

重ね合せ接着継手の強度分布特性

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

1. 緒言: 大幅な軽量化や異種材料等の接合を可能にすることから、接着接合法が種々の機械部品の接合に使用されつつある。そのため、継手強度についての関心が高まり、接着継手の強度特性や応力解析に関する研究報告が最近、増加しつつある(1)。しかし、継手の信頼性を明確化する上で必要な強度分布に関する統計的な研究はごく僅かである(2)。

本研究では継手のスケールアップを行う際に必要となる継手形状と強度分布の関係(寸法効果)を調べるため、板幅ならびに重ね合せ長さの異なる重ね合せ接着継手の静的強度試験を行い、これら接着継手の強度分布について、正規分布ならびにワイブル分布への適応度を調べるとともに、平均強度ならびに変動係数に及ぼす継手形状の影響についても検討を行った。

2. 実験方法: 静的強度試験に使用した重ね合せ接着継手試験片の形状・寸法をFig.1に示す。接着剤は構造用接着剤のなかでも剛性率が高くやや脆性なエポキシ系接着剤であるDP190グレー(住友スリーエム(株)製)ならびに剛性率が低く延性なアクリル系接着剤であるハードロックC355(電気化学工業(株)製)を、被着体は板厚2mmのステンレス鋼板(SUS304)を使用した。また、静的引張試験は、引張速度1mm/minの条件で行った。

3. 実験結果ならびに考察

(1) 板幅の影響: Fig.2は板幅の異なる重ね合せ接着継手の引張せん断強度(以後、せん断強度と呼ぶ)をワイブル確立紙上にプロットしたものである。図よりエポキシ系ならびにアクリル系接着剤により接合された接着継手(以後、エポキシ系ならびにアクリル系接着継手と呼ぶ)とも一部、やや直線関係から逸脱し、アクリル系接着継手において位置パラメータの存在も示唆されるが全体にほぼ直線関係が認められる。また、板幅の異なるエポキシ系ならびにアクリル系接着継手の分布の傾きはそれぞれほぼ等しく、さらに、アクリル系接着継手の平均強度ならびに分布の傾きはエポキシ系接着継手を上回ることが認められる。Fig.3はこれらの引張せん断強度分布を正規確立紙上に示したものである。各分布の直線性はFig.2とほぼ同様であり、Kurzmannら(2)が指摘するように明確に極値分布と断定

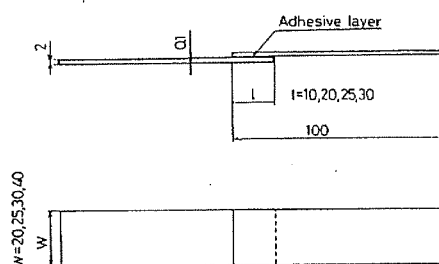


Fig.1 Shape and sizes of the adhesive bonded lap joint.

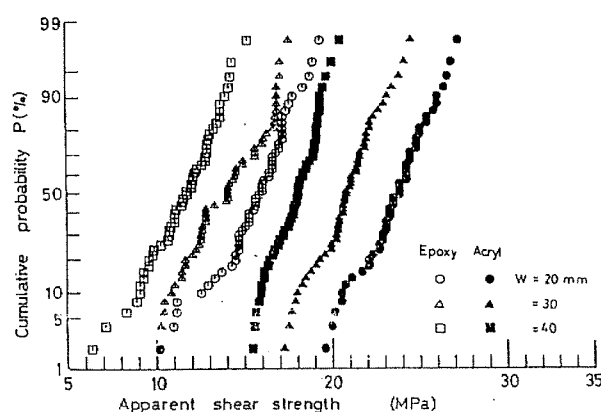


Fig.2 Weibull plots of tensile shear strength with various plate widths.

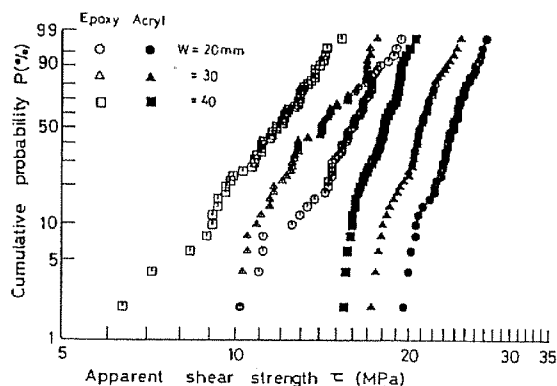


Fig.3 Normal plots of tensile shear strength with various plate widths.

