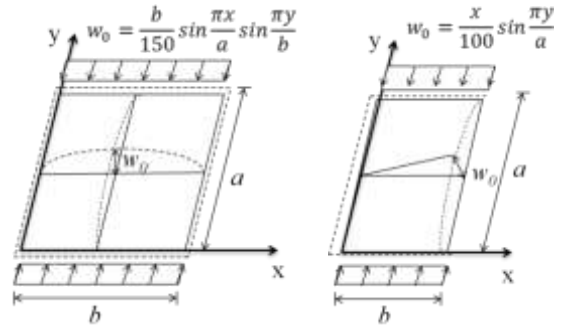


# 圧縮力を受けるアルミニウム薄板の座屈挙動と最大強度特性

熊本大学工学部 学生会員○井上 天 熊本大学大学院 正会員 葛西 昭  
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝

## 1. はじめに

軽量で耐食性が良く、押出加工が可能なアルミニウム材が注目されつつあり、アルミニウム歩道橋および歩道用アルミニウム床版等が建設されるようになってきた<sup>1)</sup>。しかし、橋梁の主要部材として、アルミニウム材を用いるにはまだ歴史が浅く、鋼材に比べると合理的な設計法が確立されてなく、未解明な点も多い。そこで、本研究では、構造部材の構成要素である板要素としてアルミニウム材を使用した場合の薄板の座屈挙動と耐荷力を解析的に調べたものである。薄板の幅厚比と境界条件を変えて数値解析を行うことにより検討を行ない、既往の研究データ<sup>2)</sup>と比較して妥当性を検証した。



(a)4 辺単純支持 (b)3 辺単純支持 1 辺自由板

図-1 解析モデル

## 2. 数値解析の概要

解析モデルは、図-1 に示すような初期不整を有する 4 辺単純支持の正方形無補剛板( $a/b=1$ )と 3 辺単純支持 1 辺自由の長方形板( $a/b=4$ )を用いた。解析では(1)式で与えられる幅厚比パラメータ  $R$  を 0.3~1.8 と変化させたモデルを使用した。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y \cdot 12(1-\nu^2)}{E \cdot \pi^2 \cdot k}} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_y = \sigma_{0.2}$ 、 $t$ :板厚、 $\nu$ :ポアソン比(=0.3)、 $k$ :座屈係数(4 辺単純支持板:4、3 辺単純支持 1 辺自由板:0.425)である。

使用材料は、構造用アルミニウム合金である非熱処理アルミニウム A5083-O (以後 A5 アルミとよぶ) と熱処理アルミニウム A6061-T6 (以後 A6 アルミとよぶ) とし、材料定数を表-1 に示した。構成則としては、図-2 に示すような Ramberg-Osgood 式に基づいた応力 - ひずみ関係<sup>2)</sup>を用いた。アルミニウム材モデルの初期不整としては初期たわみと残留応力を考慮した。初期たわみは 4 辺単純支持板、3 辺単純支持 1 辺自由板それぞれ図-1 に示すような最大初期たわみ値  $b/150$ 、 $b/100$  を有する正弦波とした。また、残留応力分布は板幅に依存するため、最大板幅は最大板厚を文献<sup>2)</sup>を参考にして、載荷辺の板幅  $b$  を 4 辺単純支持板は 960mm~250 mm、3 辺単純支持 1 辺自由板は 310mm~55mm とした。また、4 辺単純支持板の残留応力分布の例を図-3 に示すが、矩形分布で表され、端部接合板は MIG 溶接、等厚中央接合板は FSW(摩擦攪拌接合)で接合されている。FSW による接合部の疲労強度は従来の MIG 溶接のそれより格段に高くなり改良されている。

数値解析では、一般汎用シェル要素で構成された有限要素モデルを用い、汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS を用いた<sup>3)</sup>。要素分割数については、分割数を変化させて検討した結果、4 辺単純支持板では載荷辺、非載荷辺共に 50 とし、3 辺単純支持 1 辺自由板では載荷辺 20、非載荷辺 80 とした。また、圧縮等分布荷重を強制変位で与え、アルミニウム薄板の座屈挙動と耐荷力を評価することとした。

表-1 材料定数

材料	ヤング率 $E(\text{N/mm}^2)$	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}(\text{N/mm}^2)$	接合部0.2%耐力 $\sigma_{j0.2}(\text{N/mm}^2)$
A5083-O	$7.0 \times 10^4$	127	127
A6061-T6	$7.0 \times 10^4$	245	108

