

アルミ／異種材接合の強度特性

原賀 康介 (三菱電機(株)) 金坂 敏行 (いすゞ自動車(株)) 馬淵 晃 (富士重工業(株)) 船崎 敦 (財)日本自動車研究所

高山 直樹 (日産車体(株)) 山本 三幸 (住友金属工業(株)) 高橋伸一郎 (株)神戸製鋼所

Strength Properties of Aluminum/Steel Joints.

Kosuke Haraga (Mitsubishi Electric Corp.) Toshiyuki Kanesaka (Isuzu Motors Ltd.) Akira Mabuchi (Fuji Heavy Industries) Atsushi Funasaki (Japan Automobile Research Institute, Inc.)

Naoki Takayama (Nissan Shatai Co.,Ltd.) Miyuki Yamamoto (Sumitomo Metal Industries Ltd.) Shinichiro Takahashi (Kobe Steel Ltd.)

Key Words : Adhesive Material, Bonding, Welding, Rivet, Mechanical-Clinching, Weldbonding

1. はじめに

現在の自動車ボデー用材料は鋼板が主体であり、その接合組立には主としてスポット溶接が用いられている。近年、燃費改善のために軽量化のニーズが高まっており、軽量化の有効な手段の一つとしてアルミ化が考えられている。しかし、アルミ／アルミ又はアルミ／鋼の接合組立に関しては現行のスポット溶接では困難な面が多く、これらの材料の新しい接合方法の検討が重要な課題となっている。

我々は、まず、アルミ／アルミ、アルミ／鋼の組合せに適用できる接合方法を文献調査(文献1)~(7)他)と市場調査(文献8)~(9)他)により選定した。これらの文献には、個々の接合方法や2、3の接合方法の比較として、各種材質での強度や、接合プロセスが特性に及ぼす影響、適用例、コストなどが示されているが、我々が選定した接合方法について強度特性を横並びに比較検討した文献はほとんど見あたらなかった。そこで、今回選定した接合方法の強度特性を横並びで比較検討することとした。

2. 接合方法の選定

アルミ／アルミ又はアルミ／鋼の接合方法として次のようなものが考えられる。

- (1) 接着
- (2) リベット (マンドレル引き抜きタイプリベット、打ち

込みリベット、抵抗かしめ、など)

- (3) メカニカルクリンチング
- (4) ねじ (ボルト・ナット、セルフタップねじ、など)
- (5) 接着とリベットの併用
- (6) 接着とメカニカルクリンチングの併用
- (7) 接着とねじの併用

一方、自動車ボデーの組み立てに対しては次のような点も考慮しなければならない。

- (a) 連続作業ができること。
- (b) 自動化に適すること。
- (c) コストが低いこと。
- (d) 接合特性に優れること。

そこで、(1)から(7)の各接合方法について、(a)から(d)の要求に対する適性を定性的に比較し、その結果を表1に示した。表1より、自動車ボデー組立におけるアルミ／アルミ又はアルミ／鋼の接合方法の候補として、次の方法を選定し強度特性について検討することとした。

- (1) HENROBリベット
- (2) TOXかしめ
- (3) 接着+HENROBリベット (HENROBボンド)
- (4) 接着+TOXかしめ (TOXボンド)

