

第 I 部門

初期たわみと残留応力がアルミニウム合金板の耐荷力に与える影響

大阪大学工学部

学生員 ○小笠原 康二

大阪大学大学院工学研究科

正会員 大倉 一郎

1. はじめに

現在、アルミニウム合金の板要素の耐荷力に対して、初期たわみと残留応力が耐荷力に与える影響は明らかにされていない。

本研究では、アルミニウム合金板が純圧縮を受ける場合、初期たわみと残留応力が耐荷力に与える影響を FEM 解析によって明らかにする。研究対象は熱処理アルミニウム合金 A6061-T6 とし、非接合板、摩擦攪拌接合(FSW)で接合された板および MIG 溶接で接合された板の 3 種類とする。

2. 材料特性

応力-ひずみ関係は母材および熱影響範囲に対して次式で与えられる¹⁾。

$$\sigma \leq \sigma_{0.2} \text{ では, } \varepsilon = \frac{\sigma}{70000} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n \quad (1) \quad \text{熱影響範囲に対して, } \sigma \leq \sigma_{j0.2} \text{ では, } \varepsilon = \frac{\sigma}{70000} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{j0.2}} \right)^n \quad (3)$$

$$\sigma > \sigma_{0.2} \text{ では, } \sigma = \sigma_{0.2} \quad (2) \quad \sigma > \sigma_{j0.2} \text{ では, } \sigma = \sigma_{j0.2} \quad (4)$$

$\sigma_{0.2}$: 母材の 0.2% 耐力, $\sigma_{j0.2}$: 熱影響範囲の 0.2% 耐力, ε : ひずみ, n : ひずみ硬化パラメータである。

接合によって生じる引張残留応力 σ_{rt} , 圧縮残留応力 σ_{rc} は次式で与えられる¹⁾。 b は板幅である。

$$\sigma_{rt} = \sigma_{j0.2} \quad (5) \quad \sigma_{rc} = -\frac{50\sigma_{j0.2}}{b-50} \quad (6)$$

用いたパラメータの値を表-1 に示す。

表-1 0.2%耐力とパラメータ

母材		FSW 部		MIG 部	
$\sigma_{0.2}$ (MPa)	n	$\sigma_{j0.2}$ (MPa)	n	$\sigma_{j0.2}$ (MPa)	n
245	29.1	108	10	108	5.3

3. モデル化

図-1 に示すように、FSW 板で部材を製作する場合、T 型断面の押出型材を突合せ接合をする。さらに、圧縮を受ける FSW 板の解析モデルおよび式(5)と(6)より与えられる残留応力分布を示す。

図-2 に示すように、MIG 溶接で部材を製作する場合、板にリブをすみ肉溶接で接合する。さらに、圧縮を受ける MIG 溶接板の解析モデルおよび式(5)と(6)より与えられる残留応力分布を示す。ただし、モデル化の際、リブの板厚は考慮していない。両図とも熱影響範囲は斜線で表している。

