

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

大阪大学大学院 学生員 小笠原 康二
 大阪大学大学院 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

本研究では, アルミニウム合金板が純圧縮を受ける場合の耐荷力について, 初期たわみと残留応力が与える影響を FEM 解析によって明らかにする. アルミニウム合金板の材料は A6061-T6 であり, 非接合板, 摩擦攪拌接合(FSW)板および MIG 溶接板の 3 種類を対象とする.

2. 応力 - ひずみ関係

アルミニウム合金の応力 - ひずみ関係は次式で与えられる¹⁾.

$$\sigma \leq \sigma_{0.2} \text{ に対して, } \varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n \quad (1)$$

$$\sigma > \sigma_{0.2} \text{ に対して, } \sigma = \sigma_{0.2} \quad (2)$$

ここに, σ と ε : それぞれ応力とひずみ, E : ヤング係数(=70GPa), $\sigma_{0.2}$: 0.2% 耐力, n : ひずみ硬化パラメータ. A6061-T6 の $\sigma_{0.2}$ と n の値を表 - 1 に示す. A6061-T6 は熱処理材であるため FSW 部と MIG 溶接部とも熱影響範囲で強度低下を起こす. 熱影響範囲は接合線から各側 25mm である.

表 - 1 0.2% 耐力とひずみ硬化パラメータ

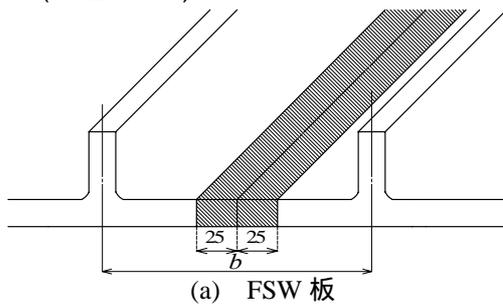
A6061-T6	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	n
母材	245	29.1
FSW 部の熱影響範囲	108	10.8
MIG 溶接部の熱影響範囲	108	5.3

3. FSW 板と MIG 溶接板のモデル化と残留応力分布

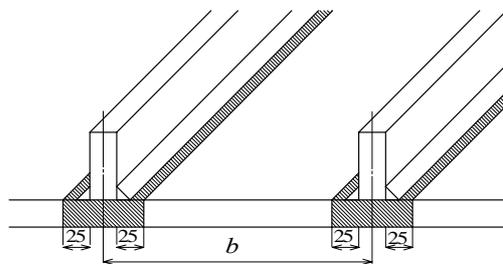
図 - 1 に示すように, FSW 板で補剛板を製作する場合, T 型断面の押出形材を FSW により突合せ接合をする. MIG 溶接で補剛板を製作する場合, 板にリップをすみ肉溶接で接合する. したがって, 図 - 2 に示すように, FSW 板の場合, 熱影響範囲は板中央にあり, 引張残留応力が板中央部, 圧縮残留応力が板端部に位置する. MIG 溶接板の場合, 熱影響範囲は板端部にあり, 引張残留応力が板端部, 圧縮残留応力が板中央部に位置する. FSW 板と MIG 溶接板ともに引張残留応力 σ_{rt} , 圧縮残留応力 σ_{rc} は次式で与えられている.

$$\sigma_{rt} = \sigma_{0.2} \quad (3) \quad \sigma_{rc} = -\frac{50\sigma_{0.2}}{b-50}$$

b : 板幅(単位: mm)

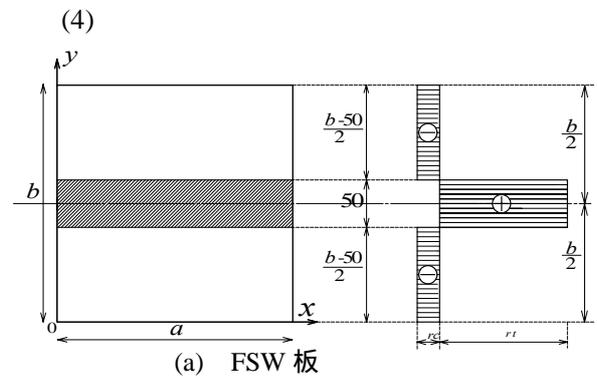


(a) FSW 板

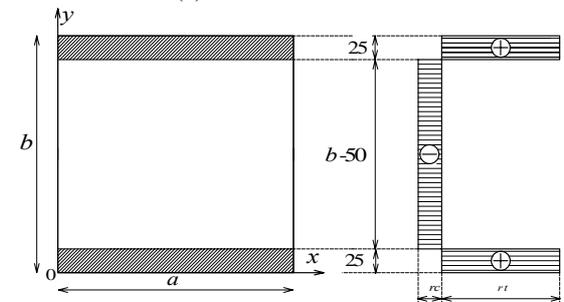


(b) MIG 溶接板

図 - 1 補剛板の作成



(a) FSW 板



(b) MIG 溶接板

図 - 2 解析モデルと残留応力分布

キーワード: アルミニウム合金, 残留応力, 初期たわみ, 摩擦攪拌接合, MIG 溶接

連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL06-6879-7618

4. FEM 解析

周辺単純支持の板幅 $a = b = 200\text{mm}$ の正方形板の解析モデルに対して，汎用有限解析プログラム MARC による FEM 解析を行った．8 節点厚肉曲面シェル要素(MARC の要素タイプ 22)を用いて，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．要素分割は 12×12 ，荷重は強制変位で与え，非載荷辺は面内方向に対して自由とした．初期たわみを次式で与えた．

$$w_0 = e_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \quad (5)$$

ここに， e_0 ：板中央の初期たわみ

縦軸は次式で定義される $\sigma_{p0.2}$ によって無次元化される．

$$\sigma_{p0.2} = \frac{A - A_w}{A} \sigma_{0.2} + \frac{A_w}{A} \sigma_{j0.2} \quad (6)$$

