

## 曲げを受けるアルミニウム合金桁の耐荷力

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○鳥畑一博  
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 大倉一郎

### 1. はじめに

アルミニウム合金は軽量で、耐食性に優れることから歩道橋や歩行者用拡幅床版に使用されるようになってきた。さらに、道路橋用アルミニウム床版-鋼桁橋の試験施工も実施されている。このような状況で、アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針(案)<sup>1)</sup>が土木学会で作成されたが、曲げを受ける桁に対してその許容応力度はまだ与えられていない。本研究では、曲げを受けるアルミニウム合金桁の耐荷力を与える。

### 2. 桁の曲げ耐荷力

曲げを受ける桁の耐荷力が次式で与えられると仮定する。

$$\frac{M_u}{M_y} = g_w g_f \quad (1)$$

$$g_w = \begin{cases} \frac{1 + \frac{A_w}{4A_f}}{1 + \frac{A_w}{6A_f}} & \left( \frac{b_w}{t_w} \leq \beta_0 \right) \\ 1 - \frac{\frac{A_w}{A_f} \frac{b_w}{t_w} - \beta_1}{12 \left( 1 + \frac{A_w}{6A_f} \right) (\beta_1 - \beta_0)} & \left( \beta_0 \leq \frac{b_w}{t_w} \leq \beta_2 \right) \\ \frac{1 + \frac{2A_w}{15A_f} \left( \beta_2 \frac{t_w}{b_w} \right)^m}{1 + \frac{A_w}{6A_f}} & \left( \beta_2 \leq \frac{b_w}{t_w} < \beta_3 \right) \end{cases} \quad (2)$$

$$g_f = \begin{cases} 1 & (\lambda_f \leq \lambda_1) \\ a_0 + a_1 \lambda_f + a_2 \lambda_f^2 + a_3 \lambda_f^3 + a_4 \lambda_f^4 & (\lambda_1 \leq \lambda_f \leq 2) \end{cases} \quad (3)$$

$$\lambda_f = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E}} \frac{l}{B_f} \quad (4)$$

ここに、 $M_u$  : 桁の終局曲げモーメント、 $M_y = \sigma_{0.2} W$  : 桁の降伏曲げモーメント、 $\sigma_{0.2}$  : アルミニウム合金の0.2%耐力、 $W$  : 桁の弾性断面係数、 $A_w$  : ウェブの断面積、 $A_f$  : フランジの断面積、 $b_w$  : ウェブの幅、 $t_w$  : ウェブの板厚、 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, m$  : 表1に示す値、 $\lambda_f$  : フランジの水平座屈に関する細長比パラメータ、 $l$  : 桁の長さ、 $B_f$  : フランジの全幅、 $E$  : ヤング係数、 $\lambda_1, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  : 表2に示す値。

表1  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, m$ の値

アルミニウム合金	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$m$
A6061-T6	26.7	73.8	92.6	157.1	0.69
A5083-O	29.4	89.5	113.5	218.2	0.67

表2  $\lambda_1, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ の値

アルミニウム合金	$\lambda_1$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
A6061-T6	0.13	1.01	-0.03	-0.30	-0.04	0.05
A5083-O	0.09	1.00	0.10	-1.13	0.72	-0.14

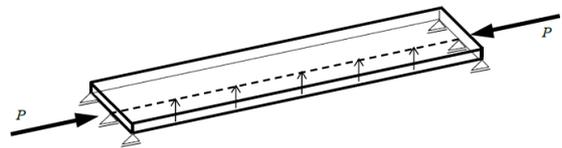


図1 圧縮を受ける平板部材

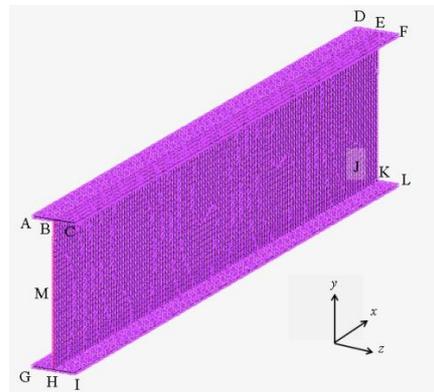


図2 要素分割

$g_w$ は、上フランジが水平座屈を起こさない場合に対する、桁の曲げ耐荷力を与える関数である。この関数は、面内曲げを受ける長方形板の耐荷力を桁のウェブに適用することによって与えられる<sup>2)</sup>。 $g_f$ は、フランジの水平座屈に対する耐荷力を与える関数であり、図1に示すように、幅中央の位置(破線で表示)で鉛直方向の変位が拘束された平板部材が、圧縮を受けて水平方向に座屈する場合に対する耐荷力<sup>1)</sup>を与える。

FEMによる弾塑性有限変位解析によって得られる桁の曲げ耐荷力と式(1)が与える耐荷力とを比較することにより、同式の妥当性を次に調べる。

キーワード アルミニウム合金, 桁, 曲げ耐荷力

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 k.torihata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

3. FEMによる弾塑性有限変位解析

アルミニウム合金の応力-ひずみ関係として次式を使用する.