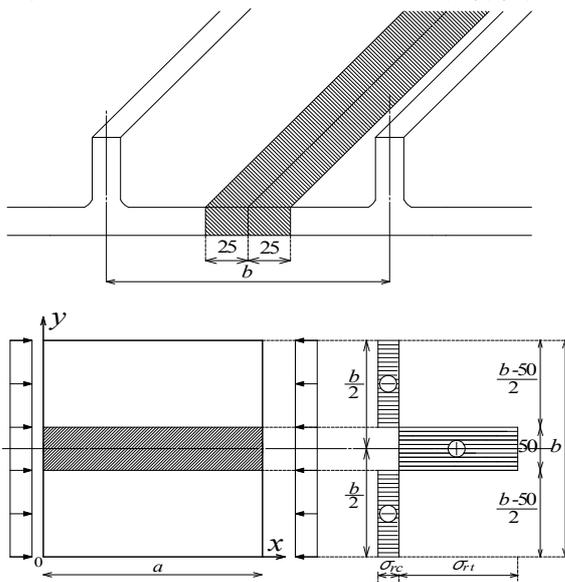


図-1 FSW 板

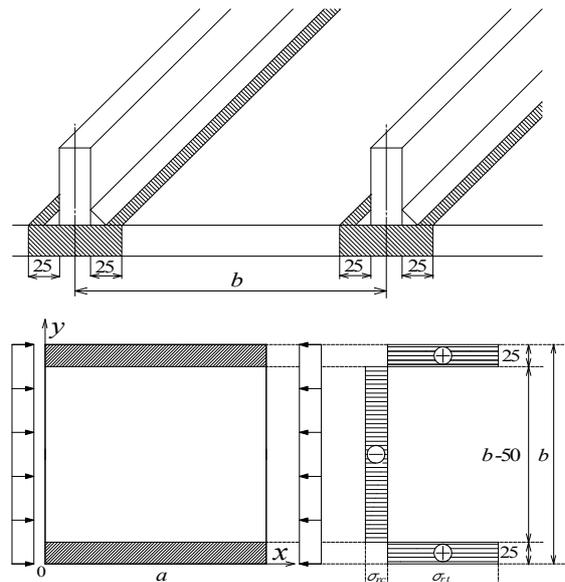


図-2 MIG 溶接板

4. 解析条件

本解析は汎用有限要素解析プログラム MARC による弾塑性有限変位解析である。解析モデルは周辺単純支持、板幅 $b=200\text{mm}$ の正方形板とし、対称性を考慮して 4 分の 1 の部分に対して解析を行った。有限要素は 8 節点厚肉シェルを用い、要素分割は 12×12 とした。荷重は強制変位で与え、非荷重辺は面内方向に対して自由とした。初期たわみは次の関数で与えた。

$$w_0 = e_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \quad (7)$$

e_0 は板中央の初期たわみである。 $e_0 = b/150, b/300, b/500, b/1000$ の 4 種類を設定した。

5. 解析結果

FSW 板と MIG 溶接板に対して残留応力の有無の圧縮強度と幅厚比パラメータの関係を 図-3, 図-4 に示す。ただし、耐荷力が最も低下する $e_0 = b/150$ の場合である。

縦軸は次式で定義される見かけの 0.2% 耐力 $\sigma_{p0.2}$ によって圧縮強度 σ_u を無次元化している。

$$\sigma_{p0.2} = \frac{b-100}{b-50} \sigma_{0.2} + \frac{50}{b-50} \sigma_{f0.2} \quad (8)$$

他方、横軸に $\sigma_{p0.2}$ を用いて次式で定義される幅厚比パラメータ R_p を用いている。

$$R_p = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{4} \frac{\sigma_{p0.2}}{70000} \beta} \quad (9)$$

ここに、 $\mu=0.3$: ポアソン比, β : 幅厚比

図-3 より FSW 板は残留応力により耐荷力が上昇している。これは、引張残留応力が中央に存在するためと考えられる。他方、解析結果より MIG 溶接板は残留応力により耐荷力が低下するが、図-4 より曲線はほぼ一致していることから、MIG 溶接板では FSW 板に比べ残留応力の影響は小さく、ほとんど無視できると考えられる。そこで、初期たわみを $e_0 = b/150$ と同条件にし、非接合板および残留応力を考慮しない場合の FSW 板と MIG 溶接板の耐荷力比較を図-5 に示す。FSW 板の耐荷力曲線は非接合板より上にあり、MIG 溶接板は非接合板および FSW 板より下回っている。MIG 溶接板が FSW 板に比べ耐荷力が低下するのは強度低下する熱影響範囲が中央部ではなく端部に位置するためである。

図-3 より FSW 板は残留応力により耐荷力が上昇している。これは、引張残留応力が中央に存在するためと考えられる。他方、解析結果より MIG 溶接板は残留応力により耐荷力が低下するが、図-4 より曲線はほぼ一致していることから、MIG 溶接板では FSW 板に比べ残留応力の影響は小さく、ほとんど無視できると考えられる。そこで、初期たわみを $e_0 = b/150$ と同条件にし、非接合板および残留応力を考慮しない場合の FSW 板と MIG 溶接板の耐荷力比較を図-5 に示す。FSW 板の耐荷力曲線は非接合板より上にあり、MIG 溶接板は非接合板および FSW 板より下回っている。MIG 溶接板が FSW 板に比べ耐荷力が低下するのは強度低下する熱影響範囲が中央部ではなく端部に位置するためである。