図1に、HENROBリベットの接合プロセスの概略を、図2に、TOXかしめの接合プロセスの概略を示した。

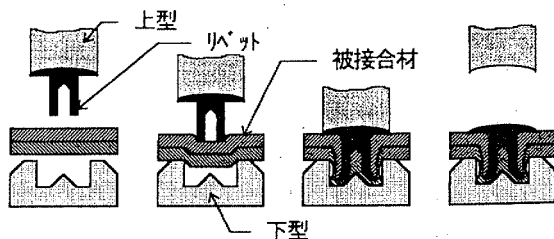


図1 HENROBリベットの接合プロセスの概略

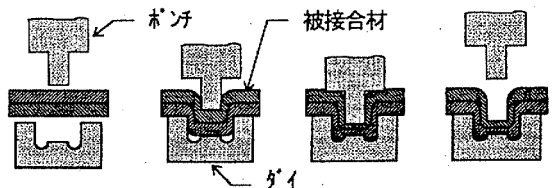


図2 TOXかしめの接合プロセスの概略

表1 各種接合法の長所、短所の定性的比較

接合法	要求条件			
	連続作業	自動化	コスト	接合強度
(1)接着	×硬化待	×仮固定	△	○
(2)リベット				
POPリベット	△	△	△	△
HENROBリベット	○	○	△	○
抵抗かしめ	△	△	△	○
(3)メカニカルクリンチング				
TOXかしめ	○	○	○	△
(4)ねじ				
ボルト・ナット	△	△	△	○
セルフタップねじ	○	○	△	△
(5)接着+リベット				
接着+POPリベット	△	△	△	○
接着+HENROBリベット	○	○	△	○
接着+抵抗かしめ	△	△	△	○
(6)接着+メカニカルクリンチング				
接着+TOXかしめ	○	○	△	○
(7)接着+ねじ				
接着+ボルト・ナット	△	△	△	○
接着+セルフタップねじ	○	○	△	○

3. アルミ及び異種材接合の強度特性比較実験

3. 1. 比較した接合法の種類

(1) HENROBリベット

・リベット径：φ5，鉄製

(2) TOXかしめ

・ダイ径：φ8(1.6t用)、φ6(0.8t用)

(3) HENROBボンド

(4) TOXボンド

(5) スポット溶接

(6) 接着+スポット溶接(ウェルドボンド)

(7) 接着

・接着剤：E-6208(サンスター技研(株))

(1液エポキシ系、アルミ用)

・アセトン脱脂

・膜厚調整なし

・硬化条件：170℃，20分保持

アルミ/アルミ及びアルミ/鋼に適した接合法として上記(1)から(4)の4種類を比較した。また、アルミ/アルミ及びレファレンスとしての鋼/鋼については上記(5)(6)のスポット溶接、ウェルドボンドも試験を行った。なお、接着との併用接合における併用効果を調べるために、上記(7)の接着のみの試験も行った。

3. 2. 評価試験項目と条件

(1) 単純ラップ引張りせん断試験

ラップ部 : 25W×25L
 被接合材料寸法 : 25W×112.5L
 引張り速度 : 5 mm/min
 測定温度 : 室温

(2) 十字引張り試験

ラップ部 : 25W×25L
 被接合材料寸法 : 25W×112.5L
 引張り速度 : 5 mm/min
 測定温度 : 室温

測定時の試験片の固定はラップ端から各5 mmの所からとした。

(3) 疲労試験(引張りせん断)

ラップ部 : 25W×25L
 被接合材料寸法 : 25W×112.5L
 周波数 : 20Hz
 最小最大荷重比 : 0.1
 測定温度 : 室温

なお、(1)(2)(3)とも、HENROBリベット、TOXかしめ、スポット溶接はラップ部の中央に1ヶ所行い、接着はラップ部の全面とした。各接合条件はメーカー推奨の最適条件にて行った。

3. 3. 被接合材料の種類と組み合わせ

- (1) アルミ 1.6t/アルミ 1.6t (A5182-0 酸洗)
- (2) アルミ 0.8t/アルミ 0.8t (A5182-0 酸洗)
- (3) アルミ 1.6t/軟鋼板(SPCC) 1.6t
- (4) アルミ 0.8t/軟鋼板(SPCC) 0.8t
- (5) 軟鋼板 1.6t/軟鋼板 1.6t
- (6) 軟鋼板 0.8t/軟鋼板 0.8t

