

面内曲げを受ける突起付きアルミニウム合金板の断面形状決定法

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○西森 文子
大阪大学大学院工学研究科 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

近年、アルミニウム歩道橋、歩道用アルミニウム床版、道路橋用アルミニウム床版－鋼桁橋が建設されるようになってきた。桁もアルミニウム合金で製作されるようになれば、被災時緊急橋、耐震性に優れる橋、メンテナンス・フリー橋を建設することができる。

0.2%耐力の高い6000系アルミニウム合金を道路橋用の桁に使用できるようにするために、図-1に示すような突起付き桁が提案された¹⁾。T型断面の押出形材を摩擦撚拌接合(FSW)で接合することにより製作される。押出により任意の断面形状の形材の製造が可能であるため、材料を最少にする断面形状が求められている。本研究は、面内曲げを受ける突起付きアルミニウム合金板の断面形状を決定する方法を与えることを目的とする。

2. 座屈係数と突起剛比の関係

図-2に示す、面内曲げを受ける突起付き長方形板に対して、座屈係数と突起剛比の関係、および座屈波長を与える縦横比と突起剛比の関係が、過去の研究²⁾の見直しにより、それぞれ次式のように定式化される。

$$k = 10.62 \frac{1 + 1.25\sqrt{1 + c_1 s \gamma}}{1 + c_2 s \delta} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{2}{3} (1 + s \gamma)^{c_4} \quad (2)$$

ここに、 k ：座屈係数、 $\alpha = a/b$ ：縦横比、 a ：長方形板の長さ、 b ：板幅、 s ：パネルの総数、 $\gamma = EI_r / (Db)$ ：突起剛比、 $\delta = A_r / (bt)$ ：突起断面積比、 E ：ヤング率、 I_r ：一つの突起の断面二次モーメント、 D ：板曲げ剛性、 A_r ：一つの突起の断面積、 t ：突起付き長方形板の板厚、 c_1 、 c_2 、 c_4 ：表-1に示す係数。

3. 突起付き長方形板の断面積減少率

式(1)で与えられる突起付き長方形板の座屈強度と突起無し長方形板の座屈強度を等置することにより、突起無し長方形板の座屈強度を維持する、突起付き長方形板の断面積減少率 η が次式で与えられる。

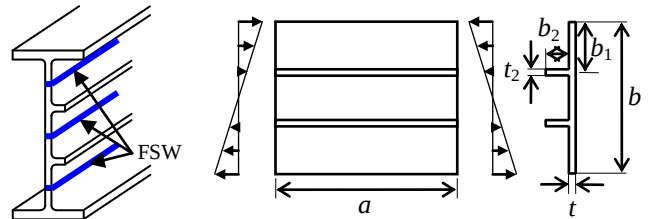


図-1 突起付き桁

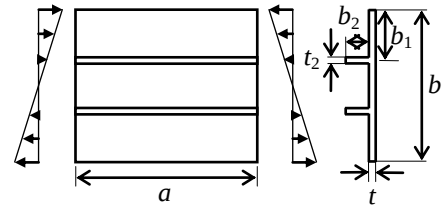


図-2 面内曲げを受ける突起付き長方形板

表-1 c_1 , c_2 , c_4 の値

s	c_1	c_2	c_4
2	0.7	0	0.18
3	1	0.92	0.25
4以上	1	1	0.25

$$\eta = \frac{A}{A_0} = \frac{\beta_0}{\beta} \left\{ 1 + \frac{(s-1)c_3\beta_r\xi^2}{\beta} \right\} \quad (3)$$

ここに、 A ：突起付き長方形板の断面積、 A_0 ：突起無し長方形板の断面積、 β_0 ：突起無し長方形板の幅厚比、 β ：突起付き長方形板の幅厚比、 β_r ：突起の幅厚比、 c_3 ：係数であり、片側突起の場合1、両側突起の場合2。さらに、式(3)の ξ は次式で与えられる板厚比である。

$$\xi = \frac{t_2}{t} = \sqrt{\frac{H_2 H_3 + \sqrt{H_1(H_3^2 - 1)} + H_2^2}{H_1 - H_2^2}} \quad (4)$$

ここで、

$$H_1 = \frac{4(1-\mu^2)c_1c_3s\beta_r^3}{\beta}, H_2 = 1.8 \frac{c_2c_3s\beta\beta_r}{\beta_0^2}, H_3 = 1.8 \left(\frac{\beta}{\beta_0} \right)^2 - 0.8$$

であり、 μ はポアソン比である。

β_0 は次式で与えられる。

$$\beta_0 = \pi \sqrt{\frac{23.9}{12(1-\mu^2)}} \frac{E}{\sigma_{0.2}} R \quad (5)$$

ここに、 $\sigma_{0.2}$ ：アルミニウム合金の0.2%耐力、 R ：面内曲げを受ける突起無し長方形板の幅厚比パラメータ。

アルミニウム合金 A6061-T6 ($\sigma_{0.2}=245\text{MPa}$) の片側突起の長方形板に対する η と β の関係を図-3に示す。ここで、 $E=70\text{GPa}$ 、 $\mu=0.3$ 、 $\beta_0=74$ ($R=0.94$)、 $\beta_r=5$ である。図中の白丸は、突起付き長方形板が全体座屈を起こす

キーワード アルミニウム合金板、突起、面内曲げ、座屈強度、耐荷力

連絡先 〒565-0871 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

幅厚比の上限を示し、次式で与えられる.

$$\beta_{MI} = \begin{cases} 1.06\beta_0 & (s=2) \\ s\sqrt{\frac{8.4s}{23.9(2.1s-2)}}\beta_0 & (s \geq 3) \end{cases} \quad (6)$$

図-3 から分かるように、 $s=4$ と 5 に対する η の最小値は、それぞれ 0.651 , 0.632 であり、 $s=5$ に対する η が最も小さくなる. しかし、この程度の差であれば、幅厚比 β が小さい、すなわち板厚が厚い $s=4$ の突起付き長方形板が実際の設計ではよいと考える.