6. 結論

本研究条件において、FSW 板は残留応力により耐荷力が上昇する。MIG 溶接板は残留応力により耐荷力は低下するが、その影響は小さい。残留応力を考慮せず、初期たわみを同条件とした場合でも、MIG 溶接板は FSW 板に比べて耐荷力が低下する。

参考文献 1) 大倉一郎, 長尾隆史, 石川敏之, 萩澤亘保, 大隅心平: 構造用アルミニウム合金の応力-ひずみ関係の定式化および MIG 溶接と摩擦攪拌接合によって発生する残留応力の定式化, ALST 研究レポート 1, 2007 年 3 月。

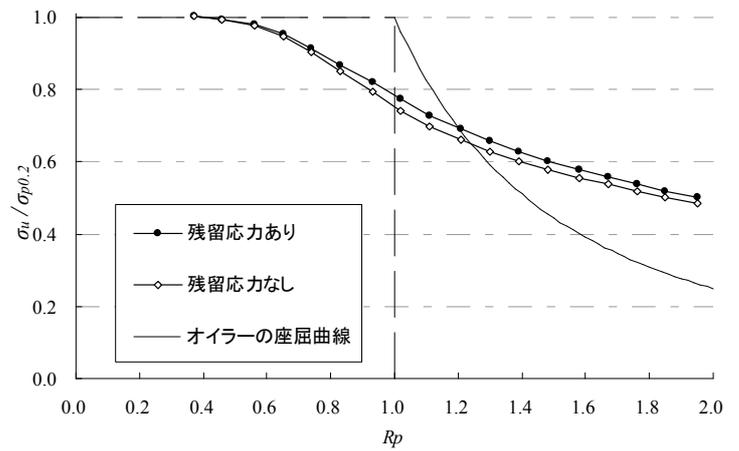


図-3 FSW 板 ($b/150$)

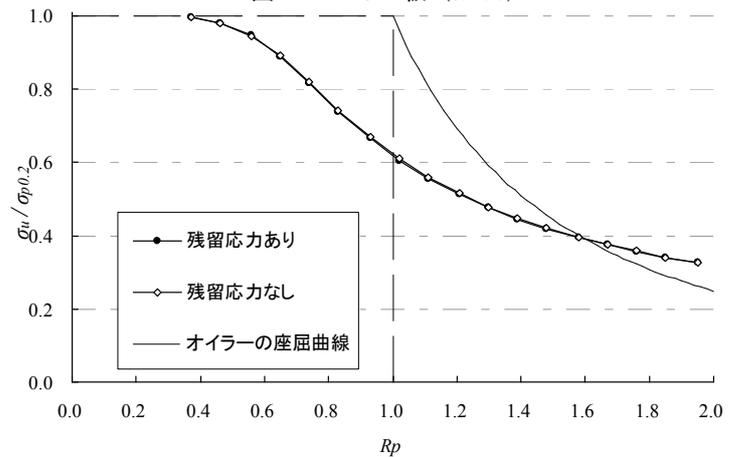


図-4 MIG 溶接板 ($b/150$)

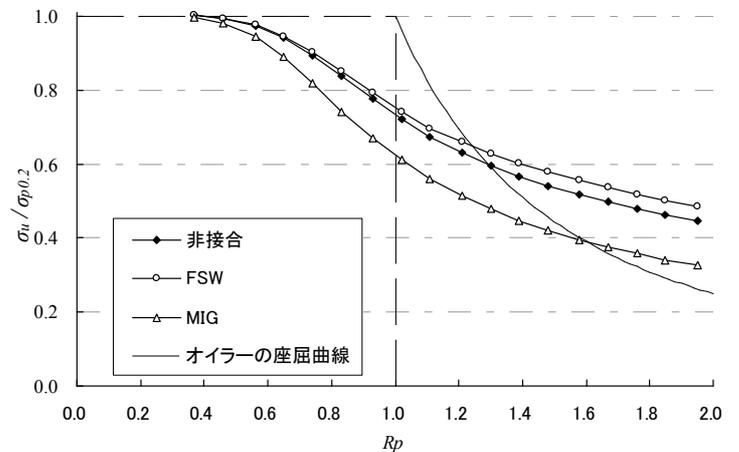


図-5 非接合板, FSW 板, MIG 溶接板の耐荷力比較 ($b/150$)