

412. [接着・リベット併用継手の疲労強度特性]

Fatigue strength of adhesive/rivet combined joints

今中 誠 (阪教大) 原賀 康介 (三菱電機 材研)
西川 哲也 (三菱電機 材研)

Makoto IMANAKA, Osaka Kyoiku Univ. 4-88 Tennoji-ku Osaka 543
Kousuke Haraga, Material and Electronic Devices Lab. Mitubishi Electric Corp.
Tetuya Nishikawa, Manufacturing Development Lab. Mitubishi Electric Corp.

Key word: Adhesive/rivet combined joint, Adhesive joint, Stress analysis, Fatigue test

1. 緒言: 薄肉高張力鋼板を被着体とする接着継手は他の接合法により接合された継手と比較して継手効率が低いことから注目されているが、信頼性や施工上の観点から、接着単独で接合されることは、まだ少数であり、現状では、接着とスポット溶接やリベット締結と併用した接合法が使われる場合が多い。特に、接着・リベット併用継手は、熱影響を受けないことや、施工が容易な高強度のブラインドリベットが開発されていること等、多くの可能性を持っている。本研究では、併用により疲労強度の向上する接合条件を明確化する目的で、種々の接着・リベット併用継手の疲労強度特性を調べるとともに、有限要素法により接合部の応力解析を行い、継手強度と接着部の応力分布の関係についても検討した。さらに、ひずみゲージを用いることにより疲労過程における疲労き裂の発生と進展状況の観察を行った。

2. 実験方法: Fig.1は、疲労試験に使用した接着・リベット併用継手試験片の形状ならびに寸法を示している。被着体としては、板厚1.2mmの110kg/mm²級高張力鋼板(住友金属工業製)を使用した。また、接着剤としてはエポキシ系接着剤DPグレー(住友スリーム製)ならびに変性アクリル系接着剤ハードロックC-355(電気化学工業製)を、リベットとしてはアルミニウム合金リベットRV-6606-84ならびにニッケル銅合金リベットRV6696-84(ポップリベットファスナー製)を使用した。併用継手については、接着後、エアリベッターによりリベットを締結し、室温に24時間放置した後、70°Cで6時間の後硬化を行い、強度試験に供した。疲労試験は、応力比0.1、荷重繰返し速度30Hzの条件で行った。また、併用ならびに接着継手の疲労き裂の発生・進展状況を観察するためにFig.2に示す箇所に歪ゲージをはりつけひずみの変化挙動を測定した。

3. 応力解析: 板幅60mm、ラップ長さ25mmのエポキシ/6696リベット併用継手ならびに同一寸法のエポキシ系接着継手の接着層における応力分布を求めるため有限要素法による解析を行った。Fig.3は境界条件ならび

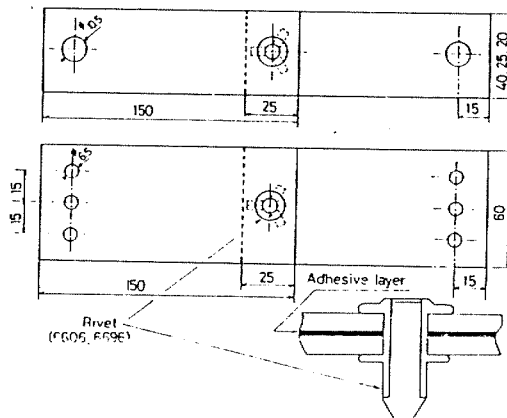


Fig.1 Shape and sizes of the adhesive/rivet combined joints.

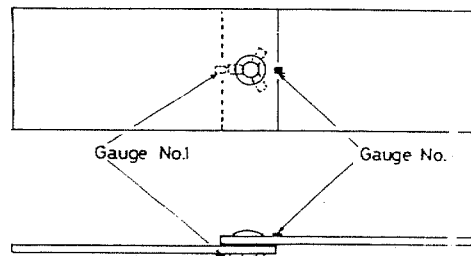


Fig.2 Schematic representation of gage position.

