

アルミニウム合金鋸継手の疲労強度

池村 隆一*・時弘 義雄**

要 旨

アルミニウム合金板 52S-O 材は、耐食性、強度等の面から広く用いられている。いま普通鋸継手の疲労強度を、最小応力と最大応力の比を一定とする部分片振引張によって、板厚組合せ (2 + 4) mm, 孔径 6 mm, 単一点および多点継手の試片に対しその疲労強度を求めた。なお近時作業能率を向上せしめるために各種の鋸が用いられているが、そのうちアウプリベットに対し、普通鋸と同一試験条件で、同一材質、同一試片寸法でその疲労強度を明らかにした。

7. 緒 言

アルミニウム合金板の接合方法として鋸継手は盛んに用いられているが、鋸継手におけるその疲労強度は、鋸配列法、母板および鋸材の種類、鋸径、打鋸法等多くの要因に支配され、それらをすべて考慮した統一の実験はまだおこなわれていない^{1)~4)}。それで車輛用軽合金材として主用される 52S-O 材に対し、最小応力と最大応力の比 $R=0.2$ 一定とし、回転数 1200 として疲労試験をおこない、その強度を明らかにした。なお近時作業能率を向上せしめるため、打鋸方法が比較的容易である各種の考察されているが、それらに対する強度はまだ十分に明らかにされていない。そこで比較的多く用いられているアウプリベットに対し、普通鋸と同一の試験条件で疲労試験をおこなった。

2. 普通鋸疲労試験

2.1 試験片

使用した材質は母材および鋸材とも 52S-O で、その機械的性質および化学成分を、表 1 にしめす。板厚組合せはすべて (2 + 4) mm である。試片の形状寸法を図 1 にしめす。試験片取付用のリーマ孔よりの破壊を防ぐために、中央の板巾を狭くし、両端にあて板を溶接した。打鋸はすべて常温で空気打によりおこなわれた。

表 1 試験片の材質

機 械 的 性 質		化 学 成 分 (%)
抗 張 力 (kg/mm ²)	耐 力 0.2% (kg/mm ²)	Mg Cu Mn Cr Al
19.0	8.5	2.5 0.1 0.1 0.25 残

* 柳井商工高校

** 工業短期大学部機械工学教室

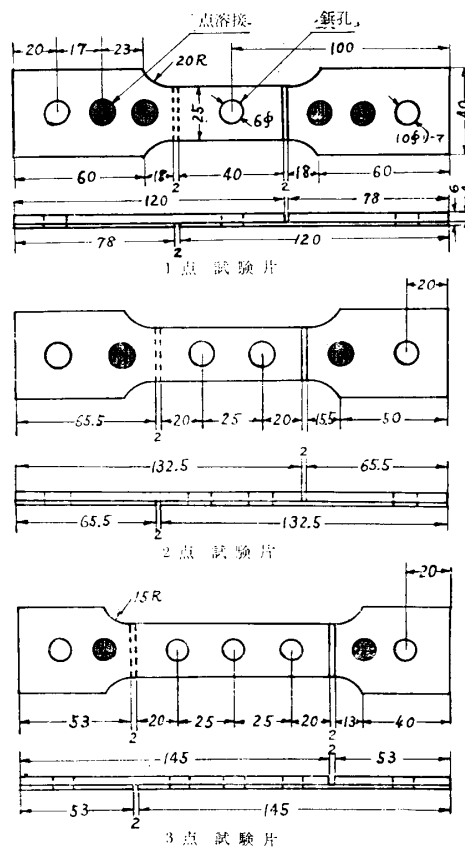


図 1 試験片形状寸法

2.2 静的せん断試験結果

アムスラ型 10t 引張試験機により静的せん断試験をおこなった。その結果を試験片 3 本ごとの平均値として表 2 にしめす。破断形式は 1 点継手は鋸のせん断と板の破

表 2 静的せん断試験結果

点 数	1	2	3
静的せん断強度 (kg)	524	632	714

断の両者があり、2点継手以上はすべて疲労破壊と同様に板の破断であった。銲継手の静的せん断強度は点溶接の場合と異なり、点数の増加に対してそれ程大きな増加をしめていない。これは銲継手においては、塑性変形後の荷重の再分担は、点溶接の場合ほど完全におこなわれないことをしめてしている。いま銲継手の1点あたりの強度を図2に、銲継手の静的せん断強度に対する点溶接継手のその割合を図3にしめす。これよりみれば銲継手の強度は点溶接の強度よりなり低いことが明らかである。

