圧縮を受けるアルミニウム合金部材の全体座屈と局部座屈の連成座屈強度

大阪大学大学院工学研究科　学生会員　○高畑　皇
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）は耐食性に優れ，軽量であることから，歩道橋や歩行者用拡幅床版に利用されるようになってきた．2011 年には道路橋用 AL 床版を用いた鋼桁橋が建設され，2015 年には緊急仮設橋に AL 床版が採用された．他方，アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針(案)[1]が 2015 年に制定され，圧縮を受ける AL 合金部材の許容圧縮応力が規定されたが，全体座屈と局部座屈の連成効果は考慮されていない．本研究は，圧縮を受ける AL 合金部材の全体座屈と局部座屈の連成座屈強度を明らかにすることを目的とする．

2. 連成座屈強度の評価式と耐荷力

部材の全体座屈と局部座屈の連成座屈強度の評価式として，次の 4 つが挙げられる．

1) AA 基準 [2]

$$\sigma_u=\begin{cases}\sigma_{gu}\left(\dfrac{\sigma_{lu}}{\sigma_{gu}}\right)^{\frac{2}{3}} & \left(\sigma_{gu}\ge\sigma_{lu}\right)\\ \sigma_{gu} & \left(\sigma_{gu}\le\sigma_{lu}\right)\end{cases} \tag{1}$$

ここに，σ_u：部材の耐荷力，σ_{gu}：全体座屈に対する耐荷力，σ_{lu}：局部座屈に対する耐荷力．

2) Q ファクター法 [3]

$$\sigma_u=\sigma_{lu}f\left(\lambda_{lu}\right) \tag{2}$$

$$\lambda_{lu}=\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_{lu}}{E}}\frac{l}{r} \tag{3}$$

ここに，$f(\lambda_{lu})$：全体座屈に対する耐荷力を与える関数，E：ヤング率，l：部材長，r：部材断面の回転半径．

3) 積公式：道路橋示方書 [4]において，圧縮を受ける部材に対して用いられている評価式．

$$\sigma_u=\sigma_{gu}\frac{\sigma_{lu}}{\sigma_{0.2}} \tag{4}$$

4) ミニマム法：道路橋示方書 [4]において，曲げを受ける桁に対して用いられている評価式．

$$\sigma_u=\min\left(\sigma_{gu},\sigma_{lu}\right) \tag{5}$$

本研究では，AL 合金が A6061-T6（0.2％耐力 $\sigma_{0.2}$ =245MPa）で，圧縮を受ける I 型断面部材が，その弱軸回りに座屈する場合を扱う．

圧縮を受ける I 型断面部材の全体座屈に対する耐荷力 σ_{gu} は次式で与えられる [1]．

$$\frac{\sigma_{gu}}{\sigma_{0.2}}=\begin{cases}1 & (\lambda\le\lambda_1)\\ a_0+a_1\lambda+a_2\lambda^2+a_3\lambda^3+a_4\lambda^4 & (\lambda_1\le\lambda\le 2)\end{cases} \tag{6}$$

$$\lambda=\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\sigma_{0.2}}{E}}\frac{l}{r} \tag{7}$$

ここに，a_0～a_4とλ_1：**表 1** に示す定数

表 1　a_0～a_4，λ_1 の値

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	λ_1
1.01	-0.03	-0.30	-0.04	0.05	0.13

ウェブの局部座屈（両縁支持板）に対する耐荷力 σ_{wlu} は次式で与えられる [1]．

$$\frac{\sigma_{wlu}}{\sigma_{0.2}}=\begin{cases}1 & (R\le R_1)\\ 1-0.4\left(\dfrac{R-R_1}{R_2-R_1}\right) & (R_1\le R\le R_2)\\ 0.6\left(\dfrac{R_2}{R}\right)^m & (R_2\le R\le 2)\end{cases} \tag{8}$$

$$R=\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{12\left(1-\mu^2\right)}{4}\frac{\sigma_{0.2}}{E}}\frac{b_w}{t_w} \tag{9}$$

ここに，μ：ポアソン比（=0.3），E：ヤング率（=70GPa），b_w：ウェブの板幅，t_w：ウェブの板厚．

フランジの局部座屈（自由突出板）に対する耐荷力 σ_{flu} は次式で与えられる [1]．

$$\frac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}=\begin{cases}1 & (R\le R_1)\\ 1-0.35\left(\dfrac{R-R_1}{R_2-R_1}\right)^2 & (R_1\le R\le R_2)\\ 0.65\left(\dfrac{R_2}{R}\right)^p & (R_2\le R\le 2)\end{cases} \tag{10}$$

キーワード　　アルミニウム合金，I 型断面部材，連成座屈強度，圧縮，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　TEL, FAX：06-6879-7621

$$R=\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{12\left(1-\mu^2\right)\sigma_{0.2}}{0.425}\frac{b_f}{E}\frac{b_f}{t_f}} \tag{11}$$

ここに，b_f ：フランジの片側の板幅，t_f ：フランジの板厚.

3. 連成座屈強度の評価式と解析値の比較

FEM による弾塑性有限変位解析によって，圧縮を受ける I 型断面部材の耐荷力を算出した.

$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$=1.0 において，$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8 と 0.6 に対する連成座屈強度の評価式と解析値の比較を**図 1** に示す．$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8 に対して，解析値は AA 基準の評価式が与える曲線の直上に乗っている．$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.6 に対して，解析値は AA 基準の評価式が与える曲線より高い位置に分布している．これらの傾向を考慮して，次の連成座屈強度の評価式が与えられた.