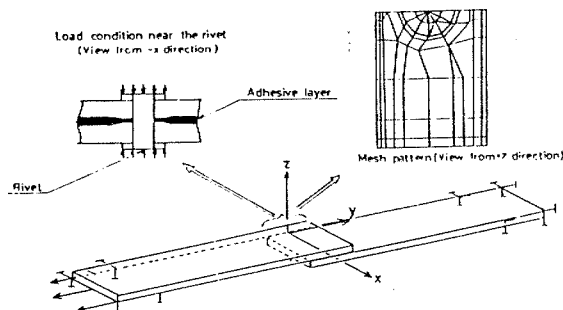


Fig.3 Boundary conditions and the mesh pattern of the adhesive layer for FEM analysis.

に接着層の要素分割を示している。リベットの締付け力は2.5kNとして、リベット部の上部と下部に等分布荷重として負荷した。材料常数としては、被着体ならびにリベットについてはヤング率183 GPa、ポアソン比0.33、また、接着層についてはヤング率1.1GPa、ポアソ

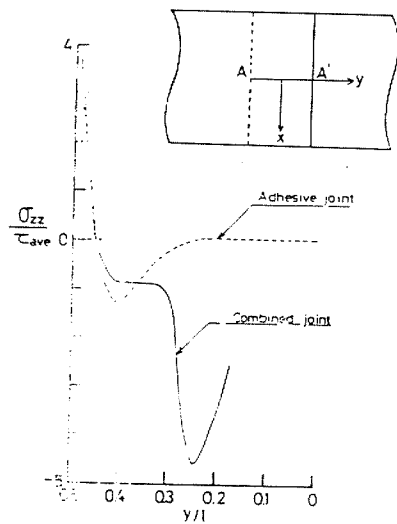


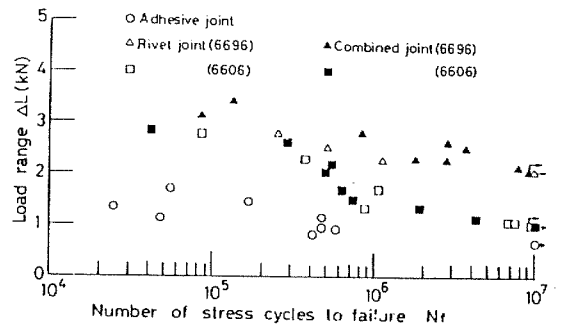
Fig. 4 Tensile stress distributions of the adhesive and adhesive/ rivet combined joints.

ン比0.33を用い、被着体鋼板ならびに接着層とも弾性体と仮定して解析を行った。

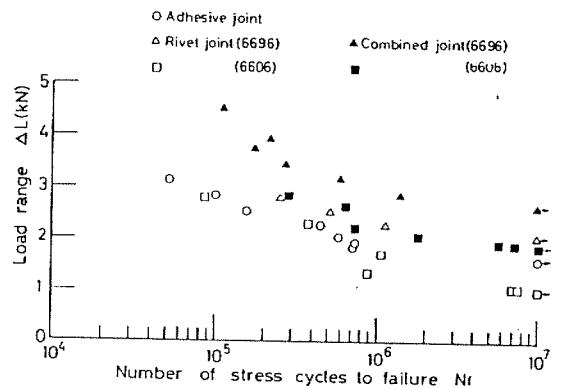
Fig. 4は接着ならびに併用継手の接着層におけるx軸に平行なAA'断面のz=0.028の位置におけるZ方向の引張応力 σ_{zz} の分布を示している。なお、縦軸は平均せん断応力 τ_{ave} により、横軸はラップ長さ l により正規化されている。同図より、ラップ中央部のAA'断面では応力集中箇所であるラップ端近傍において、両者の継手の σ_{zz} の値はほぼ等しいが、併用継手ではリベットの周囲において、締付け力の影響のため併用継手では圧縮応力が生じている。なお、リベットより最も離れたラップ側面ではラップ端部から中央部までの全範囲において併用継手と接着継手の σ_{zz} がほぼ一致することを確認した。