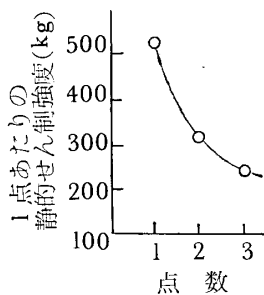


図2 点数と1点あたりの強度の関係

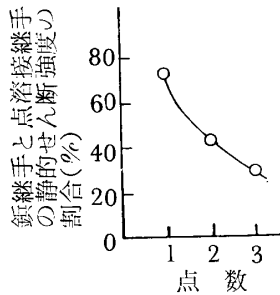


図3 銲と点溶接の強度の割合

2.3 疲労試験結果

疲労試験機は自家製引張圧縮試験機で、最小応力と最大応力の比 $R=0.2$ 一定とし、回転数は毎分1200回とした。試験結果を縦軸を最大荷重とするS-N曲線にしめすと図4のようになる。破壊形式はすべて、銲のせん断でなく板の破断である。亀裂発生点およびその進行方向は図5にしめすように、銲孔の中心を通る最小破断面におこり荷重方向と直角方向にすすんでいる。3点継手においては、すべて試片取付部に最も近い銲孔縁に亀裂の発生をみている。亀裂発生は2mmの板側のみとは限らず、まれには4mmの板側に発生したものもあるが、これらは打銲の際における銲孔縁に生じたわずかの切欠きに応力集中が生じたものと思われる。

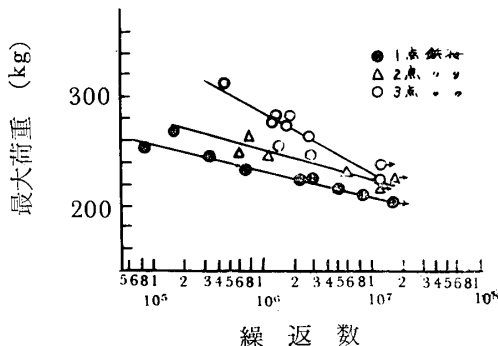


図4 普通銲試験片のS-N曲線

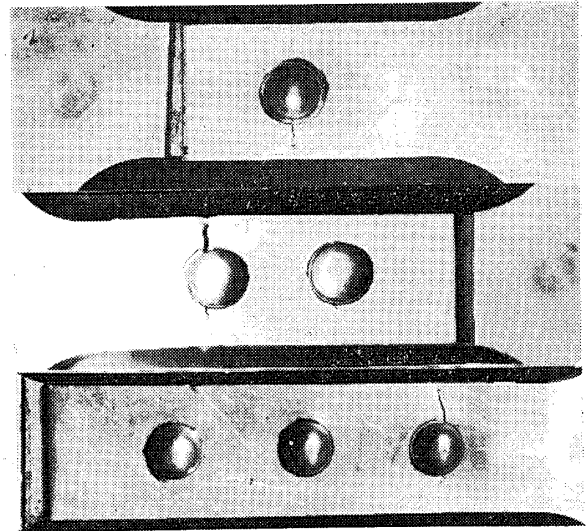


図5 普通銲の疲労亀裂

2.4 疲労試験結果に対する考察

図4から 10^7 回時間疲労限 (以下疲労限と称す) を求め、点数との関係をしめせば図6のようになり、点数が増加しても疲労強度はあまり増加しないことがわかる。図7には1点あたりの疲労強度と点数の関係をしめす。

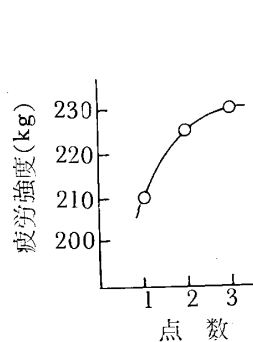


図6 疲労強度と点数の関係

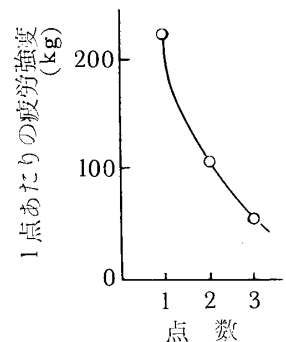


図7 1点あたりの疲労強度と点数の関係

いま σ_n を引張荷重 F を板の最小断面で除した値とし、 P_1 を継手中の最初の銲が負担する荷重とすれば、 P_1 のみによって銲孔縁におこる最大応力 σ_1 は

