

1. はじめに

近年，初期コストだけでなく耐用年数を考慮に入れたライフサイクルコストを重視する傾向から，維持管理コストが少なくすむアルミニウム合金を社会基盤構造物に積極的に生かそうという動きが出てきた．しかし，アルミニウム合金の板要素の耐荷力に関する研究は，Mazzolani¹⁾によって行われた以外には非常に少ない．

本研究では，A6061-T6 および A5083-O のアルミニウム合金板が純圧縮を受ける場合，および MIG 溶接または FSW が施された場合に対して弾塑性有限変位解析を行い，純圧縮を受けるアルミニウム合金板の耐荷力特性を明らかにする．

2. 解析概要

本解析は汎用有限要素解析プログラム MARC を用いた弾塑性有限変位解析である．解析モデルを図 - 1 に示す．解析モデルは周辺単純支持，板幅 $b=300\text{mm}$ の正方形板とし，解析は対称性を考慮して 4 分の 1 モデルで行った．有限要素は 8 節点厚肉シェル要素を用い，要素分割は非接合板については 10×10 ，MIG 溶接板および FSW 接合板については後に述べる残留応力を導入するために 12×12 に分割した．荷重は強制変位によって与えた．非載荷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．

$$w_0 = e_0 \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{300}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi y}{300}\right) \quad (1)$$

ここに， e_0 の値を表 - 1 に示す．MIG 溶接板に対しては，道路橋示方書・同解説で規定される許容値と同じとした．FSW 接合板に対しては，溶接変形が少ないので e_0 の値を小さく設定した．

図 - 2 に示すように，MIG 溶接で部材を製作する場合，圧延板がすみ肉溶接される．FSW で部材を製作する場合，押出型材が突合せ溶接される．したがって，MIG 溶接板は両非載荷辺に MIG 溶接を施したモデルであり，FSW 接合板は両非載荷辺の中央に FSW を施したモデルである．残留応力は，接合中心から両側 25mm までは一様な引張残留応力，25mm より離れたところでは一様な圧縮残留応力を仮定し，引張残留応力 σ_{rt} および圧縮残留応力 σ_{rc} は次式で与えた²⁾．

$$\sigma_{rt} = \eta \cdot \sigma_{0.2} \quad (2)$$

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

ここに， $\sigma_{0.2}$ ：母材の 0.2% 耐力

η ：母材の 0.2% 耐力に対する

接合部の 0.2% 耐力の比

b ：板幅

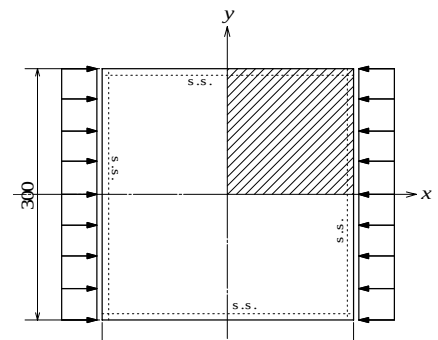


図 - 1 解析モデル

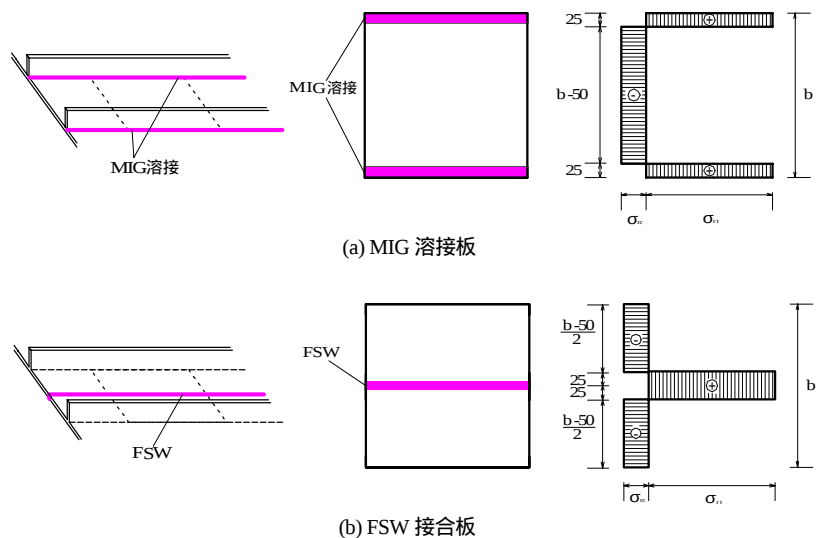


図 - 2 解析対象のモデル化と残留応力分布

応力 - ひずみ関係は次式で与えた²⁾。

$$\sigma \leq \sigma_{0.2} \text{ に対して, } \varepsilon = \frac{\sigma}{70000} + 0.002 \cdot \left(\frac{\sigma}{\eta \cdot \sigma_{0.2}} \right)^n \quad (4)$$

$$\sigma > \sigma_{0.2} \text{ に対して, } \sigma = \eta \cdot \sigma_{0.2} \quad (5)$$