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_{0.2}}=\begin{cases}\left(\dfrac{\sigma_{gu}}{\sigma_{0.2}}\right)^m\left(r\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\right)^{1-m} & \left(\dfrac{\sigma_{gu}}{\sigma_{0.2}}>\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\right)\\ \dfrac{\sigma_{gu}}{\sigma_{0.2}} & \left(\dfrac{\sigma_{gu}}{\sigma_{0.2}}\le\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\right)\end{cases} \tag{12}$$

$$m=\begin{cases}0 & \left(1.0\ge\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}>0.9\right)\\ -3.54\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}+3.19 & \left(0.9\ge\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}>0.8\right)\\ -0.88\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}+1.06 & \left(0.8\ge\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\ge0.6\right)\end{cases} \tag{13}$$

$$r=\begin{cases}1-\left(1-\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\right)\left(4.01-4.01\dfrac{\sigma_{wlu}}{\sigma_{0.2}}\right) & \left(1.0\ge\dfrac{\sigma_{wlu}}{\sigma_{0.2}}\ge0.85\right)\\ 1-\left(1-\dfrac{\sigma_{flu}}{\sigma_{0.2}}\right)\left(1.43-0.98\dfrac{\sigma_{wlu}}{\sigma_{0.2}}\right) & \left(0.85>\dfrac{\sigma_{wlu}}{\sigma_{0.2}}\ge0.7\right)\end{cases} \tag{14}$$

$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$=1.0 において，$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$ の値を変化させた場合に対する式(12)と解析値の比較を**図 2** に示す．式(12)の r の値は，式(14)より，$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$=1.0 に対して r=1.0 である．m の値は，各 $\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$ の値に対して式(13)より与えられる．式(12)は解析値をよく近似していることが分かる.

$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8 において，$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$ の値を変化させた場合に対する式(12)と解析値の比較を**図 3** に示す．$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8 と各 $\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$ の値に対して，式(14)より r の値が算出される．式(12)は解析値をよく評価していることが分かる.

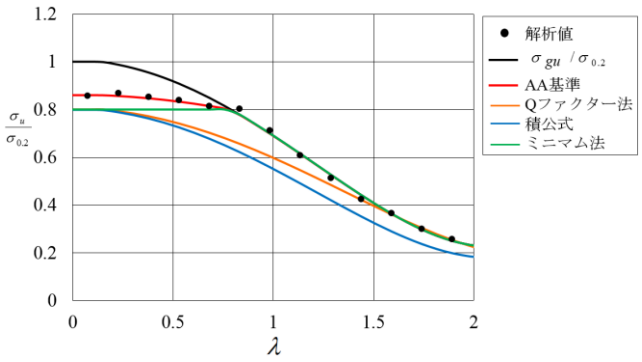
参考文献

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.

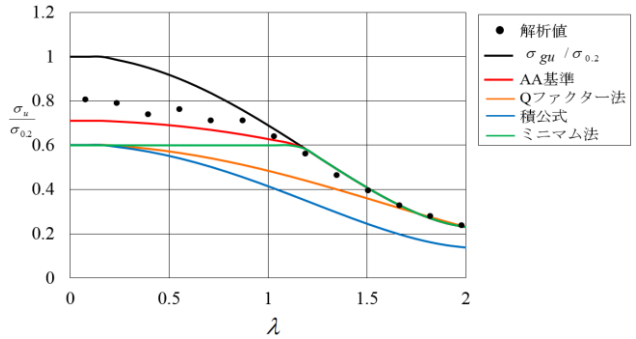
2) Aluminum Association : Aluminum Design Manual, PART I, Specification for Aluminum Structures, 2010.

3) Eurocode 9 : Design of aluminum structures – Part1-1 : General structural rules, 2007.

4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 2012.



(a) $\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8



(b) $\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.6

図 1 連成座屈強度の評価式と解析値の比較

[$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$=1.0]

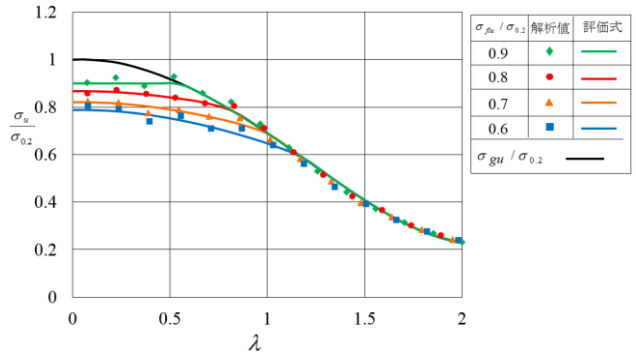


図 2 式(12)と解析値の比較 [$\sigma_{wlu}/\sigma_{0.2}$=1.0]

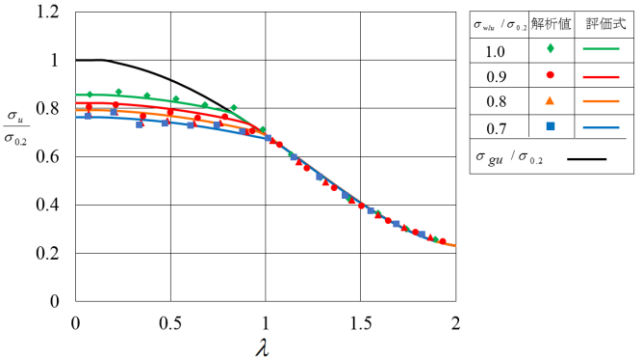


図 3 式(12)と解析値の比較 [$\sigma_{flu}/\sigma_{0.2}$=0.8]