$s=4$ に対して、片側突起と両側突起の断面積減少率の比較を図-4 に示す. 同一の β に対して、片側突起の方が両側突起より断面積減少率が小さくなるので、片側突起の方が有利である.

4. 突起付き長方形板の耐荷力

突起無し長方形板の座屈強度を維持するように決定された突起付き長方形板が、突起無し長方形板の耐荷力を維持していることを確認するために、汎用有限要素解析プログラム MARC を用いて弾塑性有限変位解析を行う. 解析対象は 4 辺単純支持された片側突起の長方形板である. 荷重を強制回転によって与え、非載荷辺の面内方向の変位を自由とする. 長方形板の長さ a に対して、 $\gamma = EI_r / (Db)$ を式(2)に代入して、次式で与えられる座屈波長を用いる.

$$a = \frac{2}{3}b \left\{ 1 + \frac{4(1-\mu^2)c_3 s \beta_r^3 \xi^4}{\beta} \right\}^{c_4} \quad (7)$$

応力-ひずみ関係に対して、次式を使用する³⁾.

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n & (\sigma \leq \sigma_{0.2}) \\ \sigma = \sigma_{0.2} & (\sigma > \sigma_{0.2}) \end{cases} \quad (8)$$

ここに、 ε : ひずみ、 σ : 応力、 $\sigma_{0.2}$: アルミニウム合金の 0.2%耐力、 n : ひずみ硬化パラメータ.

初期たわみに対して次式を仮定する.

$$w_0 = \frac{b}{250} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \quad (9)$$

アルミニウム合金 A6061-T6 ($\sigma_{0.2}=245\text{MPa}$, $n=29.1$) に対して、 $s=4$ の片側突起の長方形板の耐荷力 $\sigma_u/\sigma_{0.2}$ と幅厚比 β の関係を図-5 に示す. ここで、 $\beta_0=74$, $\beta_{MI}=139$ である. 突起付き長方形板の耐荷力は、幅厚比が β_0 から β_{MI} の範囲で、突起無し長方形板の耐荷力より大きくなるが、 β_{MI} 以降で低下に転じる. したがって、突起付き長方形板の耐荷力は、幅厚比が β_0 から β_{MI} の範囲で、突起無し長方形板の耐荷力を用いることによって安全

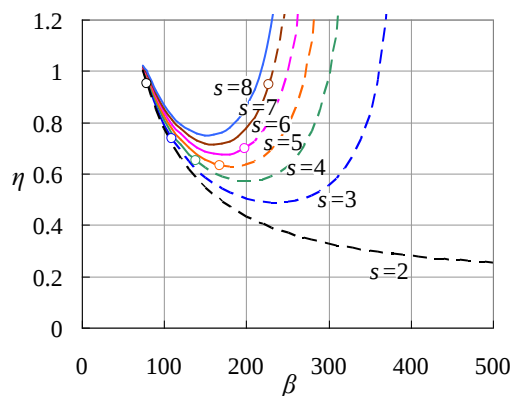


図-3 η と β の関係

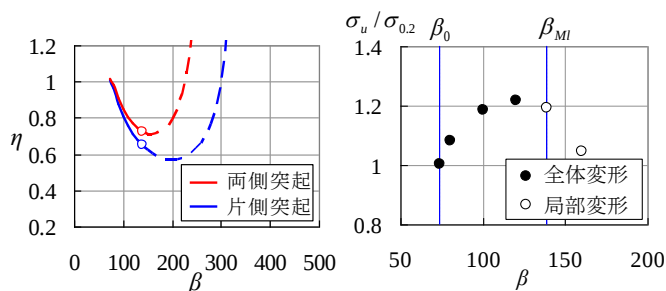


図-4 片側突起と
両側突起の比較

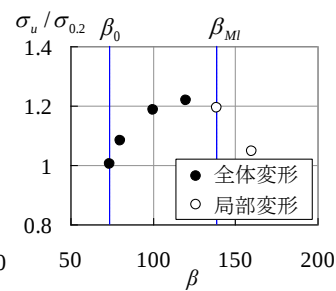


図-5 耐荷力と
幅厚比の関係

側に評価される.

5. 結論

突起付き長方形板の断面積減少率と幅厚比の関係を与え、断面積を減らすパネル総数として 4 がよいこと、ならびに片側突起が両側突起より有利であることを示した. 突起付き長方形板が全体座屈を起こす幅厚比の範囲で、突起付き長方形板の耐荷力は、突起無し長方形板の耐荷力を用いることによって安全側に評価されることを示した.

参考文献

- 1) 大倉一郎, 北村幸嗣, 赤崎圭輔, 卯瀧高久, ビッグ・ラズロ・ゲルゲリ, 三河克己: 新しいアルミニウム合金製補剛桁の提案, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.203-210, 2005.
- 2) 大倉一郎, 佐藤純: 摩擦撹拌接合を考慮した突起付きアルミニウム合金板の提案, ALST 研究レポート, No.11, 2009.
- 3) 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-ひずみ関係および接合によって発生する残留応力の定式化, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.789-805, 2008.