式(4)と(5)に用いたパラメータを表-2に示す²⁾。

A6061-T6 などの 6000 系アルミニウム合金は接合による熱によって軟化するため、接合線から両側 25mm の範囲に渡って強度低下を起こす。すなわち、その範囲の応力 - ひずみ関係が母材とは異なる。したがって、接合線を中心として両側それぞれ 25mm の範囲における有限要素については、式(4)と(5)に MIG, FSW で示す欄の η および n の値を用いる。

表 - 1 初期たわみ

初期たわみ	非接合板	MIG 溶接板	FSW 接合板
e_0	$b/1000$	$b/150$	$b/500$

表 - 2 0.2%耐力とひずみ硬化パラメータ

アルミニウム合金	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	母材		MIG		FSW	
		η	n	η	n	η	n
A6061-T6	245	1.00	29.1	0.39	5.3	0.44	10
A5083-O	125	1.00	5.3	1.00	5.3	1.00	5.3

3. 解析結果

非接合板, MIG 溶接板および FSW 板の圧縮強度と幅厚比パラメータの関係を図-3に示す。ただし, A6061-T6 の MIG 溶接板および FSW 接合板については接合部が強度低下を起こすため、次式で定義される見かけの 0.2%耐力によって無次元化している。

$$\sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2} \left\{ 1 - \frac{A_w}{A} (1 - \eta) \right\} \quad (6)$$

ここに、 $\sigma_{p0.2}$ ：接合された板材の見掛けの 0.2%耐力、 A ：板材の全断面積、 A_w ：接合部の断面積
幅厚比パラメータは、見かけの 0.2%耐力 $\sigma_{p0.2}$ を用いて次式で定義している。

$$R_p = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{4} \cdot \frac{\sigma_{p0.2}}{E}} \cdot \beta \quad (7)$$

図-3より、MIG 溶接を施した板の場合、非接合板と比べて大きく圧縮強度が低下することがわかる。FSW を施した板の場合、 R_p が小さい範囲で若干の圧縮強度の低下が見られるが、 R_p が大きい範囲では非接合板よりも圧縮強度が上昇することがわかる。

4. 結論

弾塑性有限変位解析によって純圧縮を受けるアルミニウム合金の耐荷力を明らかにした。MIG 溶接板は非接合板に比べ圧縮強度が低いこと、FSW 接合板は非接合板と同等の圧縮強度を有していることがわかった。

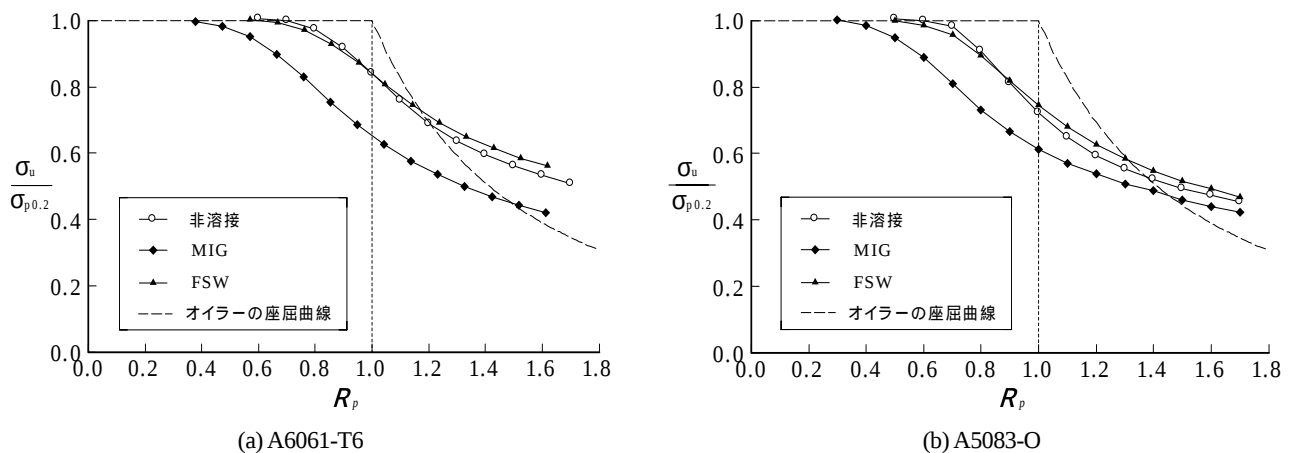


図 - 3 圧縮強度と幅厚比パラメータ R_p の関係

参考文献 1) F.M. Mazzolani: Aluminium Alloy Structures, Second Edition, E&FN SPON, 1995.

2) 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。