

接着および接着・リベット併用継手強度に及ぼす鋼板強度の影響

大阪教育大学

○今中 誠

三菱電機(株)材料研究所

原賀康介、西川哲也

Effect of steel strength on static and fatigue strength of adhesive and adhesive/rivet combined joints

Osaka Inst. of education

Makoto Imanaka

Mitubishi Electric Corp.

Kousuke Haraga, Tetuya Nishikawa

1. 緒言: 機械装置の軽量化を図るため、薄肉の高張力鋼板が自動車産業等を中心に使用され、さらに高い強度の鋼板が求められる傾向にある。しかし、これら高張力鋼板を溶接やリベット締結により接合すると、継手強度の低下が著しい。

最近、薄肉鋼板の接合に、熱影響を受けないことや接合部の応力集中が少ないこと等から接着接合法や接着と機械的締結法を併用した接合法が注目されており、これら継手の強度特性の明確化が切望されている。その中でも、特に鋼板強度と継手強度の関係を明確化することは、軽量化をさらに推進する上で重要な課題である。

そこで、本研究では鋼板強度が接着ならびに接着・リベット併用継手強度に及ぼす影響を明確化するため、鋼板強度の異なる高張力鋼板よりなる接着ならびに併用継手の静的ならびに疲労強度を求めるとともに有限要素法により接着部の応力分布を求め、継手強度と応力分布の関係について検討を行った。

(作図参照)

2. 実験方法: 被着体試験片としては、板厚 1.2mm の 110kg/mm²級ならびに板厚 1mm の 60および 40kg/mm²級高張力鋼板(NKK製)を使用した。また、接着剤としては変成アクリル系接着剤ハードロック C-37(電気化学工業(株)製)を使用した。さらに、リベットとしては鋼製リベットポップナット(ポップリベットファスナー(株)製、ネジ径 M3~10)を使用した。

引張ならびに疲労試験に用いた接着および接着・リベット併用継手の試験片形状を Fig.1 に示す。これらの接着層厚さは 0.1mm に調節した。なお、リベット単独の継手の形状は併用継手のそれと接着部を除いて、同一である。

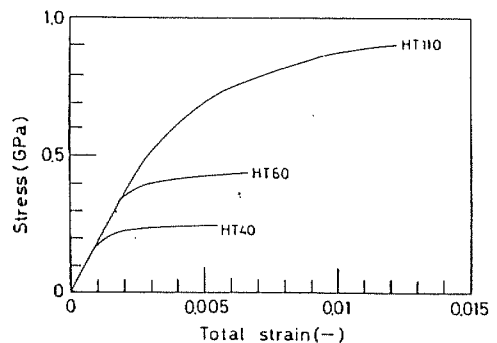
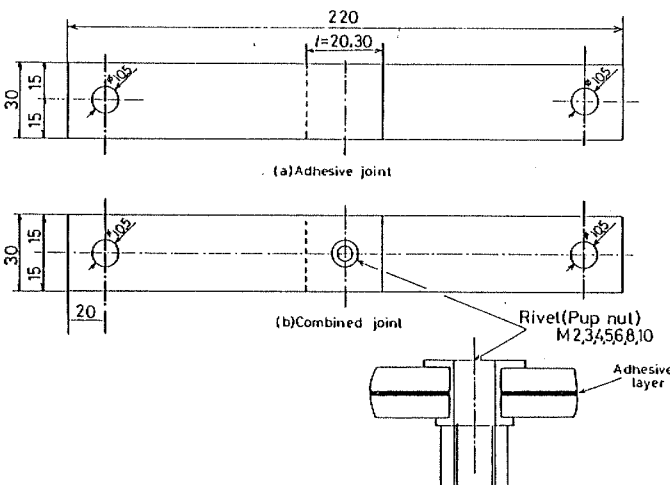


Fig.2 Stress-strain curves of adherend steels.

Fig.1 Shape and sizes of adhesive and combined joints

Fig.2は被着体鋼板 (HT110, HT60, HT40) の応力-歪関係を示している。なお、疲労試験は電気油圧式疲労試験機を用いて応力比 $R=0.1$ 、応力繰返し数 30Hz の条件で行い、引張試験はインストロン万能材料試験機 (容量 10t) を用いて引張速度 5mm/min の条件で行った。

3. 応力解析: 接着および併用継手の強度特性と応力分布の関係を調べるため、有限要素法により接着層の応力解析を行った。

① 接着継手: 接着継手については、Fig.3に示すように2次元平面ひずみ状態を仮定して解析を行った。また、接着層は弾性体と仮定し、被着体鋼板はFig.2に示すように弾塑性体と仮定し、Mieseの降伏条件を適用して弾塑性解析を行った。

