

第 I 部門

面内曲げを受ける縦補剛されたアルミニウム合金板の最適断面形状と耐荷力

大阪大学工学部 学生会員 ○清水 弘樹  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 大倉 一郎

1. はじめに

アルミニウム合金（以下、AL 合金と記す）は軽量で耐食性に優れるため、歩道橋および拡幅歩行者用床版に使用されるようになってきた。さらに、道路橋用 AL 床版が建設され、2015 年には津波対策用緊急仮設橋に AL 床版が採用された。このような状況で、道路橋の桁にも AL 合金材が適用されることが期待される。

これまで、AL 合金桁の曲げ耐荷力に関する研究が行われたが<sup>1)</sup>、ウェブが縦補剛された桁については未だ検討されていない。本研究では、面内曲げを受ける、縦補剛された A6061-T6 合金板の耐荷力を明らかにすることを目的とする。

2. 等間隔に縦補剛された長方形板の最適断面形状

図 1 を参照して、面内曲げを受ける等間隔に縦補剛された長方形板の幅厚比パラメータ  $R$  は次式で与えられる。

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{cr}}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{10.62} \frac{\sigma_{0.2}}{E} \frac{b}{t}} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{4j(1-\mu^2)\beta_r(t_r/t)^4}{b/t} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{j\beta_r(t_r/t)^2}{b/t} \quad (3)$$

$$\beta_0 \leq b/t \leq \beta_1 = s \sqrt{\frac{8.4s}{23.9(2.1s-2)}} \beta_0 \quad (s \geq 3) \quad (4)$$

ここに、 $\sigma_{0.2}$ : 0.2% 耐力 (=245MPa),  $\sigma_{cr}$ : 座屈強度,  $\mu$ : ポアソン比 (=0.3),  $E$ : ヤング係数 (=70GPa),  $s$ : 縦補剛材で区切られた板要素の総数,  $\gamma$ : 板の曲げ剛性に対する一つの縦補剛材の曲げ剛性の比,  $\delta$ : 板の断面積に対する一つの縦補剛材の断面積の比,  $j$ : 片側補剛の場合 1, 両側補剛の場合 2,  $\beta_r$ : 縦補剛材の幅厚比 (=6.28),  $c_1, c_2$ :  $s$  に依存する係数,  $\beta_0$ : 無補剛板の幅厚比,  $\beta_1$ : 縦補剛板が全体座屈を起こす限界の幅厚比

次に、式(2)と式(3)を式(1)に代入して、 $t_r/t$  について解いて次式を得る。

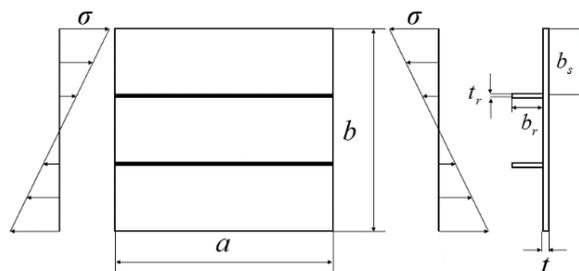


図 1 面内曲げを受ける縦補剛板

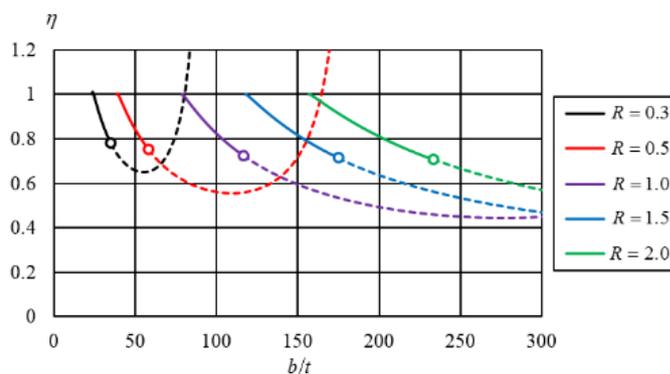


図 2  $\eta$  と  $b/t$  の関係 ( $s=3$ )

$$\frac{t_r}{t} = \sqrt{\frac{H_2 H_3 (H_3 - 0.8) + \sqrt{H_2^2 H_3^2 + H_1 H_3 \{1 - (H_3 - 0.8)^2\}}}{H_1 - H_2^2 H_3^2}} \quad (5)$$