ここに， A ：板の断面積， A_w ：熱影響範囲の断面積， $\sigma_{0.2}$ ：母材の 0.2% 耐力(=245MPa)， $\sigma_{j0.2}$ ：熱影響範囲の 0.2% 耐力(=108MPa)

式(6)より，非接合板に対して，

$$\sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2} \quad (7)$$

式(6)より，FSW 板と MIG 溶接板に対して，

$$\sigma_{p0.2} = \frac{b - 100}{b - 50} \sigma_{0.2} + \frac{50}{b - 50} \sigma_{j0.2} \quad (8)$$

他方，横軸に次式で定義される幅厚比パラメータ R_p を用いている．

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

ここに， μ ：ポアソン比(=0.3)， β ：幅厚比(= b/t)

FSW 板の耐荷力と幅厚比パラメータの関係を図 - 3 に示す．耐荷力は残留応力を考慮した方が上昇している．同様に MIG 溶接板の場合の結果を図 - 4 に示す．耐荷力は残留応力を考慮した方が低下しているが，曲線はほぼ一致していることから，残留応力の影響は小さいといえる．

初期たわみを同条件として，残留応力を考慮しない場合の FSW 板と MIG 溶接板の耐荷力の比較を図 - 5 に示す．MIG 溶接板の耐荷力は FSW 板の耐荷力に比べて大きく低下することがわかる．この結果から，図 - 2 に示すように，強度低下を起こす熱影響範囲が板の中央部に位置する場合に比べて，板の端部に位置する場合の方が耐荷力を低下させる主要因と考えられる．

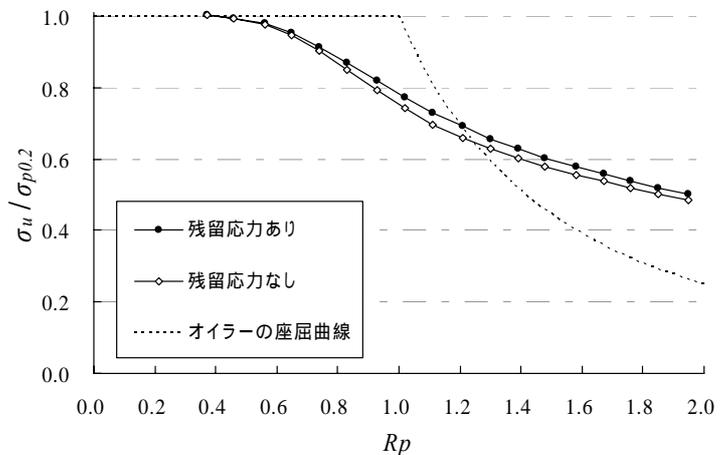


図 - 3 FSW 板 ($e_0 = b/150$)

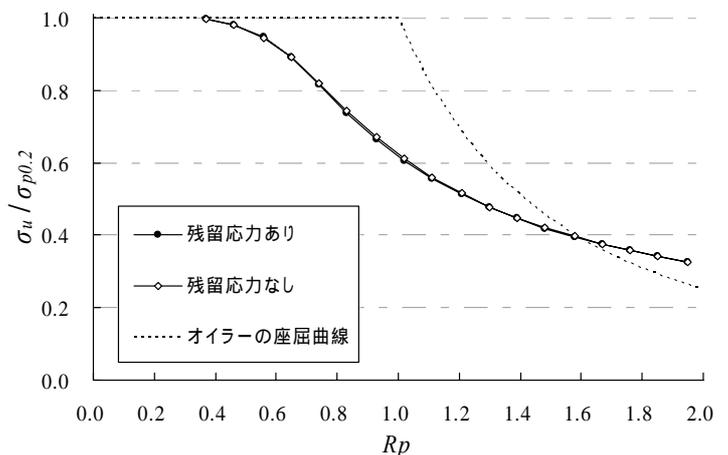


図 - 4 MIG 溶接板 ($e_0 = b/150$)

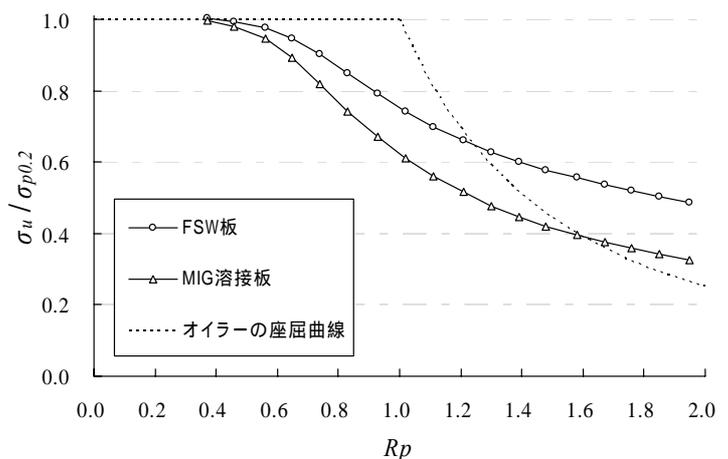


図 - 5 FSW 板と MIG 溶接板の耐荷力の比較 ($e_0 = b/150$)

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．