Fig.4には、接着層におけるy方向の引張応力 σ_{yy} ならびにxy方向のせん断応力 τ_{xy} を負荷荷重をパラメータとして示している。なお、横軸はラップ長さにより正規化した値を示している。同図より、 σ_{yy} ならびに τ_{xy} ともにラップ端部において応力集中を生じていること、また、負荷荷重の増加により、最大応力の増加率が增大していることが認められる。負荷荷重と最大応力の関係をさらに詳細に調べるため、Fig.5に負荷荷重と σ_{yy} ならびに τ_{xy} の最大応力との関係を示した。図より、低荷重領域では最大応力は負荷荷重の増加に比例して増加し、増加率は鋼板の種類によらず一定であることが認められる。しかし、負荷荷重の増加に伴い、鋼板の塑性変形により荷重-最大応力の線形性は成立しなくなり、鋼板強度の低いものほどより低荷重側で線形関係が成立しなくなる。

② 併用継手: 併用継手の境界条件をFig.6に示す。X軸に対する対象性を利用して全体の1/2のモデルについて3次元の応力解析を行った。解析に用いたリベット径はM5、リベットの締め付け力はリベット部上部、下部に等分布荷重として与えた。接着層ならびに被着体鋼

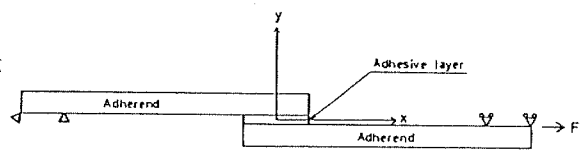


Fig.3 Boundary conditions of the adhesive joint.

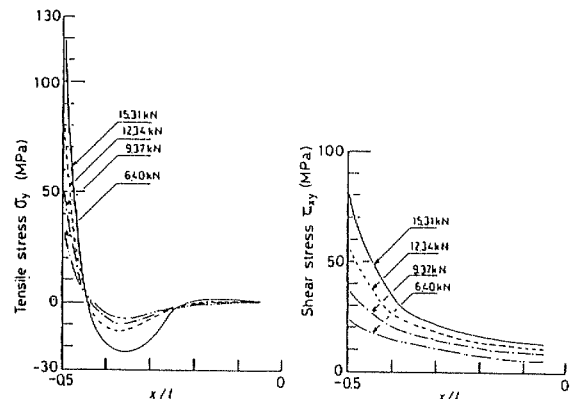


Fig.4 Stress distribution of the adhesive layer with HT60 (lap length 20mm).

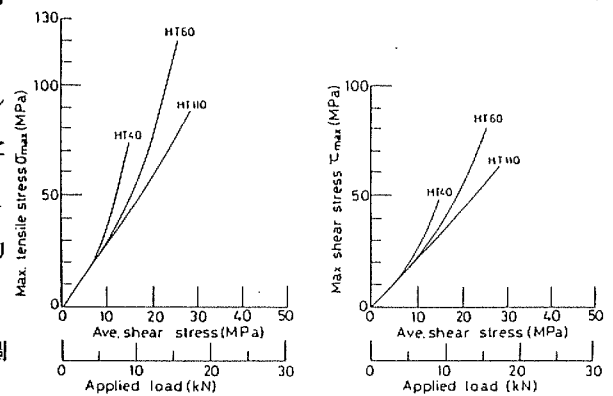


Fig.5 Variation of maximum σ_{yy} and τ_{xy} of the adhesive layer with an applied load (lap length 20mm).

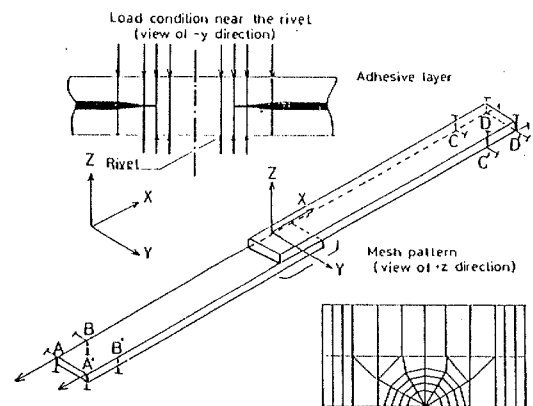


Fig.6 Boundary conditions of the combined joint.