以降、それぞれ1.6t Al/Al、0.8t Al/Al、1.6t Al/鋼、0.8t Al/鋼、1.6t 鋼/鋼、0.8t 鋼/鋼と示す。

なお、Al/鋼のHENROBリベットはAl側から打ち込み、TOXかしめは鋼板側から打ち込んだ。

4. 試験結果

4. 1. 静的強度

4. 1. 1. 引張りせん断強度

図3に、引張りせん断試験の結果を示した。図3の棒グラフは最大荷重を示したものであるが、HENROBボンド、TOXボンド、ウェルドボンドの各併用接合試験片では最初にラップ端部の接着部が破壊し、その後ラップ中央部のHENROBリベット、TOXかしめ、スポット溶接部が破壊する。最大荷重はラップ端部の接着部の破壊時に現れる。併用接合におけるHENROBリベット、TOXかしめ、スポット溶接部の破壊荷重は図中に◇印で示した。

図3の結果より次のことがわかる。

(1) 板厚の影響：A1/A1、A1/鋼、鋼/鋼のいずれの組合せにおいても、板厚の影響が非常に大きく、板厚が厚い方がせん断強度は大きい。

(2) 材質の影響：板厚が同じ場合には、A1/A1は鋼/鋼にくらべて強度はかなり低い。A1/鋼の異種材接合の強度はA1/A1の強度と同等の強度であり、A1板の強度で支配されている。

スポット溶接においては、0.8t 鋼/鋼の強度と1.6t A1/A1の強度がほぼ同等となる。接着およびウェルドボンドにおいては、0.8t 鋼/鋼の強度は1.6t A1/A1の強度と0.8t A1/A1の強度の中間に相当しており、0.8t 鋼/鋼の強度は1.2t程度のA1/A1の強度に相当するものと考えられる。

(3) 接合法の比較：A1/A1の単独接合（HENROBリベット、TOXかしめ、接着、スポット溶接）においては、最大荷重は1.6t、0.8tともに

接着 > スポット溶接 ≒ HENROB > TOX
の順である。

0.8t 鋼/鋼のスポット溶接強度と比較すると、1.6t A1/A1のHENROBリベットが同等であり、接着では0.8t A1/A1でも0.8t 鋼/鋼のスポット溶接より高い強度を示している。

(4) 接着との併用効果：1.6t、0.8tともに、併用接合の最大荷重は接着単独とほとんど同等の強度を示しており、接着により支配されている。併用により接着以上に強度が上昇する併用効果は見られない。

4. 1. 2. 十字引張り強度

図4に、十字引張り試験の結果を示した。図4の棒グラフは最大荷重を示したものであるが、引張りせん断試験の場合と同様に、HENROBボンド、TOXボンド、ウェルドボンドの各併用接合試験片では最初にラップ端部の接着部が破壊し、その後ラップ中央部のHENROBリベット、TOXかしめ、スポット溶接部が破壊する。しかし、最大荷重は、引張りせん断試験の場合とは逆に、ラップ中央部のHENROBリベット、TOXかしめ、スポット溶接部の破壊時に現れる。併用接合におけるラップ端部の接着部の破壊荷重は図中に○印で示した。

図4の結果より次のことがわかる。

(1) 板厚の影響：いずれの材質においても、引張りせん断試験と同様に、板厚の影響が非常に大きく、板厚が厚い方が高い強度を示している。

(2) 材質の影響：板厚が同じ場合には、引張りせん断試験と同様に、A1/A1は鋼/鋼にくらべて強度はかなり低い。A1/鋼の異種材接合の強度はA1/A1の強度より幾分高い強度を示している。

スポット溶接においては、引張りせん断試験と同様に、0.8t 鋼/鋼の強度と1.6t A1/A1の強度がほぼ同等となる。接着においては、0.8t 鋼/鋼の強度は1.6t A1/A1の強度より低く、0.8t A1/A1の強度よりわずかに高い程度である。