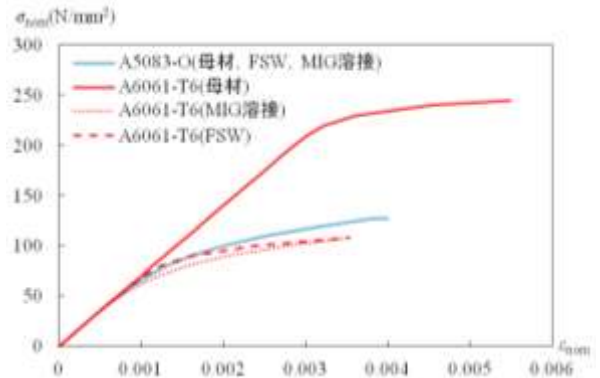


図-2 アルミ材の応力 - ひずみ関係

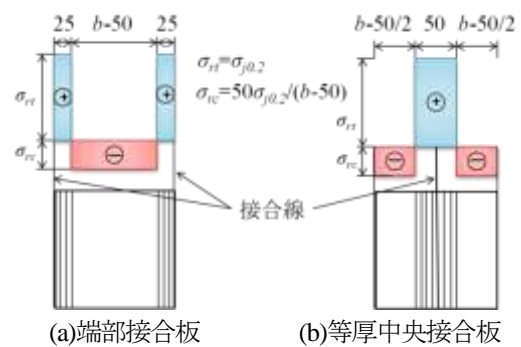


図-3 残留応力分布(4 辺単純支持板)

## 3. 解析結果と考察

### (1)4 辺単純支持板

図-4 は A5 アルミの端部接合板( $b=250$ )の  $P/P_{p0.2} - \delta/\delta_{p0.2}$  の関係を示した。 $P_{p0.2}$  は圧縮荷重の上限値、 $\delta_{p0.2}$  は  $P_{p0.2}$  が作用した時の変位である。図からわかるように、アルミニウム合金の荷重 - 変位関係は明確な降伏点がなく 0.2%耐力の近傍で曲線を描く。また、最大強度に達するまでは同じよ

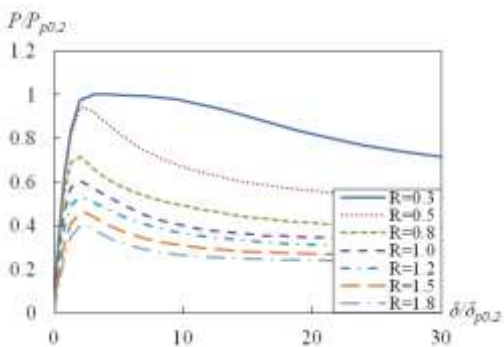
うな挙動を示すが、最大強度以降は幅厚比が大きい板ほど強度の低下が緩やかであることがわかる。図-5は、A5 アルミおよび A6 アルミの端部接合板( $b=250$ )、等厚中央接合板( $b=250$ )の $\sigma_u/\sigma_{p0.2}-R$ の関係を示した。なお、 $\sigma_u$ は最大圧縮強度、 $\sigma_{p0.2}$ は圧縮強度の上限値で、4辺単純支持板の圧縮強度の上限値について表-2にまとめて示す。本解析による耐荷力と大倉らの耐荷力算定式<sup>4)</sup>を比較すると、図-5(a)の端部接合板については、A5 アルミと A6 アルミ共に解析の耐荷力は、大倉らの耐荷力算定式とほぼ同様な結果を示しており問題ないと思われる。図-5(b)の等厚中央接合板についても同様に、A5 アルミと A6 アルミ共に解析の耐荷力は、大倉らの耐荷力算定式とほぼ同様な結果を示し、算定式を上回っているため問題ないと思われる。端部接合板と等厚中央接合板の耐荷力を比較したとき、幅厚比が大きくなるほど端部接合板では A6 アルミが A5 アルミを下回るが、等厚中央接合板ではそのようなことがない。また、等厚中央接合板の耐荷力の方が端部接合板よりも大きいことがわかる。そのため、今後 FSW によるアルミニウム部材が期待できる。

表-2 4辺単純支持板の圧縮強度の上限値 $\sigma_{p0.2}$

アルミニウム合金	非接合板	端部接合板	等厚中央接合板
A6061-T6	A	B	B
A5083-O	A	A	A
A: $\sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2}$		B: $\sigma_{p0.2} = \frac{b-50}{b}\sigma_{0.2} + \frac{50}{b}\sigma_{j0.2}$	