することはできない。そこで、各分布の母数を最尤法により推定し、コロモゴルフスミルノフの適応度検定によりこれらの分布のワイブルならびに正規分布に対する分布の適応度を調べ、推定値と実験値の差の最大値 D_{max} をFig.4に示す。図より、ワイブルならびに正規分布の D_{max} の差異は僅かであるが、いずれかの分布

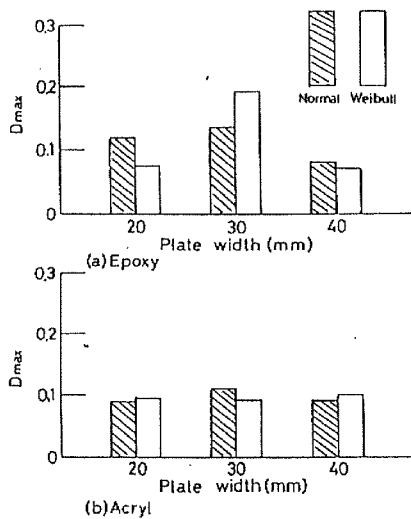


Fig.4 The fitness of the theoretical distributions.

への明確な適応性は認められない。

次に、平均値ならびに変動係数に及ぼす板幅の影響について検討を行う。Fig.5は平均せん断強度に及ぼす板幅の影響を示している。図よりエポキシならびにアクリル系接着継手ともに板幅の増加に伴いせん断強度がわずかに低下することが認められ、アクリル系接着継手のせん断強度はエポキシ系のそれを上回ることが認められる。

基準となる板幅 W_0 の継手の分布を次式に示す2母数ワイブル分布と仮定し、

$$F_0(x) = 1 - \exp\left(-\left(x/\xi_0\right)^\epsilon\right) \quad (1)$$

強度分布を最小リンクモデルに従うと仮定すると、応力分布が一定の場合、体積変化に伴う強度の低下は理論的に導かれている(3)。重ね合せ接着継手において板幅の変化に対して応力分布はほぼ一定であることが知られているため(4)、体積変化を接着部の板幅の変化におきかえると、板幅 W の継手の平均強度 M は次式で示すことができる。

$$M/M_0 = (W/W_0)^{-1/\epsilon} \quad (2)$$

ただし、 M_0 は板幅 W_0 の継手の平均強度。

Fig.5には上式に示す強度低下曲線を破線で示している。図より実験値は上式に示す曲線よりわずかに低いがほぼ一致していることが認められる。

Fig.6は板幅の変動係数に及ぼす影響を示したものである。図より、変動係数は、板幅の変化によらずほぼ一定であり、アクリル系接着継手の変動係数はエポキシ系接着継手の30%以下であることが認められる。

最小リンクモデルならびに2母数ワイブル分布を仮

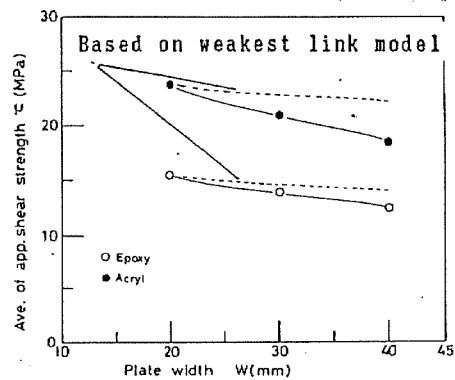


Fig.5 Effect of plate width on the average of tensile shear strength.

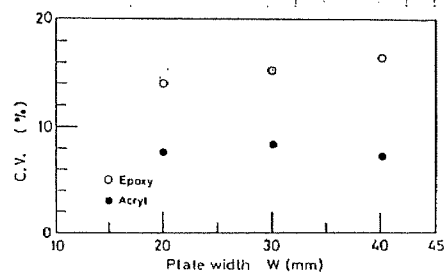


Fig.6 Effect of plate width on the coefficient of variation of tensile shear strength.

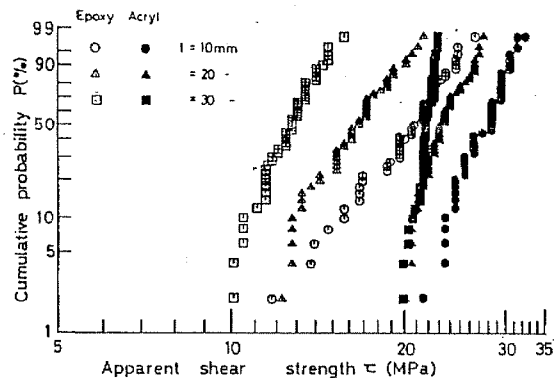


Fig.7 Weibull plots of tensile shear strength with various lap lengths.

定すると変動係数が試験片の体積によらず、変動係数は一定であることが導かれる(4)。このような平均せん断強度ならびに変動係数の傾向は、これら継手に対する最小リンクモデル適応の妥当性を示すものと考えられる。

3-2 重ね合せ長さの影響: Fig.7は重ね合せ長さの異なる重ね合せ接着継手のせん断強度をワイブル確率紙に示している。強度分布はラップ長さの増加に伴い、位置パラメータの存在も示唆される傾向を示すが全体にほぼ直線関係が認められる。また、Fig.2と同様にアクリル系接着継手の分布の傾きがエポキシ系のそれを上回り、ラップ長さの増加に伴い分布の傾きの増加傾向が認められる。ここでは、Fig.4と同様にワイブルならびに正規分布に対するの適応度を調べ、 D_{max} を Fig.8に示す。図より、Fig.4と同様にいずれかの分布