板は接着層の場合と同様にそれぞれ、弾性体ならびに弾塑性体と仮定して解析を行った。さらに、比較のため同一メッシュの接着継手の応力分布を求め、同一ラップ長さおよび同一被着体の接着継手の応力分布を求めた。Fig.7にHT60を被着体

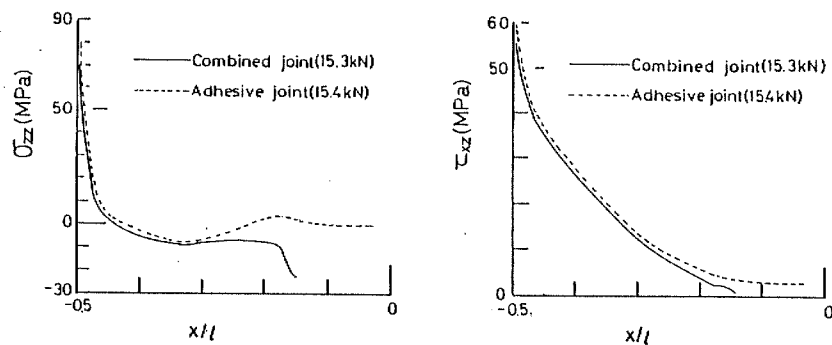
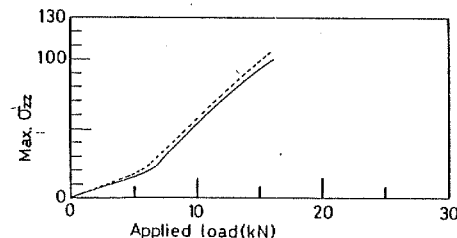
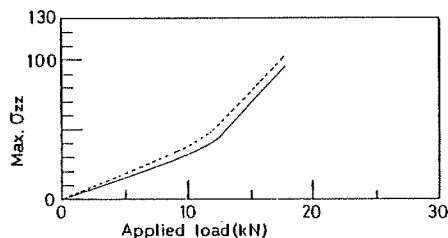


Fig.7 Comparison of stress distributions with the combined and the adhesive joint (HT60, lap length 30mm).

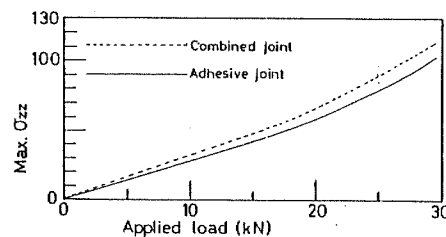
とする接着および併用継手にそれぞれ、15.3、15.4 kNの引張荷重を負荷した場合の接着層における引張応力 σ_{zz} およびせん断応力 τ_{xz} を示す。図よりラップ端付近では接着ならびに併用継手ともほぼ同様の傾向を示すが、ラップ中央部ではリベットによる締め付け力のため併用継手の応力値が接着継手に比べ低下することが認められる。Fig.8は継手強度に最も影響を与えると考えられる σ_{zz} と負荷荷重の関係を接着ならびに併用継手について示したものである。なお、図中の(a),(b),(c)は、HT40,HT60,HT110を被着体鋼板とした場合の関係を示している。図より、接着継手の場合と同様に低荷重領域では、併用継手の σ_{zz} は、負荷荷重の増加に比例して増大し、増加率は鋼板の種類によらず一定であり、接着継手の増加率とほぼ一致することが認められる。さらに、負荷荷重を増加すると、 σ_{zz} と負荷荷重の線形関係は成立しなくなり、鋼板強度の低いものほどより低荷重側で線形関係からのずれが認められる。また、同図より、接着継手と併用継手の最大応力の差異も負荷荷重の増加ならびに鋼板強度の増加に伴い増大する傾向が認められる。



(a) Adherend (HT40).



(b) Adherend (HT60).



(c) Adherend (HT110).

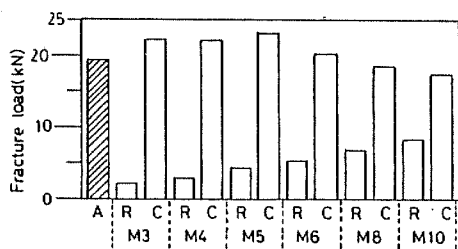
Fig.8 Variation of maximum σ_{zz} with applied load for the combined and adhesive joints.

4. 実験結果および考察

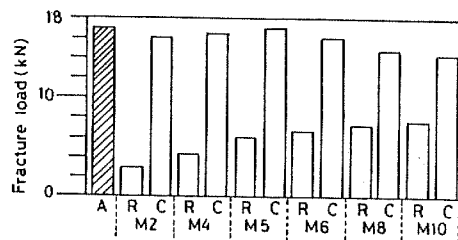
① 静的引張試験結果

Fig.9にHT60とHT110の鋼板よりなるリベット、接着および併用継手強度の引張試験結果を示す。図よりリベット継手の

A: Adhesive joint, R: Rivet joint, C: Combined joint,



(a) Adherend (HT110).