$$\sigma_1 = \sigma_n \alpha_1 P_1 / F$$

とかける。ここに α_1 は有孔板にピンを挿入し、そのピンを引張ることより Frocht の算出した形状係数²⁾で、筆者らの実験においては約2.4と推定される。

ついで $(P-P_1)$ による銲孔縁の最大応力 σ_2 は

$$\sigma_2 = \alpha_2 \sigma_n (P - P_1) / P$$

として与えられる。係数 α_2 は引張をうける有孔帯板の形状係数 α_2 より小さいけれども、銲が完全に銲孔をみたしていない場合には、両者は相等しい仮定してよろしい。筆者の実験に対しては α_2 は約2.4と推定される。

いま継手の危険断面の最大応力を $(\sigma_1 + \sigma)$ とすれば、これは実際の応力を過大に見積ることになるけれども、その誤差は無視できる程度と考えられる。脚注に詳述するようにして求めた F_1 の値を用いることにより*、各点数に対する $(\sigma_1 + \sigma_2)$ の値を計算すれば表3のようになる。

表3 各点数に対する $(\sigma_1 + \sigma_2)$ の値

点 数	1	2	3
$(\sigma_1 + \sigma_2)$ kg/mm ²	13.2	14.2	14.5

継手の危険断面の最大応力を $(\sigma_1 + \sigma_2)$ とすれば継手の形状係数 α は

$$\alpha = \sigma_{max} / \sigma_n = (\alpha_1 - \alpha_2) P_1 / P + \alpha_2$$

となる⁵⁾。ただ今の場合には形状係数 α は各点数共約2.4となる。母材52S-O材の最小応力と最大応力の比 $R=0.4$ に対する部分片振引張疲労強度は13.9kg/mm²として与えられる。いま母材の真破断応力を40kg/mm²とみなせば、 $R=0.2$ に対する母材52S-Oの引張疲労強度は耐久線図より約11kg/mm²と推定される。よって板が破断する場合の継手の切欠係数 β (母材の疲労限を継手の疲労限で除した値)を求め、各点数に対する α とともにしめせば表4のようになり、 α は点数には全く関係で β の約2倍の値をとっていることがわかる。

表4 点数に対する α と β の値

点 数	1	2	3
α	2.4	2.4	2.4
β	1.2	1.3	1.3

* 各鋸にかゝる荷重を次のように計算する。板の相対変位を Δu 、応力を σ とすれば

$$\Delta u = \mu \sigma$$

いま p : 鋸のピッチ

d : 鋸径

t : 板厚

k_1, k_2, k_3 : 実験的に定めるべき無次元常数

とすれば鋸線の滑り係数 μ は次式で与えられる。

$$\mu = k_1 (pt^2 / Ed^2) + k_2 (pt^3 / Ed^3) + k_3 (p/E)$$

久保氏の実験によれば、滑りが鋸体のせん断と母材の変形よりなるとすれば、アルミニウム合金に対しては、 $k_1=0, k_2=2.5, k_3=1.7$ が与えられている。いま試片寸法より $t=2\text{mm}, d=6\text{mm}, p=25\text{mm}$ とすれば $\mu=0.00687$ となる。

部材間に摩擦のない場合における i 番目の鋸につたえられる力 N_i は次式で与えられる。²⁾

$$N_i = P / (F' + F'') \cdot \{ \sin h(r+1) \}^{-1} [F' \{ \sin h(i+1) \} \xi - \sin hi \xi + F'' \{ \sin h(r-i+1) \} \xi - \sin h$$

3. アウプリベット疲労試験

3.1 試験片

鋸締め機構を図8にしめす鋸軸の先端には軸の主軸方向に割れがいてある。鋸を締めるためには、(A)のように鋸軸を鋸孔の中におきハンマーでピンを叩く。こうすると(B)のように