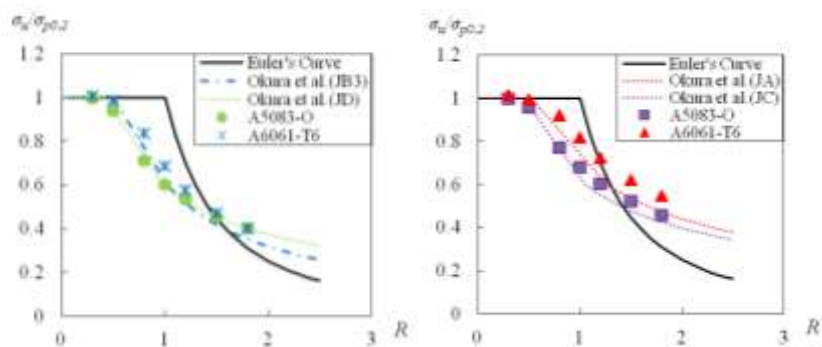
(2) 3 辺単純支持 1 辺自由板

図-6は A5 アルミの接合板( $b=55$ )の $P/P_{p0.2}-\delta/\delta_{p0.2}$ の関係を示したものである。4 辺単純支持板の荷重 - 変位関係に比べ、



A5083-O の端部接合板( $b=250$ )

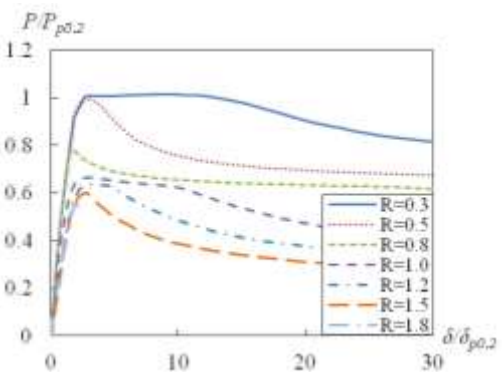
図-4 4 辺単純支持板の荷重 - 変位曲線



(a) 端部接合板

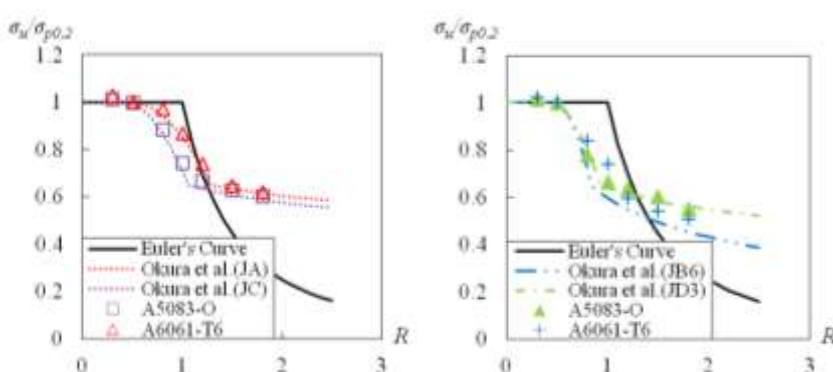
(b) 等厚中央接合板

図-5 4 辺単純支持板( $b=250$ )の耐荷力



A5083-O の接合板( $b=55$ )

図-6 3 辺単純支持 1 辺自由板の荷重 - 変位曲線



(a)非接合板

(b)接合板

図-7 3 辺単純支持 1 辺自由板( $b=55$ )の耐荷力

3 辺単純支持 1 辺自由板のそれでは最大強度以降の強度低下が小さいことがわかる。また、幅厚比が大きくなるほど最大強度にほとんど差が見られなくなっていることがわかる。次に、A5 アルミおよび A6 アルミの非接合板( $b=55$ )、接合板( $b=55$ )の $\sigma_u/\sigma_{p0.2}-R$ の関係を図-7に示した。なお、 $\sigma_u$ は最大圧縮強度、 $\sigma_{p0.2}$ は圧縮強度の上限値であり、3 辺単純支持 1 辺自由板の圧縮強度の上限値を表-3にまとめて示す。図-7より、非接合板は、A5 アルミと A6 アルミ共に大倉らの耐荷力算定式<sup>2)</sup>とほぼ同様な結果を示しており問題ないと思われる。接合板についても同様のことが言える。

表-3 3 辺単純支持 1 辺自由板の圧縮強度の上限値 $\sigma_{p0.2}$

アルミニウム合金	非接合板	接合板
A6061-T6	A	B
A5083-O	A	A
A: $\sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2}$		B: $\sigma_{p0.2} = \frac{b-25}{b}\sigma_{0.2} + \frac{25}{b}\sigma_{j0.2}$

参考文献

- 1) 大倉一郎, 萩澤亘保, 花崎昌幸: アルミニウム構造学入門, 東洋書店, 2006.
- 2) 大倉一郎: アルミニウム合金板の耐荷力, アルミニウム合金材の土木構造物への活用に関するシンポジウム, pp.44-64, 2012.
- 3) Dassault Systèmes Simulia Corp, ABAQUS Analysis User's Manual, Version 6.11, 2011.
- 4) 大倉一郎, 小笠原康二: 接合位置を考慮したアルミニウム合金板の圧縮耐荷力, 土木学会構造工学論文集 A, Vol.56A, pp.111-121, 2010.