(b) Adherend (HT60).

Fig.9 Fracture loads of rivet, adhesive and combined joints.

強度は最も強度の高いM10の場合においてもHT60,110ともに接着継手の40%程度である。併用継手については鋼板強度によらずM5の併用継手強度が最大でさらにリベット径を増加することにより継手強度が低下する。また、鋼板強度の増加に伴い接着、併用継手ともに継手強度が増加する。さらに同図より、HT60の場合は接着継手とM5の併用継手強度は同程度であるが、HT110の場合はM3~M8の範囲において併用継手が接着継手の強度を上回ることが認められる。そこで、鋼板強度が接着、M5のリベットならびに併用継手の引張強度に及ぼす影響をFig.10に示した。図より鋼板強度の増加に伴い接着および併用継手強度が増加し、また、鋼板強度が0.64から1.09GPaに増加するにつれて併用継手

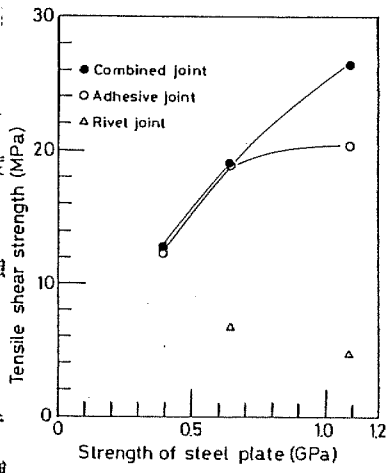
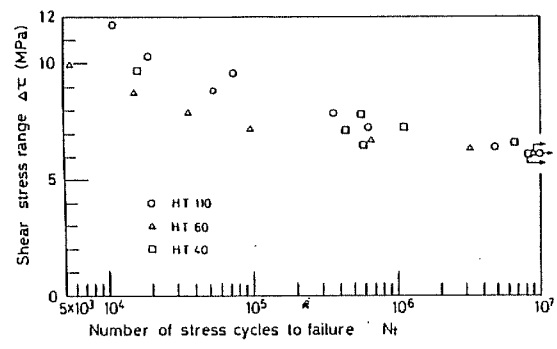


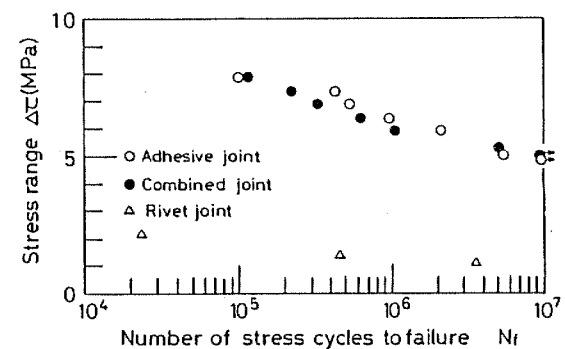
Fig.10 Effect of adherend strength on tensile shear strength of joints.

強度が接着継手強度を30%以上も上回ることが認められる。これらの要因は、Fig.5,8に示したように鋼板強度の増加に伴い荷重- σ_{yy} の線形関係が高荷重域まで成立することならびに荷重- σ_{zz} 曲線間の差異が広がる傾向があるためと考えられる。



(a) Adhesive joints (lap length 20mm).

②疲労試験結果: Fig.11(a),(b)に接着継手に及ぼす鋼板強度の影響ならびにHT110の鋼板をM5のリベット、接着およびM5のリベット・接着の併用により接合した継手の疲労試験結果を示している。同図(a),(b)より、引張試験結果と異なり、高繰返し数領域における疲労強度は鋼板強度に依存せずほぼ一定であること、および接着ならびに併用継手の疲労強度がほぼ等しいことが認められる。これらの要因は、(a),(b)双方とも静的引張荷重に比べ疲労荷重は低く、疲労限近傍の負荷荷重では、接着継手についてはFig.5に示したように最大応力は鋼板の種類によらず一定であり、併用継手ではFig.8(c)に示したように接着と併用継手の最大応力がほぼ一致するためと推察される。



(b) Adhesive, rivet and combined joints (lap length 30mm, adherend HT110).

Fig.11 S-N relations of the joints.

5. 結論: 被着体鋼板強度が接着ならびに接着・リベット併用継手強度に及ぼす影響について検討を行った。主な結果は次のとおりである。①鋼板強度の増加に伴い接着継手の静的強度は増加するが、疲労強度は変化しない。②HT110の接着継手にM5のリベットを併用すると静的強度は増加するが、疲労強度は一定である。これらの傾向は有限要素法により求めた接着層端部の応力分布から説明することができた。

文献: 略