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left( \frac{\sigma}{\sigma_{0.2}} \right)^n & (\sigma \leq \sigma_{0.2}) \\ \sigma = \sigma_{0.2} & (\sigma > \sigma_{0.2}) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 $\varepsilon$ と $\sigma$ は、それぞれ、ひずみと応力であり、 $\sigma_{0.2}$ と $n$ は、それぞれ、0.2%耐力とひずみ硬化パラメータである。A6061-T6 に対して、 $\sigma_{0.2} = 245 \text{ MPa}$ 、 $n = 29.1$ 、A5083-O に対して、 $\sigma_{0.2} = 125 \text{ MPa}$ 、 $n = 5.3$ である<sup>3)</sup>。

要素分割を図2に示す。圧縮を受ける自由突出板の幅厚比が $\sigma_{0.2}$ を維持する限界の幅厚比より小さくなる断面寸法を上下フランジに与える。桁の両端のウェブとフランジに対して、面外方向に対して単純支持、面内方向に対して直線を保つような境界条件を設定する。図3を参照して、最大初期たわみ $l/1000$ を有するサイン波形の初期たわみを桁全体に与え、最大初期たわみ $b_w/250$ を有するサイン波形の初期たわみをウェブに与える。ウェブの $x$ 軸方向の波長は、半波長が $0.4b_w$ から $0.6b_w$ の範囲になるように設定する。

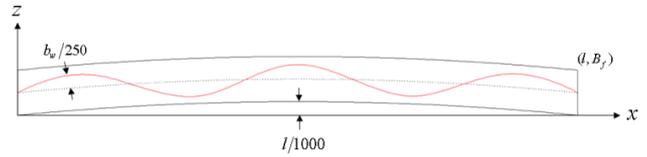


図3 桁の初期たわみ

4. 解析値と耐荷力式の比較

フランジが水平座屈を起こさない場合、すなわち $g_f = 1.0$ に対する解析値と耐荷力式の比較を図4に示す。解析値は耐荷力式が与える曲線より高い位置にある。

$M_u/(g_w M_Y)$ と $\lambda_f$ の関係に対して、解析値と耐荷力式の比較を図5に示す。図4の解析値(赤丸)の $b_w/t_w$ の各値に対して、 $\lambda_f$ の値を変化させて解析値をプロットしている。図5から分かるように、耐荷力式が与える曲線を下回る解析値が存在する。したがって耐荷力式が与える曲線より解析値が高い位置にくるために、次式により、解析値を右側に移動させる。

$$\lambda_f = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} K \sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E}} \frac{l}{B_f} \quad (6)$$

ここで、 $K$ は調整係数であり、次式で与えられる。

$$K = \begin{cases} 1 & \left( \frac{A_w}{A_f} \leq 1 \right) \\ k_0 + k_1 \frac{A_w}{A_f} & \left( 1 \leq \frac{A_w}{A_f} \leq 4 \right) \end{cases} \quad (7)$$

ここに、 $k_0$ 、 $k_1$  : 表3に示す値。

式(6)を用いてプロットされた解析値と耐荷力式の比較を図6に示す。解析値は、耐荷力式が与える曲線より高い位置に分布する。

6. 結論

式(6)で与えられるフランジの水平座屈に関する細長比パラメータを用いることにより、アルミニウム合金桁の曲げ耐荷力が式(1)で与えられる。

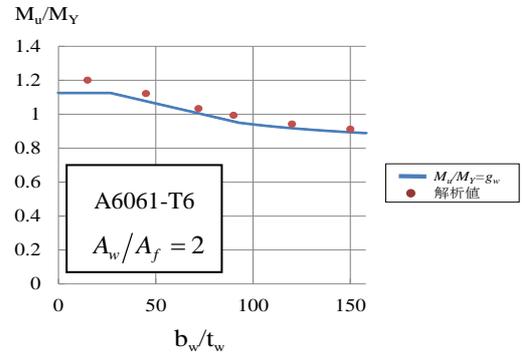


図4  $g_f = 1.0$ に対する解析値と耐荷力式の比較

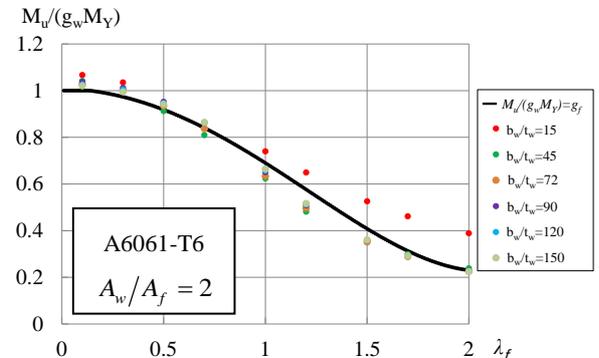


図5  $M_u/(g_w M_Y)$ と $\lambda_f$ の関係

表3  $k_0$ 、 $k_1$ の値

アルミニウム合金	$k_0$	$k_1$
A6061-T6	0.87	0.13
A5083-O	0.91	0.09

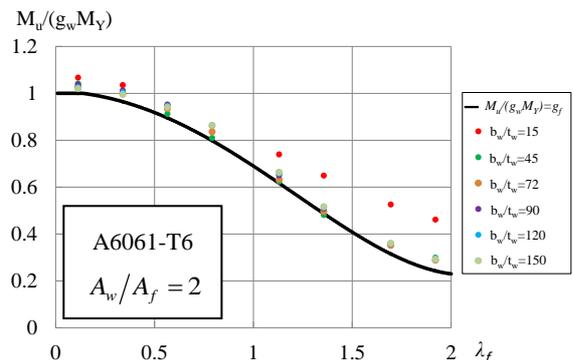


図6 調整係数 $K$ が用いられた

$M_u/(g_w M_Y)$ と $\lambda_f$ の関係

参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会 アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針作成検討小委員会：アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針(案)，2015。
- 2) 鳥畑一博，大倉一郎：アルミニウム合金桁の曲げ耐荷力算定式，土木学会第69回年次学術講演会講演概要集，I-146，2014。
- 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。