

圧縮力を受けるアルミニウム板の座屈挙動と耐荷力の検討

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

1. はじめに

近年、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¹⁾。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おらず、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合金を使用した場合の圧縮力を受ける板の座屈挙動と耐荷力を解析的に調べた。板の幅厚比と境界条件を変えてパラメトリック解析を行い、接合位置や残留応力および板幅が座屈挙動や耐荷力に影響することを明らかにすると共に、既往の研究結果との比較を通して解析結果の妥当性を検証した。

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。

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

なお、 $\sigma_y = \sigma_{0.2}$:0.2%耐力、 t :板厚、 ν :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 系アルミとよぶ) と熱処理アルミニウム A6061-T6 (以後 A6 系アルミとよぶ) とし、材料定数を表-1 に示す。構成則として、図-2 に示すような Ramberg-Osgood 式に基づいた応力 σ - ひずみ ε 関係²⁾を用いた。初期不整として、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 $w_4 = b/150$ 、 $w_3 = b/100$ 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、最大板幅は文献 2) を参考にして、載荷辺の板幅 b を 4 辺単純支持板は 960mm~250mm、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、矩形分布で与えられ、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、汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS³⁾を使用した。シェル要素で構成された有限板要素モデルを用い、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、載荷辺に圧縮等分布荷重を変位制御で与え、アルミニウム板の座屈挙動と耐荷力を評価することとした。

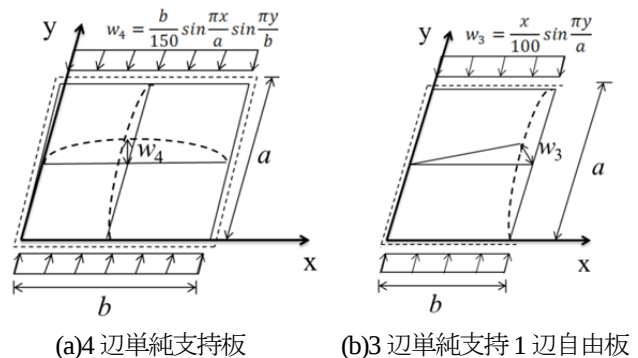


図-1 解析モデル

表-1 材料定数

材料	ヤング率 E (N/mm ²)	母材 0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	接合部 0.2%耐力 $\sigma_{j0.2}$ (N/mm ²)
非熱処理アルミニウム A5083-O	7.0×10^4	127	127
熱処理アルミニウム A6061-T6	7.0×10^4	245	108

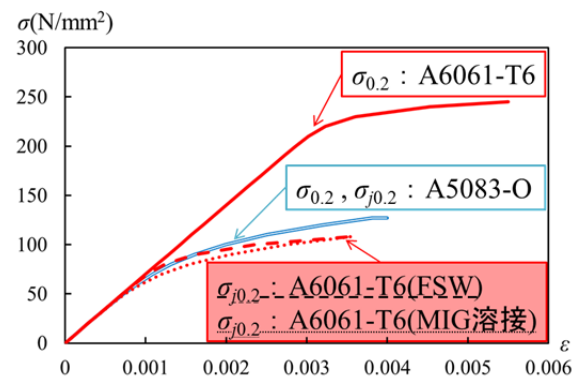


図-2 使用したアルミニウムの応力-ひずみ関係

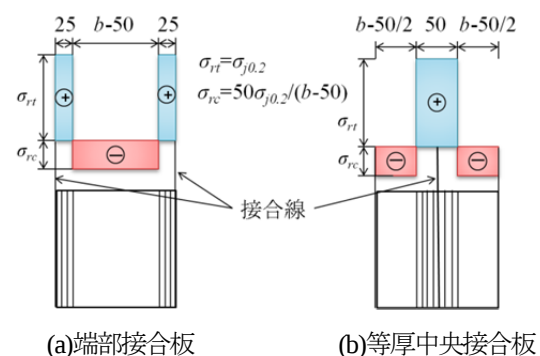


図-3 残留応力分布 (4 辺単純支持板)

3. 解析結果と考察

(1) 4 辺単純支持板

A6 系アルミの端部接合板($b=250$)の $P/P_{p0.2} - \delta/\delta_{p0.2}$ の関係を図-4 に示す。 $P_{p0.2}$ は圧縮荷重の上限値、 $\delta_{p0.2}$ は $P_{p0.2}$ が作用

キーワード アルミニウム合金、座屈挙動、FSW、耐荷力、幅厚比

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号 TEL096-344-2111

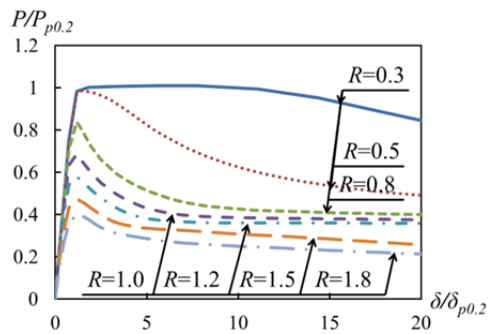
した時の変位である。図からわかるように、アルミニウム合金の荷重 - 変位関係は明確な降伏点がなく、0.2%耐力の近傍で曲線を描き、幅厚比の小さいモデルではひずみ硬化が見られる。図-5は、 $b=250$ モデルのA5系アルミおよびA6系アルミの端部接合板、等厚中央接合板の $\sigma_u/\sigma_{p0.2}-R$ の関係を示したものである。なお、 σ_u は最大圧縮強度、 $\sigma_{p0.2}$ は圧縮強度の上限値で、4辺単純支持板の圧縮強度の上限値について表-2にまとめて示す。本解析による耐力力と大倉らの耐力力算定式²⁾を比較すると、図5より端部接合板と等厚中央接合板におけるA5系アルミおよびA6系アルミの耐力力は、大倉らの耐力力算定式とほぼ同様な結果を示しており、本解析は妥当であると思われる。端部接合板と等厚中央接合板の耐力力を比較したとき、幅厚比が大きくなるほど端部接合板ではA6系アルミがA5系アルミを下回るが、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力力の方が端部接合板よりも大きいことがわかる。これは、板中央に存在する引張残留応力によって圧縮応力が相殺されるためであると考えられる。そのため、今後FSWによるアルミニウム部材に期待できるとと思われる。