4. 疲労試験結果：エポキシ/6696リベットおよびエポキシ/6606リベット併用継手、エポキシ系接着継手ならびに6696および6606リベット継手のS-N関係をラップ長さ25mm一定で板幅が20, 40, 60mmの場合についてFig. 5(a), (b), (c)に示している。板幅が20mmの場合、Fig. 5(a)に示すように6696ならびに6606リベット継手ともにエポキシ系接着継手の疲労強度を上回り、エポキシ/6696リベットならびにエポキシ/6606リベット併用継手の疲労強度はそれぞれ、6696および6606リベット継手の疲労強度とほぼ一致しており併用による疲労強度の向上は認められない。板幅が40mmおよび60mmの場合は、Fig. 5(b), (c)に示すように板幅が増加することにより接着継手の疲労強度が向上し、エポキシ/6696ならびに6606リベット併用継手の双方ともリベットおよび接着継手の疲労限と比較していずれの継手の対しても疲労限の向上が確認された。

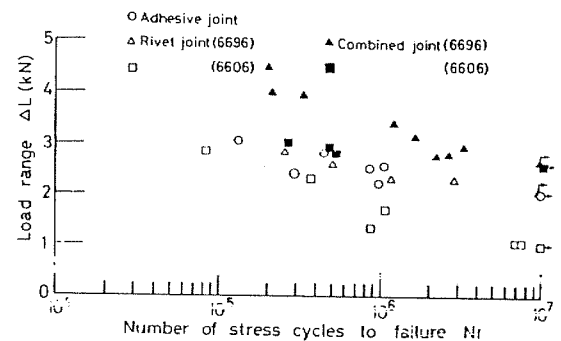
Fig. 5の結果から、併用による疲労強度の向上には、



(a) W=20mm



(b) W=40mm



(c) W=60mm

Fig. 5 S-N relations (Epoxy adhesive).

板幅すなわち接着継手強度が影響していることが推測される。接着継手強度を増加させると併用効果にどのように影響するか調べるため、6696リベットの2倍以上の疲労強度を持つアクリル系接着継手を用いて接着およびアクリル/6696リベット併用継手の疲労試験を行ったが、併用による疲労強度の向上は確認されなかった。これらの結果より、接着継手とリベット継手の強度比がある限定された範囲内において併用効果の生じることが予想される。そこで、Fig. 6において接着継手とリベット継手の疲労限における疲労強度比の併用効果に及ぼす影響を示した。横軸は接着継手とリベット継手の疲労強度比、縦軸は併用継手と接着およびリベット継手との疲労強度比を示している。併用継手の接着およびリベット継手のいずれか高い強度を示す継手

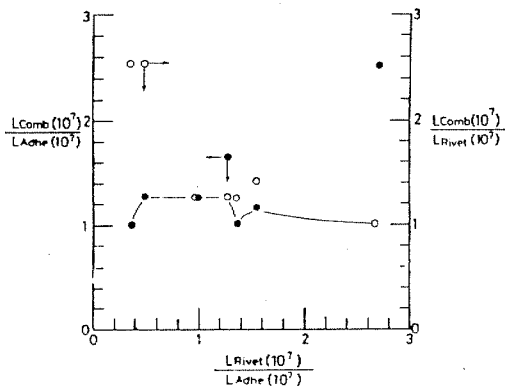


Fig. 6 Effect of normalized fatigue strength of rivet joints on normalized fatigue strength of combined joints.