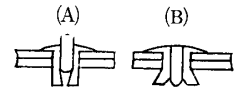


図8 鋸締め機構

発の4つの割部が外側への力をうけしめられる。アウプリベットは現場工作上の取扱いが簡単である。しかし、この鋸は作業能率の上からはすぐれていても、締付力は普通鋸にくらべて弱い。材質は試験片の母材も鋸材も52S-O材であり、孔径は5mmでその他の各部寸法は普通鋸の場合と全く同じである。

3.2 静的せん断引張試験

1, 2, 3点鋸接試験片を10t アムスラ型引張圧縮試験機(島津製作所製)により静的引張せん断試験をおこなった。その破壊荷重を試験片3本ごとの平均値として表5にしめす。破壊形式は1, 2点においては鋸の割部の破損であり、3点においては鋸の破損と板の破断の両者があった。

表5 静的せん断試験結果

点 数	1	2	3
破 壊 荷 重	305	640	808

$$(r-i) \xi \} \quad (1)$$

ξ は次式で計算される値である。

$$\cos \xi = 1 + \frac{1}{2} \cdot (F' + F'') / F' F'' \cdot p / \mu F \quad (2)$$

ここに F', F'' : 各部材断面積

r : 鋸数

P : 引張荷重

(1), (2)式に $\mu=0.00687$ および試片寸法を代入して、1, 2, 3点各継手が受持つ試片取付部に最も近い点の鋸により伝えられる力はそれぞれ次のようになる。

$$F_1 = P, \quad P_2 = 0.5P, \quad P_3 = 0.409P$$

いま1点, 2点, 3点の疲労強度を210kg, 225kg, 230kgとすれば各鋸により伝えられる力は $P_1=210\text{kg}, P_2=113\text{kg}, P=96\text{kg}$ となる。

参 考 文 献

- 1) 秋田好雄: 運研報告, 4, 11 (1954)
- 2) F. Bleich (奥田訳): 鋼橋の理論と計算(上), 327, (1938) コロナ社

普通釘と異なり、2点継手の破壊荷重が1点継手のそれの2倍以上の値をしめしていることは、普通釘にくらべてアウプリベットは締付力が弱く、各釘が均一の荷重分担をなすことをしめす。3点における釘破損の場合には、たまたま締付力が強く、両端の釘で引張荷重の多くをうけもったためと思われる。母材の破断においては、引張荷重により釘が塑性変形をおこし、各釘にかゝる荷重がほぼ均一となったため板の破断をおこしたものとされる。

3.3 疲労試験結果

先に述べた試験片に対し、最小応力と最大応力の比 $R=0.2$ 一定、回転数毎分 1200 として部分片振引張疲労試験をおこなった。その結果を縦軸を最大荷重とする S-N 曲線であらわし、図 9 にしめす。疲労破壊は図 10