ここに、 $H_1 = \frac{4(1-\mu^2)js\beta_r^3}{b/t}$ ,  $H_2 = \frac{js\beta_r}{b/t}$

$$H_3 = \frac{1}{\pi^2} \frac{6(1-\mu^2)}{R^2} \frac{\sigma_{0.2}}{E} \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

無補剛板の断面積  $A_0$  に対する縦補剛板の断面積  $A$  の比、すなわち断面積変化率  $\eta$  が次式で与えられる。

$$\eta = \frac{A}{A_0} = \frac{\beta_0}{b/t} \left\{ 1 + \frac{(s-1)j\beta_r(t_r/t)^2}{b/t} \right\} \quad (6)$$

式(5)と式(6)から得られる  $\eta$  と幅厚比  $b/t$  の関係を図 2 に示す。図 2 の白抜き点は  $\beta_1$  に対応する。

縦補剛板の断面積に対する板幅の自乗の比、すなわち幅自乗断面積比  $b^2/A$  が次式で与えられる。

$s=1$  に対して、

$$\frac{b^2}{A_0} = \beta_0 = \pi R \sqrt{\frac{23.9}{12(1-\mu^2)} \frac{E}{\sigma_{0.2}}} = 78.56R \quad (7)$$

$s \geq 2$  に対して、

$$\frac{b^2}{A} = \frac{(b/t)^2}{b/t + 6.28j(s-1)(t_r/t)^2} \quad (8)$$

$\eta$  が最小のときの  $b/t$  と  $R$  の関係,  $t_r/t$  と  $R$  の関係,  $b^2/A$  と  $R$  の関係が,  $s=3$  に対して, それぞれ次式で与えられる.

$$b/t = 116.71R \quad (9)$$

$$t_r/t = 0.847R^{0.208} \quad (10)$$

$$b^2/A = 112.868R - 4.223 \quad (11)$$

ここに,  $0.3 \leq R \leq 2.0$

式(11)が与える関係を図3に示す. この関係式は,  $R$  のある値に対して,  $b^2/A$  の最大の値を示している. 反対に,  $b^2/A$  のある値に対して,  $R$  の最小の値を示している.

図4に示すように, 耐力力は  $R$  に関して単調現象の関数となるので,  $R$  の最小値に対して, 耐力力は最大となる. したがって, この  $b^2/A$  を与える断面形状が最適断面形状である.  $s=3$  に対して, 縦補剛板の最適断面形状を与える  $b/t$  と  $b^2/A$  の関係,  $t_r/t$  と  $b^2/A$  の関係が, それぞれ次式で与えられる.

$$b/t = 1.034b^2/A + 4.367 \quad (12)$$

$$t_r/t = 0.847 \left( \frac{b^2/A + 4.223}{112.868} \right)^{0.208} \quad (13)$$

ここに,  $29.637 \leq b^2/A \leq 221.513$

### 3. FEMによる弾塑性有限変位解析

FEMによる弾塑性有限変位解析により, 面内曲げを受ける縦補剛板の耐力力を明らかにする. 座屈波長を考慮して, 縦補剛板の長さは次式で与えられる.

$$a = \frac{2}{3}b(1+s\gamma)^{0.25} = \frac{2}{3}b \left\{ 1 + \frac{4(1-\mu^2)js\beta_r^3(t_r/t)^4}{b/t} \right\}^{0.25} \quad (14)$$

次式で与えられる初期たわみ  $w_0$  を縦補剛板に仮定する.

$$w_0 = -\frac{b}{250} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) + \frac{b}{150s} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{s\pi y}{b}\right) \quad (15)$$

ここに,  $m$ : 局部座屈に類似する初期たわみ形状のモード数

解析結果を図4に示す. 赤色の曲線は, 解析結果に対する近似曲線である. 黒色の曲線は, 無補剛板の耐力力曲線である<sup>2)</sup>.

