果より、強度上昇率が大きいものは上記の条件を満たしており、強度上昇率が小さいものは上記の条件を満たしていないことがわかる。おな、強度上昇率が最も大き

いものは2.2倍(354kgf→777kgf)にも達しており、強度の上昇量が最も大きいものでは745kgfも増加している。一方、リベット併用により接着のみにくらべて最も強度低下が大きいものは13%(300kgf)の低下がみられた。

4. 結 言

接着・リベット併用継手において接着部の破壊強度が向上する条件を求めることを目的として、測定温度、ラップ長さ、リベット打点数、リベット打点位置、接着強度とリベット強度の比などの影響について調べた。その結果を要約すると次の通りである。

- (1) 測定温度の影響は非常に大きく、温度が高いほど強度上昇は大きい。これは接着剤の硬さと関連しており、接着剤が柔らかい場合に強度上昇は大きくなるものと考えられる。
- (2) ラップ長さが短い場合に強度上昇は大きくなる傾向にある。
- (3) リベット数が多くなるほど強度上昇は大きくなる傾向にある。

Table 1 Conditions and properties of 10 superior kinds of joints and 10 inferior kinds of joints

Order	Specimen Type	L (mm)	T (°C)	TSS (kgf)			R/B	RB/B	RB-B	
				RB	B	R			kgf	kgf/cm <sup>2</sup>
1st	W3	15	80	777	354	1286	3.63	2.20	423	94
2nd	W4	30	80	1348	755	1650	2.19	1.79	593	66
3rd	W3	30	80	1298	755	1350	1.79	1.72	543	60
4th	W2	15	80	589	354	902	2.55	1.66	235	52
5th	L 4	30	80	1241	755	1640	2.17	1.64	486	54
6th	L 3	30	80	1153	755	1303	1.73	1.53	398	44
7th	L 4(D=20)	60	80	2195	1450	1690	1.17	1.51	745	41
8th	C 1	15	80	516	354	469	1.32	1.46	162	36
9th	W3	15	50	989	700	1286	1.84	1.41	289	64
10th	L 4(D=10)	60	80	2035	1450	1700	1.17	1.40	585	33
59th	C 1	30	0	2247	2278	430	0.19	0.99	- 31	- 3
60th	W2	30	0	2230	2278	890	0.39	0.98	- 48	- 5
61st	C 1	75	80	1658	1689	440	0.26	0.98	- 31	- 1
62nd	W3	15	0	1351	1391	1286	0.92	0.97	- 40	- 9
63rd	L 2	30	0	2194	2278	918	0.40	0.96	- 84	- 9
64th	C 1	15	0	1332	1391	469	0.34	0.96	- 59	-13
65th	L 3	30	25	1898	1988	1303	0.66	0.96	- 90	-10
66th	L 2	30	25	1895	1988	918	0.46	0.95	- 93	-10
67th	L 2(D=50)	60	80	1315	1450	838	0.58	0.91	-135	- 8
68th	L 3	30	0	1978	2278	1303	0.57	0.87	-300	-33

L: Lap Length, T: Temperature, TSS: Tensile Shear Strength, RB: TSS of Rivet · Bonded Joint, B: TSS of Adhesive Bonded Joint, R: TSS of Rivet fastened Joint

- (4) リベットの打点位置はラップ部の長さ方向の端部を避けてできるだけラップ中心部に打つのが良い。
- (5) 接着のみの強度に対するリベットのみの強度比 (R/B) が大きいほどリベット併用による強度の上昇率は大きくなる。R/B が 1 以上の場合にはすべての条件で強度上昇が見られ、約 0.3 以下では強度上昇は全く見られない。R/B が 0.3~1 の範囲では強度が上昇したり低下したりする。
- (6) 本研究において、強度上昇率が最も大きいものは 2.2 倍 (354kgf → 777kgf) にも達しており、強度の上昇量が最も大きいものでは 745kgf も増加した。リベット併用により接着のみにくらべて最も強度低下が大き

いものは 13% (300kgf) の低下がみられた。

本研究は、昭和 63 年 6 月 23 日、第 26 回接着研究発表会において講演発表したものである。

### 文 献

- 1) 原賀康介, 日本接着協会誌, 22, (3), 164(1986).
- 2) 原賀康介, 児玉峯一, 溶接学会誌, 56, (3), 148(1987).
- 3) 山田 祥, 原賀康介, 齋藤 貴, 日本接着協会誌, 19, (11), 491(1983).
- 4) 原賀康介, 児玉峯一, 日本接着協会誌, 21, (1), 4(1985).

### Effects of some factors on the increase in strength by combining adhesive bonding with rivet fastening

Kousuke HARAGA and Tetsuya NISHIKAWA

Materials and Electronic Devices Laboratory,  
Mitsubishi Electric Corp.

(1-1, Tsukaguchi-Honmachi, 8-Chome, Amagasaki, Hyogo, 661, Japan)

### Abstract

The effects of some factors on the increase in strength obtained by combining adhesive bonding with rivet fastening are investigated. Factors examined were the measuring temperature, the lap length, the number of rivets, the position of rivets and the ratio (R/B) of strength of rivet fastened joints (R) to that of adhesive bonded joints (B).

The results are as follows :

- (1) The increase in strength is remarkably affected by the difference of the measuring temperatures. As the measuring temperature rises, the increase in strength gets larger. It seems that the increase in strength depends on Young's modulus of the adhesive, and that it is larger in the case of lower modulus.
- (2) The increase in strength has a tendency to get larger in the case of the lap length is shorter or the number of rivets is larger.
- (3) Fastening the rivets near the center of the lap area is more effective on the increase in strength than fastening them near the end of it.
- (4) When R/B is large, the increase in strength gets larger. When R/B is above 1, the strength of rivet-adhesive combined joints is larger than that of adhesive bonded joints. However, when R/B is less than about 0.3, the increase in strength is not take place. When R/B is among 0.3~1, sometimes the strength increase or decrease.
- (5) In this study, the maximum value of the ratio (RB/B) of the strength of the rivet-adhesive combined joints (RB) to that of the adhesive bonded joints (B) was 2.2 and the maximum value of the increase in strength was 745 kgf. In the least effective case, the strength of the combined joint decreased 13% (300 kgf) of that of the adhesive bonded joints.

(Received: January 20, 1989)