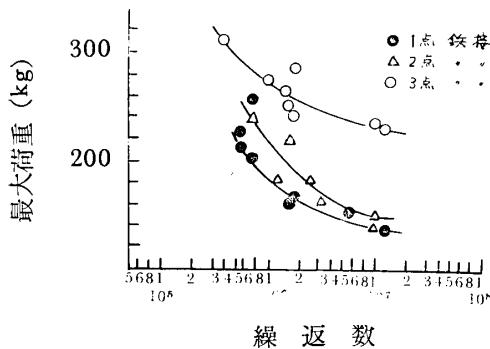


図 9 アウプリベットの S-N 曲線

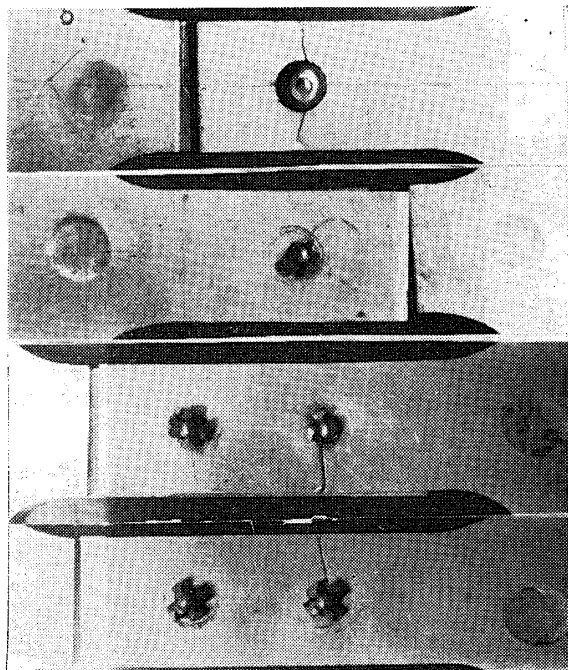


図 10 アウプリベットの疲労亀裂

にしめすように、1, 2点継手においては釘の割部の破損と母材の破断の両者があり、3点継手においてはすべて母板の破断であった。母板の破断においても板厚 2mm 側と 4mm 側の両者があった。板厚 4mm 側に亀裂の生じた理由は、釘の割部はすべて 4mm 側にあるように打釘したため、打釘の際に割部が外側への力をうけたとき、釘孔縁に切欠きを生じ、それが釘孔縁の最大応力を生ずる位置と重なったためと思われる。これは静的破断において 4mm の板厚側(釘割部のある側)に亀裂の生じたものは図 10 にみられるように、すべて釘割部の縁が釘孔縁の最大応力の生じる位置とほぼ同じであるからもうなづけられると思う。図 9 より各点数に対する疲労強度を求め、点数との関係をしめせば図 11 のようになる。

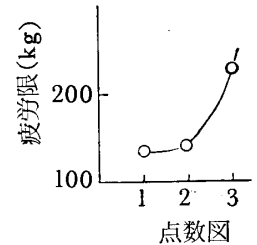


図 11 点数と疲労限の関係

1, 2点継手の疲労強度に差のない理由は、1, 2点継手においては釘割部および釘割部のある板厚 4mm の母板に亀裂を生じたものが大部分であったためと思われる。図 11 から分るようにアウプリベットの疲労強度は、打釘方法によって変動する。すなわち釘割部の縁の位置と、釘孔縁の最大応力の生ずる点の位置が重ならないようにすることが大切である。

3.4 各継手の疲労強度の比較

点溶接継手と各種釘継手の、疲労強度の静強度に対する比を表 6 にしめす。表 6 より分るように、継手効率(継手は点溶接継手より勝っているが、これは C. Haase⁽⁶⁾ が $R=0$ の条件の下に、各種の板厚のアルミニウム合金に対して 10⁷ 回時間疲労限を求めた結果と一致している。したがって疲労強度を要求される部材結合に対しては、点溶接継手よりも釘継手を用いる方が安全といえる。アウプリベットの 2点継手の比率の低いことは、前述したように打釘方法の影響と思われる。3点継手の場合よりわかるように、注意深く打釘されればアウプリベットは普通釘と比較して疲労強度は劣らないものと思われる。

表 6 各継手の疲労強度の静強度に対する比(%)

点 数	1	2	3
点 溶 接	16.9	8.9	5.8
普 通	40.1	35.6	32.2
ア ウ プ リ ベ ッ ト	44.3	21.9	28.5

4. 結 言

以上えられた結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) (2+4)mmの板厚組合せで孔径6mmの、52S-O材に対する 10^7 回時間疲労限として $R=0.2$ に対する最大荷重210kg, 225kg, 230kgをえた。
- (2) 普通鋸と同一の試片形状で孔径5mmのアウプリベットの1, 2, 3点の各継手に対する 10^7 回時間疲労限として, $R=0.2$ に対する最大荷重135kg, 140kg, 230kgをえた。
- (3) アウプリベット継手においては打鋸方法は疲労強度に影響をおよぼすので打鋸に際しては鋸孔縁の最大応力の生じる位置と鋸割部の縁が一致しないようにする必要が有る。

- (4) 注意深く打鋸すればアウプリベットは普通鋸とほとんど同じ疲労強度を有する。
- (5) 静的強度は点溶接がすぐれているが、疲労強度は鋸継手の方がすぐれている。

参 考 文 献

- 1) C. R. Smith: Aircraft Engineering, 29, 18 (1957)
- 2) R. L. Moore 他: NACA-ER-W-76, RB 5F, 11 (1945)
- 3) E. C. Hartmann 他: NACA-WR-W55, ARR4115, 102 (1945)
- 4) R. L. Templin 他: Proc. A.S.T.M., 54, 641 (1954)
- 5) 石橋 正: 金属の疲労と破壊の防止, 249, 250 (1955), 養賢堂
- 6) C. Haase (星野訳): 鋸合金の溶接法, 27, (1941), 工業資考刊行会