に対する明確な適応性は認められないが、野中が指摘するような(5)重ね合せ長さの増加に伴いワイブル分布に対する適応度の低下傾向が認められる。

Fig.9は平均せん断強度に及ぼす重ね合せ長さの影響を示している。図より、重ね合せ長さの増加に伴う平均せん断強度の低下傾向は最小リンクモデルに基づく理論線を大きく下回っている。これは、板幅の増加に対して応力集中係数はほとんど変化しないが、重ね合せ長さの増加に伴い接着層端部の応力集中係数は大きく増加するためと考えられる(6)。Fig.10は重ね合せ長さの変動係数に及ぼす影響を示している。図よりFig.5と同様にエポキシ系接着継手の変動係数がアクリル系接着継手のそれを上回り、両接着継手とも、重ね合せ長さの増加に伴う変動係数の低下傾向が認められる。

最小リンクモデルを仮定し、接着層をFig.11に示すような要素に分割し、 R_i を各要素の未破断確立とすると継手全体の未破断確立は(3)式で示される。

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdots R_n \quad (3)$$

この場合、2母数ワイブル分布を仮定すると変動係数は試験片内部の応力分布によらず一定であることが理論的に導かれており(3)、実験結果の傾向と異なる。本実験では、板幅が変化する場合、すなわち体積変化のみで応力分布がほぼ一定の場合、変動係数が一定であり、重ね合せ長さが増加する場合、すなわち接着層内部の応力分布が変化する場合、変動係数の低下する傾向が確認された。

この原因として、次のことが考えられる。接着継手において応力集中箇所である自由端付近の要素の破壊は継手全体の破断に対する寄与が大きい、内部における破壊は継手全体の破断にたいする寄与は自由端付近のそれに対して少ない。すなわち、各要素について破断に対する寄与を重み w_i として示すと全体の破断しない確立は次式のように示される。

$$R = R_1^{w_1} R_2^{w_2} R_3^{w_3} \cdots R_n^{w_n} \quad (4)$$

ただし、 $w_1 < w_2 < w_3 < \cdots < w_n$

このため、応力集中係数が増加するに伴い強度分布に対する自由端近傍の重み係数の影響が強まり分布の傾きが急になり、変動係数が低下するものと考えられる。

4. 結言: 主な結果は次のとおりである。(1)エポキシ系ならびにアクリル系接着継手のワイブルならびに正規分布に対する適応度に明確な差異は認められなかった。(2)板幅の増加に伴い平均せん断強度がわずかに低下するが変動係数はほぼ一定であることが確認された。この傾向は2母数ワイブル分布において最小リンクモ

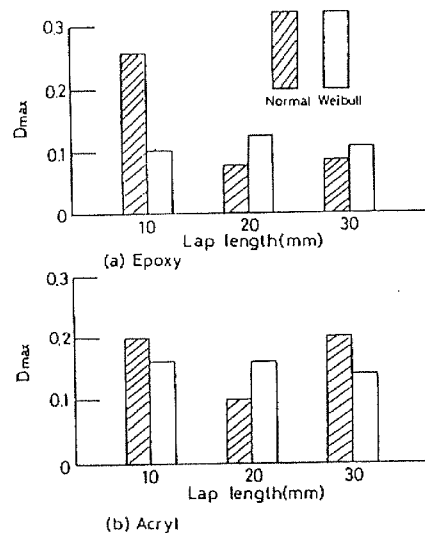


Fig.8 The fitness of the theoretical distributions.

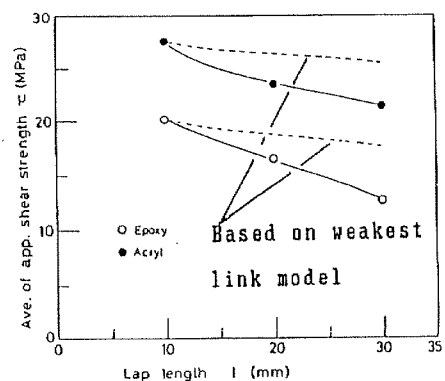


Fig.9 Effect of lap length on the average of tensile shear strength.

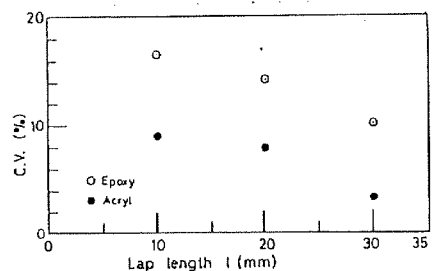


Fig.10 Effect of lap length on the coefficient of variation of tensile shear strength.

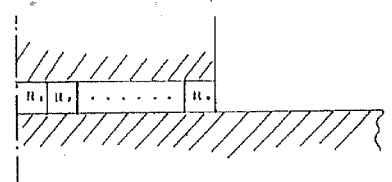


Fig.11 Model of the adhesive layer.

デルを仮定した場合の傾向と一致する。(3)重ね合せ長さの増加による、変動係数の低下が確認された。これは接着層の自由端付近と内部において継手全体の破壊にたいする寄与が異なるためと考えられる。文献略