に対する強度比が併用効果を表すため、併用継手のリベット継手および接着継手に対する強度比の低い方の値が併用による強度増加率を示している。Fig. 6より、併用効果の認められる範囲はリベット継手の接着継手に対する強度比が1に近い範囲であることが認められる。このことから、接着継手とリベット継手の強度比が疲労強度に関して、併用効果を決定する重要なパラメータとなっているものと推測される。

次に、併用ならびに接着継手のひずみゲージによるモニタリング結果について示す。Fig. 7(a)に示すようにき裂発生前に引張荷重が負荷された場合、ラップ端のひずみゲージには圧縮ひずみが生じる。また、一方の接着層端部からのみき裂が進展した場合および接着部の両端部よりき裂が進展した場合の各ひずみゲージの出力はFig. 7(b), (c)のように変化するものと考えられる。Fig. 8(a), (b)は破断寿命のほぼ等しい板幅60mmの接着ならびに6696リベット併用継手におけるバイアスひずみの疲労過程における変化挙動を示している。なお、同図において横軸は破断寿命により、縦軸は寿命比 $N/N_f=0.1$ におけるバイアスひずみにより正規化されている。Fig. 8(a)より接着継手においては、破断直前において、急激に双方の圧縮ひずみの低下が認められるが、併用継手では破断寿命の80%付近より、一方のゲージの圧縮ひずみの減少と他方の圧縮ひずみの増加が確認され、一方のラップ端部よりき裂が進展していることが予想される。また、接着継手に比べ疲労き裂の進展期間が長いことが特徴的である。

接着継手の疲労強度と接着層における σ_{\perp} の最大値の間に相関関係があることが確認されている。板幅60mmの併用ならびに接着継手における接着部の応力分布はFig. 3に示したように、ラップ端における σ_{\perp} の値

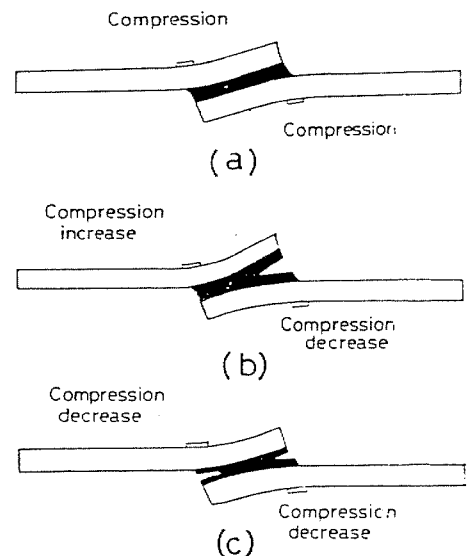
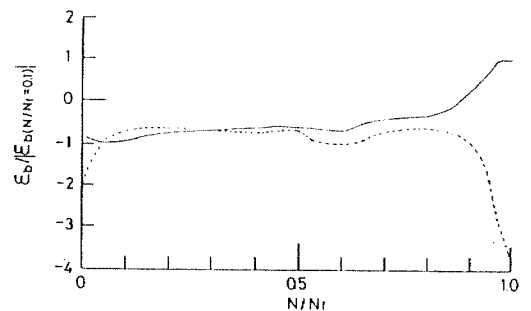
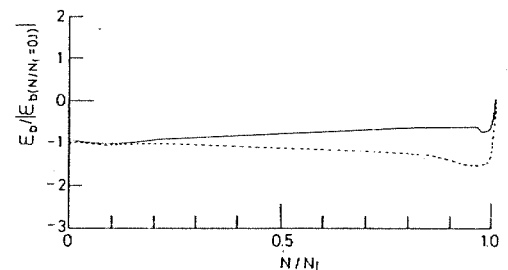


Fig. 7 Schematic representation of strain changes due to crack propagation.



(a) Combined joint ($N_f=3.29 \times 10^6$)



(b) Adhesive joint ($N_f=3.76 \times 10^6$)

Fig. 8 Relation between normalized bias strains and life ratio

について併用継手と接着継手の差異はラップ中央部およびラップ側面において認められなかった。このことから、併用継手における接着部の破断寿命と接着継手のそれが一致することが予想される。しかし、Fig. 4(b), (c)の結果より明らかにリベット併用による疲労強度の増加が確認された。Fig. 8に示したような併用継手と接着継手の疲労き裂進展挙動の差が併用による疲労強度向上の一因となっているものと推察される。

結言および参考文献略