ウェルドボンドにおいては、1.6t A1/A1の強度でも0.8t 鋼/鋼の強度には及ばない。

(3) 接合法の比較：A1/A1単独接合（HENROBリベット、TOXかしめ、接着、スポット溶接）においては、最大荷重は1.6tの場合は、

HENROB > スポット溶接 > TOX ≒ 接着
の順であり0.8tの場合は、

HENROB ≒ スポット溶接 > TOX ≒ 接着
の順である。

0.8t 鋼/鋼のスポット溶接強度は、A1/A1のHENROBリベットの1.6tと0.8tの中間に相当しており、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接強度は1.2t程度のA1/A1の強度に相当するものと考えられる。

(4) 接着との併用効果：1.6t、0.8tともに、併用接合の最大

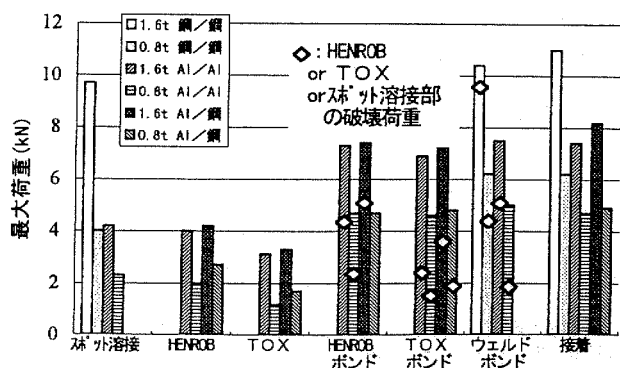


図3 引張りせん断試験結果

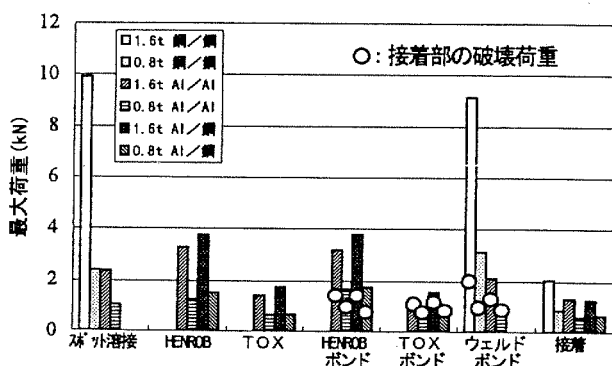


図4 十字引張り試験結果

荷重は単独接合とほとんど同等の強度を示しており、単独接合により支配されている。併用により単独接合以上に強度が上昇する併用効果は見られない。

4. 2. 疲労特性

図5に、1.6t Al/A1の単独接合（HENROBリベット、TOXかしめ、接着、スポット溶接）の疲労特性を1.6t、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性と比較して示した。この結果より、次のことがわかる。

(1) 1.6t Al/A1の単独接合の疲労特性は、

接着 > TOX ≒ HENROB > スポット溶接

の順に優れている。

(2) 1.6t Al/A1のTOXかしめ及びHENROBリベ

ットの疲労特性は、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性と同等である。また、1.6t Al/A1の接着の疲労特性は、1.6t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性と同等である。

図6は、図5の縦軸の荷重範囲を各々の静的引張りせん断強度に対する強度比として示した。この結果より、静的強度に対する疲労特性は、下記の順となっている。なお、1.6t Al/A1のHENROBリベットは、傾きが緩やかである。また、1.6t Al/A1の接着については傾きが急に見えるが試料数が少なくはっきりしない。

1.6tAl/A1 TOX > (1.6tAl/A1 接着 ≒ 1.6tAl/A1 HENROB) > 0.8t 鋼/鋼スポット溶接 > 1.6t 鋼/鋼スポット溶接 > 1.6tAl/A1 スポット溶接

