

大阪大学工学部 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および道路橋用アルミニウム床版を用いた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<sup>1)</sup>。T 型断面の押出材を摩擦攪拌接合(FSW)で接合することにより製作される。押出材により任意の断面形状を製造することが可能であるため、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確立することを目的とする。

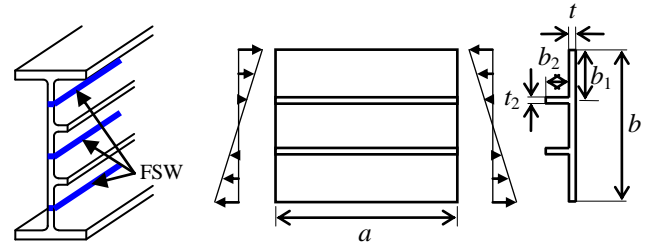


図-1 突起付き桁 図-2 曲げを受ける突起付き長方形板

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

2. 座屈係数と突起剛比の関係の定式化

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と突起剛比の関係が、過去の研究<sup>2)</sup>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しく置いて、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  $\eta$  が次式で与えられる。

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

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、 $\beta_0$ ：突起無し長方形板の幅厚比、 $\beta$ ：突起付き長方形板の幅厚比、 $\beta_r$ ：突起の幅厚比、 $\mu$ ：ポアソン比、 $c_3$ ：片側突起の場合 1、両側突起の場合 2。

さらに、式(3)の中の  $\xi$  は次式で与えられる。

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

ここに、

$$H_1 = \frac{4(1 - \mu^2)c_1 c_3 s \beta_r^3}{\beta}, H_2 = 1.8 \frac{c_2 c_3 s \beta \beta_r}{\beta_0^2}, H_3 = 1.8 \left( \frac{\beta}{\beta_0} \right)^2 - 0.8$$

$\beta_0$  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 ( $\sigma_{0.2}=245\text{MPa}$ ) の片側突起付き長方形板に対する  $\eta$  と  $\beta$  の関係を図-3 に示す。ここで、 $E=70\text{GPa}$ 、 $\mu=0.3$ 、 $\beta_0=74$ 、 $\beta_r=5$  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幅厚比の上限を示し、次式で与えられる。

$$\beta_{M1} = \begin{cases} 1.06\beta_0 & (s=2) \\ s\sqrt{\frac{8.4s}{23.9(2.1s-2)}}\beta_0 & (s \geq 3) \end{cases} \quad (6)$$

図-3 から分かるように、 $s=4$  と  $5$  に対する  $\eta$  の最小値は、それぞれ  $0.651$ ,  $0.632$  であり、 $s=5$  に対する  $\eta$  が最も小さくなるが、この程度の差であれば、幅厚比  $\beta$  の小さい  $s=4$  の突起付き長方形板が実際の設計ではよいと考える。

#### 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保持していることを確認する必要があるため、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 辺単純支持された突起付き長方形板であり、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  $a$  に対して座屈波長を用い、 $\gamma = EI_r / (Db)$  を式(2)に代入し、次式で与えられる長さを用いる。

$$a = \frac{2}{3}b \left\{ 1 + \frac{4(1-\mu^2)c_3s\beta_r^3\xi^4}{\beta} \right\}^{c_4} \quad (7)$$

応力 - ひずみ関係に対して次式を使用する<sup>3)</sup>。

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

ここに、 $\varepsilon$  : ひずみ、 $\sigma$  : 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、 $s=4$  の突起付き長方形板の耐荷力  $\sigma_u/\sigma_{0.2}$  と幅厚比  $\beta$  の関係を図-4 に示す。突起付き長方形板の耐荷力は、幅厚比が  $\beta_0$  から  $\beta_{M1}$  の範囲で、突起無し長方形板の耐荷力より大きくなるが、 $\beta_{M1}$  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  $\beta_0$  から  $\beta_{M1}$  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に評価される。

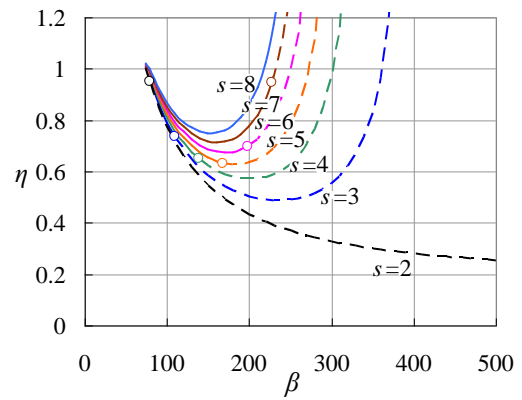


図-3  $\eta$  と  $\beta$  の関係

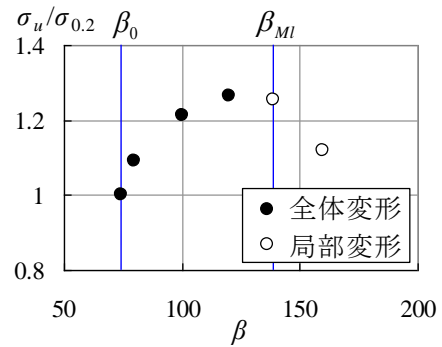


図-4 耐荷力と幅厚比の関係

#### 5. 結論

突起無し長方形板の幅厚比、突起の幅厚比、パネルの総数を既知量として与え、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た。そして、断面積を減らすパネル総数として 4 がよいことを示した。

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より大きくなる。したがって、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。

#### 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: 摩擦撈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.