式(11)を図4の関係に用いることで,  $\sigma_u/\sigma_{0.2}$  と  $b^2/A$  の関係を得る. 図5より,  $b^2/A$  のある値, すなわちある断

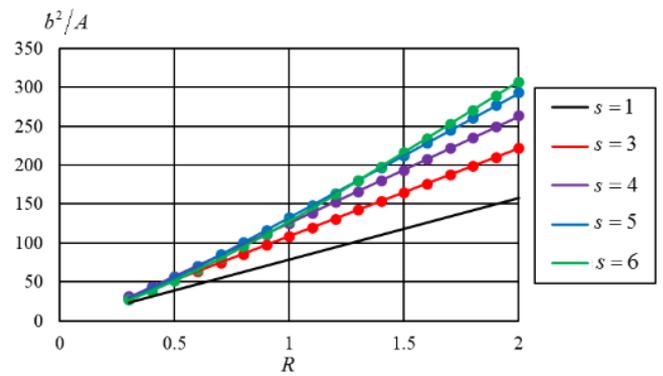


図3  $\eta$  が最小のときの  $b^2/A$  と  $R$  の関係

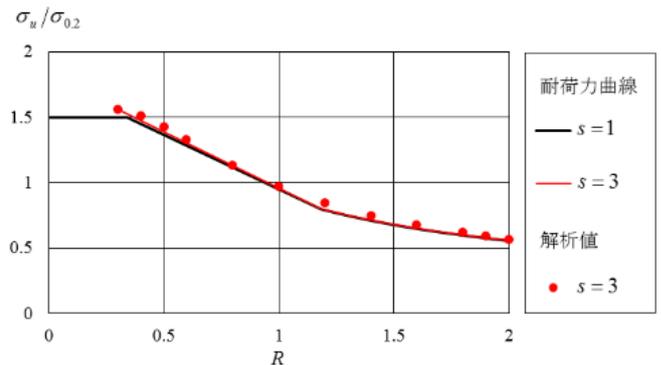


図4  $\sigma_u/\sigma_{0.2}$  と  $R$  の関係

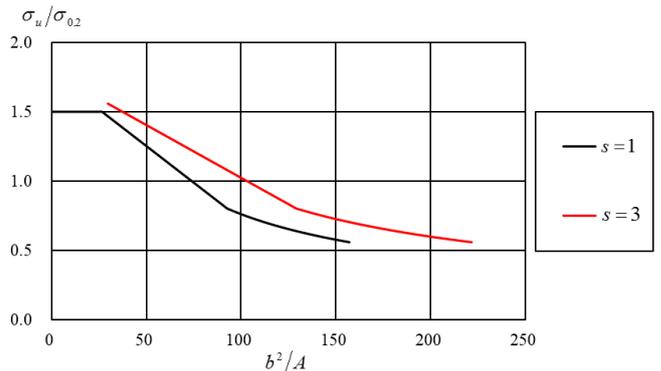


図5  $\sigma_u/\sigma_{0.2}$  と  $b^2/A$  の関係

面積に対して, 縦補剛板の耐力力が無補剛板の耐力力をかなり上回っている.

### 4. 結論

面内曲げを受ける, 等間隔に縦補剛された長方形板の最適断面形状を示し, これに対する面内曲げ耐力力を与えた.

### 参考文献

- 1) 鳥畑一博, 大倉一郎: 曲げを受けるアルミニウム合金桁の耐力力, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.93-101, 2016.
- 2) 大倉一郎, 小笠原康二: 接合位置と板幅がアルミニウム合金板の曲げ耐力力に与える影響, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.2, pp.287-299, 2012.