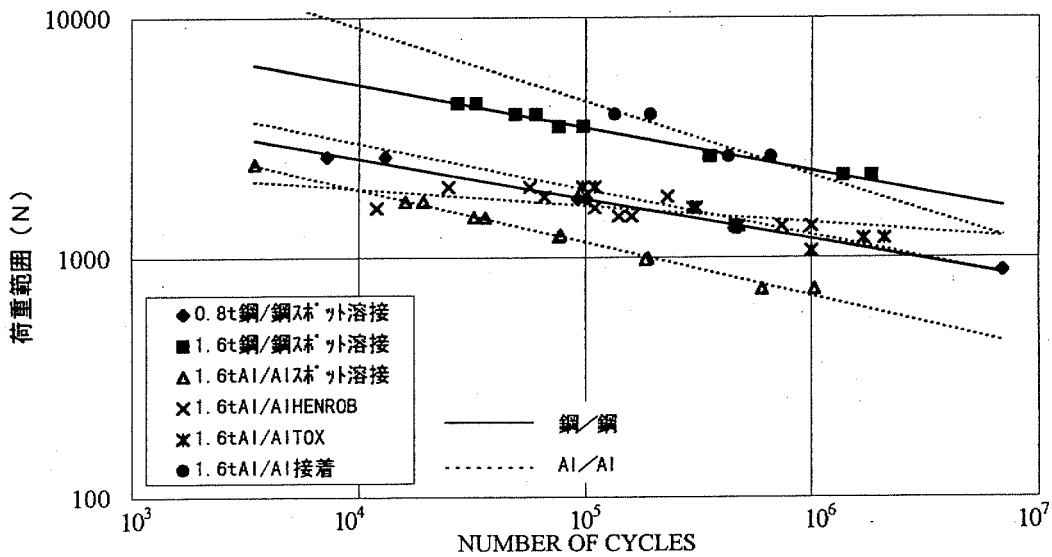


図5 1.6t Al/A1の各単独接合の疲労特性と1.6t、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性との比較

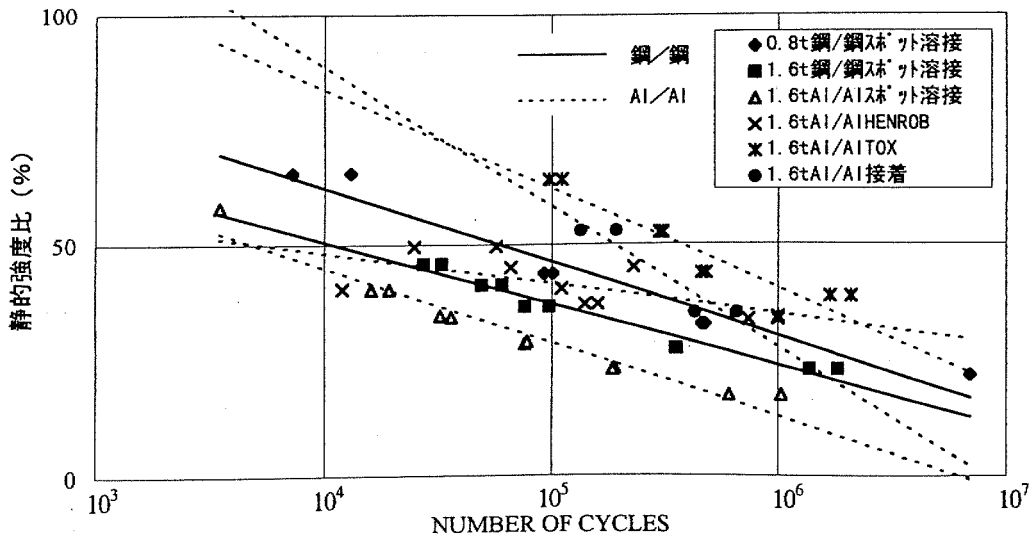


図6 1.6t Al/A1の各種単独接合の疲労特性（静的せん断強度比）と、1.6t、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性（静的せん断強度比）との比較

