

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）¹⁾ が土木学会で作成されたが、桁の曲げ耐荷力に関する規定はまだ与えられていない。本研究では、アルミニウム合金桁の曲げ耐荷力の算定式を与える。

2. 桁の曲げ耐荷力式

桁の曲げ耐荷力が次式で与えられると仮定する。

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

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

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

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

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， λ_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。

g_w は、上フランジが水平座屈を起こさない場合に対

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

アルミニウム合金	β_0	β_1	β_2	β_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	λ_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

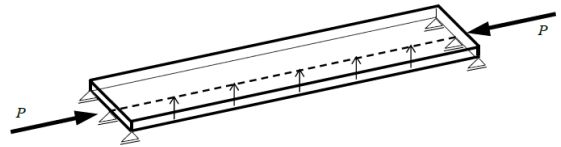


図1 圧縮を受ける平板部材

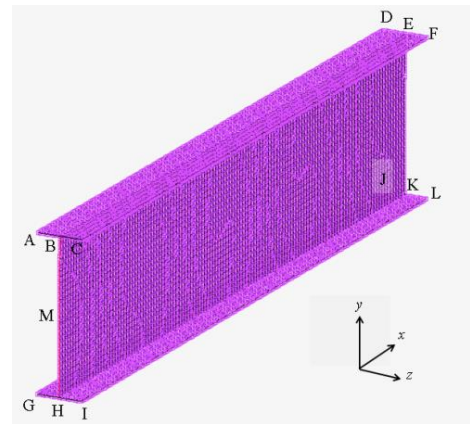


図2 要素分割

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²⁾。

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¹⁾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。

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、 ε と σ は、それぞれ、ひずみと応力であり、0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ とひずみ硬化パラメータ n の値は、アルミニウム合金 A6061-T6 に対して、それぞれ 245 MPa, 29.1, A5083-O に対して、それぞれ 125MPa, 5.3 である³⁾。

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。

4. 解析値と耐荷力曲線の比較

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曲線の比較を図4に示す。耐荷力曲線は解析値を安全側に評価している。

$M_u/(g_w M_Y)$ と λ_f の関係に対して、解析値と耐荷力曲線の比較を図5に示す。図4の解析値(赤丸)の b_w/t_w の各値に対して、 λ_f の値を変化させて解析値をプロットしている。図から分かるように、耐荷力曲線を下回る解析値が存在する。したがって耐荷力曲線が解析値を安全側に評価するために、次式により、解析値を耐荷力曲線の右側に移動させる。

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

ここで、 K は調整係数であり、アルミニウム合金 A6061-T6 に対して次のように与えられる。

$$K = \begin{cases} 1 & \left(\frac{A_w}{A_f} \leq 1 \right) \\ 0.13 \frac{A_w}{A_f} + 0.87 & \left(1 \leq \frac{A_w}{A_f} \leq 4 \right) \end{cases} \quad (7)$$

式(6)を用いてプロットされた解析値と耐荷力曲線の比較を図6に示す。耐荷力曲線は、解析値を安全側に評価している。アルミニウム合金 A5083-O の結果に関しては、講演当日に述べる。

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を式(1)で評価することができる。

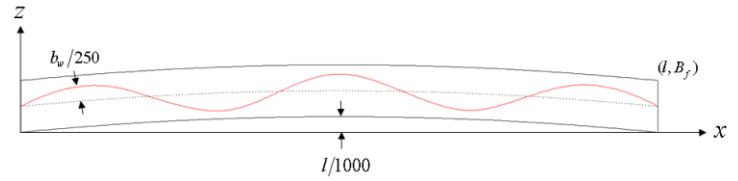


図3 桁の初期たわみ

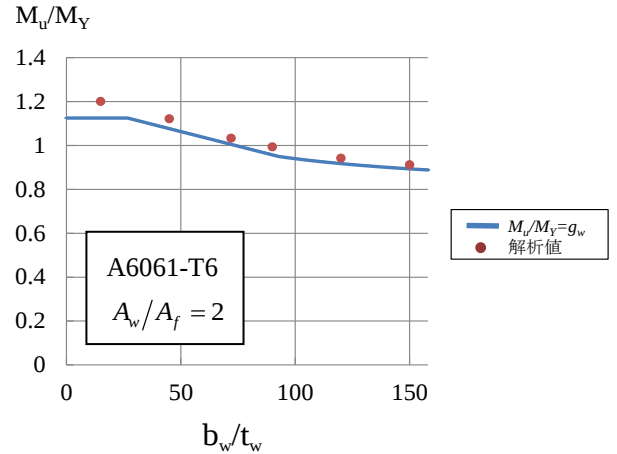


図4 $g_f=1.0$ に対する解析値と耐荷力曲線の比較

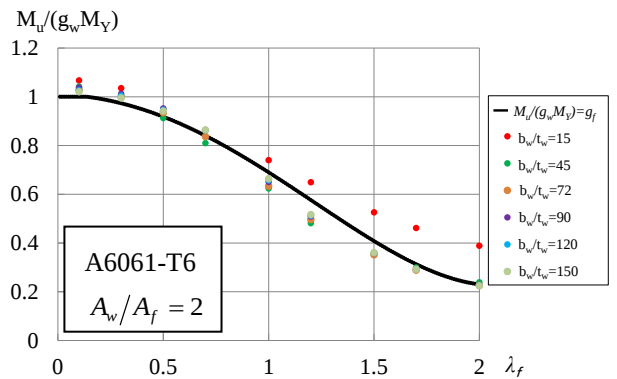


図5 $M_u/(g_w M_Y)$ と λ_f の関係

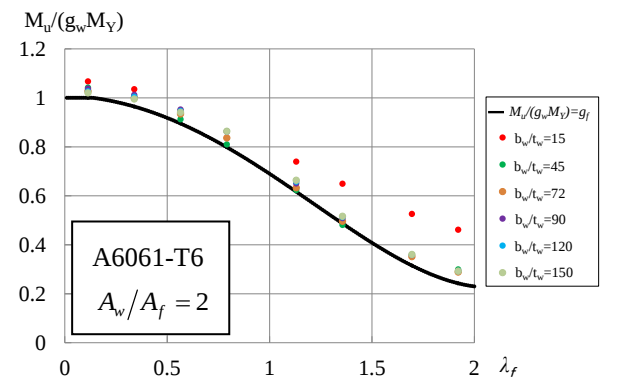


図6 調整係数 K を用いて評価された解析値と耐荷力曲線の比較

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会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.