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
$A: \sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2} \quad B: \sigma_{p0.2} = \frac{b-50}{b} \sigma_{0.2} + \frac{50}{b} \sigma_{j0.2}$			

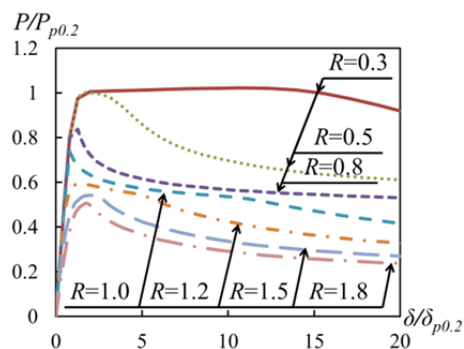
(2) 3辺単純支持1辺自由板

A6系アルミの端部接合板($b=55$)の $P/P_{p0.2}-\delta/\delta_{p0.2}$ の関係を図-6に示す。4辺単純支持板の荷重 - 変位関係に比べ、3辺単純支持1辺自由板のそれでは幅厚比が大きくなるほど最大強



A6系アルミの端部接合板($b=250$)

図-4 4辺単純支持板の荷重 - 変位曲線



A6系アルミの端部接合板($b=55$)

図-6 3辺単純支持1辺自由板の荷重 - 変位曲線

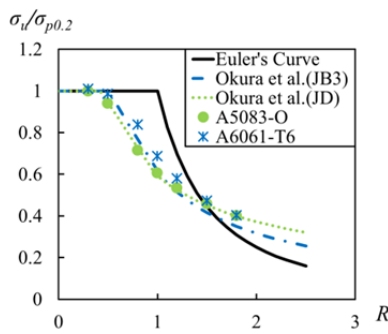
度にはほとんど差が見られなくなっていることがわかる。また、 $R \geq 1.2$ の板の最大強度以降の挙動が $R < 1.2$ のそれと異なる。これは、座屈後の軟化挙動において、座屈モードの局所化現象によるものだと考えられる。図-7は $b=55$ モデルのA5系アルミおよびA6系アルミの非接合板、端部接合板の $\sigma_u/\sigma_{p0.2}-R$ の関係を示したものである。なお、 σ_u は最大圧縮強度、 $\sigma_{p0.2}$ は圧縮強度の上限値であり、3辺単純支持1辺自由板の圧縮強度の上限値を表-3にまとめて示す。図-7より、本解析の非接合板と端部接合板におけるA5系アルミおよびA6系アルミの耐力力は、大倉らの耐力力算定式²⁾とほぼ同様な結果を示しており、本解析は妥当であると思われる。図-5(a)と図-7(b)を比較すると、3辺単純支持1辺自由板では $R \geq 1.2$ で強度の低下が小さくなっている。要因として、座屈モードと塑性域の広がりと考えられる。

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

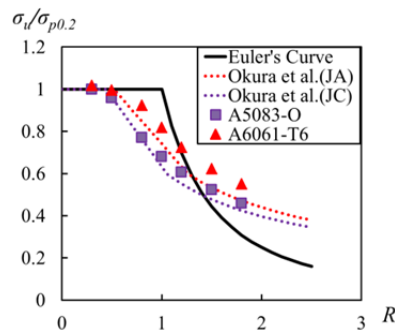
アルミニウム合金	非接合板	接合板
A6061-T6	A	B
A5083-O	A	A
$A: \sigma_{p0.2} = \sigma_{0.2} \quad B: \sigma_{p0.2} = \frac{b-25}{b} \sigma_{0.2} + \frac{25}{b} \sigma_{j0.2}$		

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力力，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。

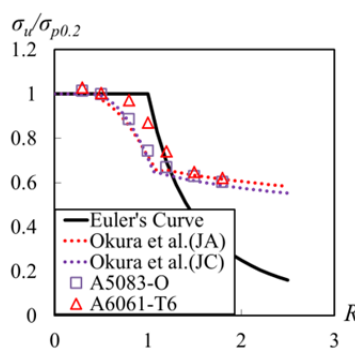


(a) 端部接合板

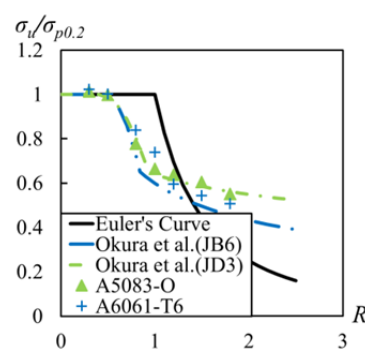


(b) 等厚中央接合板

図-5 4辺単純支持板($b=250$)の耐力力



(a) 非接合板



(b) 端部接合板

図-7 3辺単純支持1辺自由板($b=55$)の耐力力