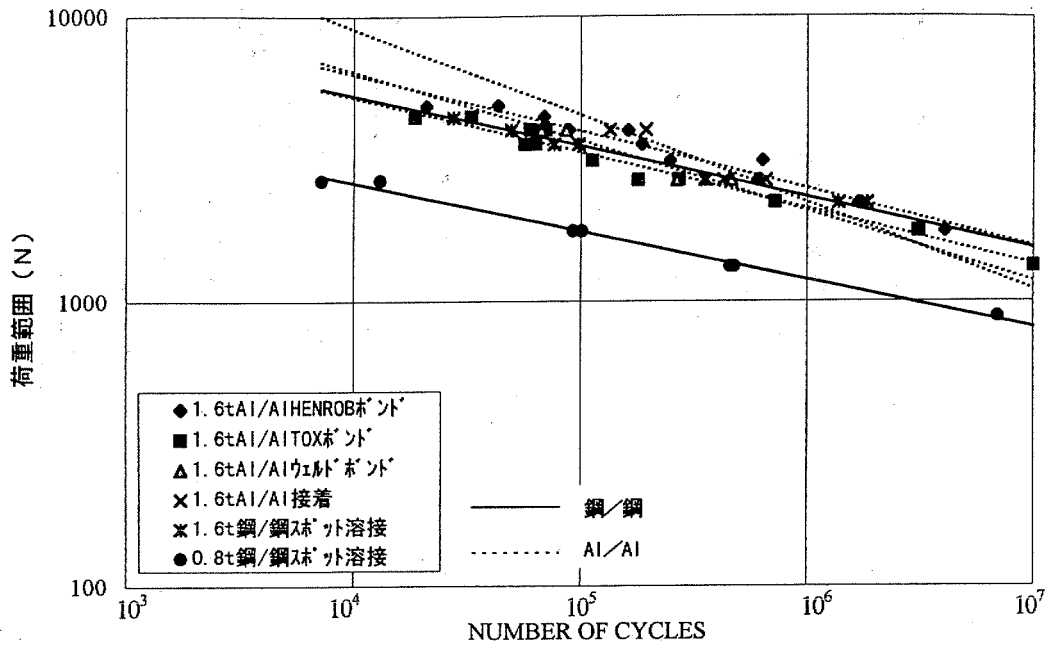


図7 1.6t Al / Al の各種併用接合の疲労特性と、1.6t Al / Al の接着、1.6t、0.8t 鋼 / 鋼のスポット溶接との比較

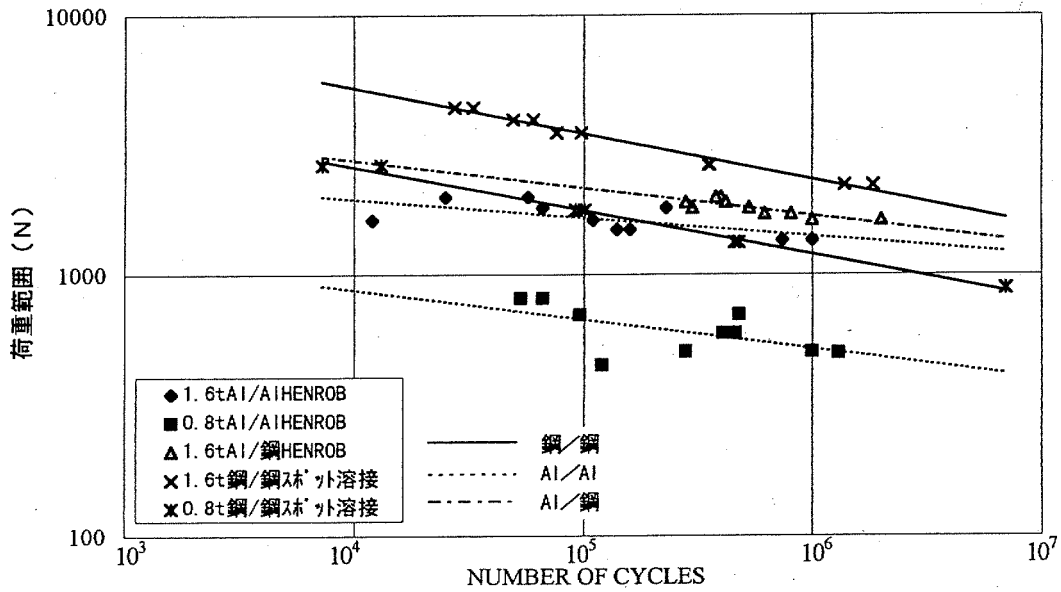


図8 HENROBリベットによる1.6t Al / Al、0.8t Al / Al、1.6t Al / 鋼の疲労特性と、1.6t、0.8t 鋼 / 鋼のスポット溶接との比較

図7には、1.6t Al / Al の併用接合（HENROB ボンド、TOX ボンド、ウェルドボンド）の疲労特性を1.6t Al / Al の接着及び1.6t、0.8t 鋼 / 鋼のスポット溶接の疲労特性と比較して示した。この結果より次のことがわかる。

(1) 1.6t Al / Al の併用接合（HENROB ボンド、TOX ボンド、ウェルドボンド）及び接着は、いずれも同等の疲労特性を示しており、接着の特性に支配されている。

(2) 併用接合によって接着の疲労特性を上回るような併用

効果は見られない。

1.6t Al / Al の併用接合及び接着は、いずれも0.8t 鋼 / 鋼のスポット溶接よりも優れており、1.6t 鋼 / 鋼のスポット溶接と同等の疲労特性を示している。

図8には、HENROBリベットによる1.6t Al / Al、0.8t Al / Al、1.6t Al / 鋼の疲労特性を1.6t、0.8t 鋼 / 鋼のスポット溶接の疲労特性と比較して示した。この結果より次のことがわかる。

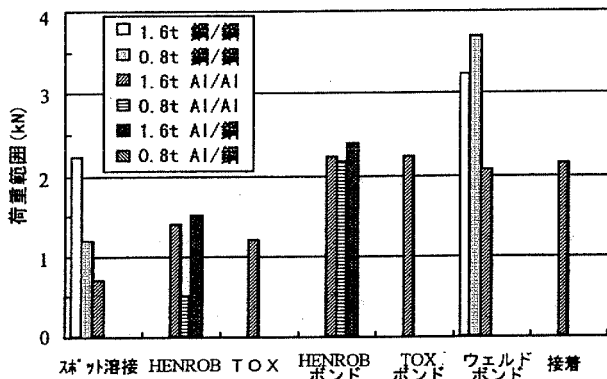


図9 各種接合試験片の 10^6 サイクルにおける時間強度

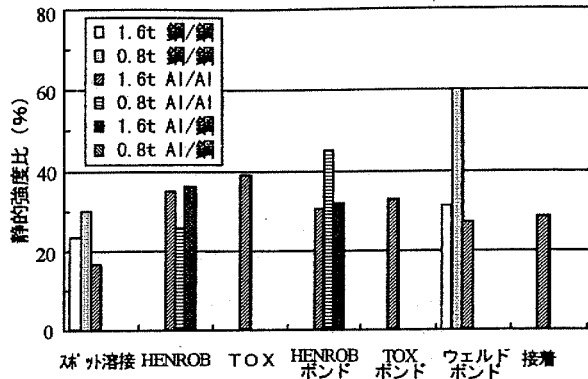


図10 各種接合試験片の 10^6 サイクルにおける時間強度の静的引張りせん断強度に対する強度比

(1) HENROBリベットの3種類の疲労特性は、
 $1.6t \text{ Al/鋼} > 1.6t \text{ Al/Al} > 0.8t \text{ Al/Al}$
 の順に優れており、板厚の影響は非常に大きく、また、板厚が同じ場合にはAl/鋼の方がAl/Alより優れた疲労特性を示している。

(2) HENROBリベットの1.6t Al/Alの疲労特性は、0.8t 鋼/鋼のスポット溶接の疲労特性と同等である。

図9には、各種接合試験片の 10^6 サイクルにおける時間強度を示し、図10は、図9の時間強度を各々の静的引張りせん断強度に対する強度比として示した。この結果より、1.6t Al/Alの各種接合の時間強度を1.6t, 0.8t 鋼/鋼と比較すると、

$[0.8t \text{ 鋼/鋼ウェルドボンド}] = [1.6t \text{ 鋼/鋼ウェルドボンド}] > [HENROB \text{ ボンド} \equiv TOX \text{ ボンド} \equiv \text{ウェルドボンド} \equiv \text{接着} \equiv 1.6t \text{ 鋼/鋼スポット溶接}] > HENROB > [TOX \equiv 0.8t \text{ 鋼/鋼スポット溶接}] > \text{スポット溶接}$

となっており、静的強度比では、

$[0.8t \text{ 鋼/鋼ウェルドボンド}] > TOX > HENROB > [TOX \text{ ボンド} \equiv HENROB \text{ ボンド} \equiv \text{接着} \equiv \text{ウェルドボンド} \equiv 1.6t \text{ 鋼/鋼ウェルドボンド} \equiv 0.8t \text{ 鋼/鋼スポット溶接}] > 1.6t \text{ 鋼/鋼スポット溶接} > \text{スポット溶接}$

となっている。

5. まとめ

Al/Al及びAl/鋼に適した接合法として、HENROBリベット、TOXかしめ、HENROBボンド、TOXボンドについて静的強度と疲労特性を評価し、軟鋼板のスポット溶接と比較した。

その結果、これらの方法は静的強度、疲労特性に差異が見られたが、今回の試験はあくまでもリベットやかしめの打点数は1点だけで行ったものであり、打点数を変化させると強度特性は変化するものであり、この点を考慮すれば、今回検討した接合方法はいずれも軟鋼板のスポット溶接に十分に代

われる物であると考えられる。

なお、TOXかしめは、型内に組み込んでプレスでの同時多点締結が可能であり、HENROBリベットは、金属と樹脂の接合にも適用できるなどそれぞれに多くの特徴を有している。これらの特徴を上手に活用して適材適所の採用を考慮することにより今後の新しい展開が期待できる。

6. 謝辞

本共同研究の試験片作製にあたり、多大な協力をいただいた日本ドライビット株式会社、リックス株式会社、サンスター技研株式会社に深く感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) L. Budde, W. Lappe and M. Boltd : VDI Ber., No. 883, 333 (1991)
- 2) L. Budde and W. Lappe : Bänder Bleche Rohre, Vol. 32 No. 5, 94 (1991)
- 3) L. Budde, W. Lappe, F. Liebrecht and D. Suse : Blech Rohre Profile, Vol. 39, No. 4, 310 (1992)
- 4) K. Gugisch : Alum. Ind., Vol. 12, No. 6, 23 (1993)
- 5) H. P. Liebig and J. Mutschler : Bänder Bleche Rohre, Vol. 34, No. 4, 46 (1993)
- 6) T. Kohstall and L. Budde : Blech Rohre Profile, Vol. 41, No. 2, 107 (1994)
- 7) 原賀他 : 自動車技術会シンポジウム予稿集, No. 9408, 52 (1994)
- 8) RIX (株) : TOX技術資料
- 9) 日本ドライビット (株) : ヘンロブリベット技術資料

新しい車体構造形成技術

—設計, 接合の最適化と情報ネットワーク—

New Techniques of Car Body Structure Fabrication

- Optimization of Design, Jointing, and Information Network -



会 場	いきいきプラザ一番町
開催日	1997年3月25日(火)
企 画	構造形成プロセス専門委員会