

東京大学 学生員 安保 秀範  
 東京大学 正員 長谷川彰夫  
 東京大学 正員 西野 文雄

1. まえがき 従来、各種鋼構造示方書における圧縮部材の許容応力度は、構成板要素の幅厚比を制限することにより、局部座屈を許さないという条件のもとで、全体座屈に対する強度から求められている場合が多い。ところが、最近、局部座屈を認めた上で、局部座屈と全体座屈の連成強度をもとに、許容応力度を規定する方向にある。この改定の大きな理由としては、局部座屈が生じ得る幅厚比の大きい板要素を使用することによる経済的な設計の可能性が挙げられる。そこで、圧縮部材として最も一般的に利用される箱形、H形断面の純圧縮を受ける柱の最適化を、幅厚比を制限せず局部座屈と全体座屈の連成を考慮して行なうことにより、局部座屈を許すことで経済的な設計が可能かどうかを検討した。最適化は最大荷重設計の手法を用いた。

2. 局部座屈を考慮した柱の強度式の評価 柱の全体座屈と局部座屈の連成強度は、道路橋示方書とAISC示方書に規定されているものを採用した。両基準ともに、それぞれ独立に考えた全体座屈と局部座屈に対する耐荷応力をもとに、連成強度を求めている。道路橋示方書での連成強度は、全体座屈に対する耐荷応力を(局部座屈に対する耐荷応力/降伏応力)倍して求めている。この式は、箱形断面のような場合でウェブを無視し、フランジが有効幅での断面に減少すると考えることにより、全体座屈に対する耐荷応力から導くことができる。AISC示方書での連成強度は、降伏応力が局部座屈に対する耐荷応力に低減したと考えると、全体座屈に対する耐荷応力より求めている。

### 3. 最適化に及ぼす局部座屈の影響

(1) 箱形断面 Fig.1 に示すような幾何学的諸元を持つ2軸対称正方形断面柱の最適化を行なう。柱及び板要素単独の耐荷応力式は道路橋示方書によるものを採用する。連成効果を道路橋示方書及びAISC示方書による基準で考慮すると、それぞれの状態能力関数 $P_J$ 、

$P_A$  は

$$P_J = A \cdot \sigma_{uc}(\lambda_c) \cdot \sigma_{ul}(\lambda_l) / \sigma_y \quad (\text{道路橋示方書})$$

$$P_A = A \cdot [\sigma_{uc}(\lambda_c)] \cdot \sigma_y = \sigma_{ul}(\lambda_l) \quad (\text{AISC示方書})$$

となる。ここで、 $\sigma_{uc}$  は柱の全体座屈応力、 $\sigma_{ul}$  は板要素の局部座屈応力、 $\lambda_c$  は一般化細長比、 $\lambda_l$  は一般化幅厚比、 $A$  は断面積、 $\sigma_y$  は降伏応力である。一般性を確保するために、次の無次元量を定義する。

$$R = L^2/A = L^2/(4bt) \quad , \quad x = b/t \quad ,$$

$$g_y = \sqrt{E/\sigma_y} \quad , \quad \bar{P} = P/(\sigma_y L^2)$$

ここで、 $E$  は弾性係数である。状態能力関数を無次元化すると

$$\bar{P} = f(x, g_y, R)$$

と表現できる。したがって、この最適化は $g_y$  と $R$  をパラメータとした1変数( $x$ )関数の単なる極値問題に帰着できる。実際の計算では、鋼種をSS41( $\sigma_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$ )として、1変数関数の極値を数値的に探索する成功と失敗のルーチンを用いて最適化をおこなった。

$R$  に対する可能最大荷重 $P/(\sigma_y \cdot L^2)$ の変化を、Fig.2 に示す。これにより、一定長の柱の断面積の減少とともに低下する可能最大荷

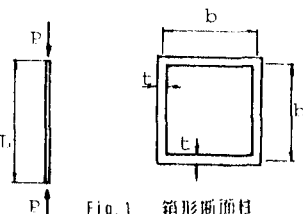


Fig. 1 箱形断面柱

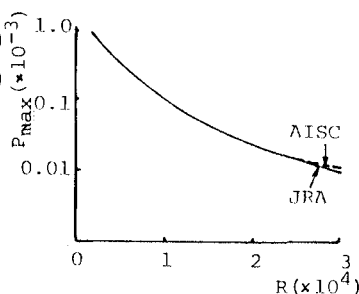


Fig. 2 箱形断面柱の可能最大荷重

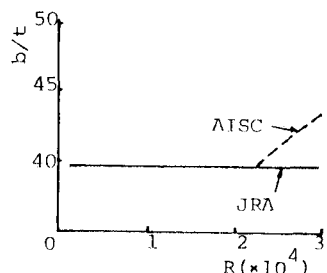


Fig. 3 箱形断面柱の最適幅厚比

重の値が定量的に求められる。R = 22000以上では、AISC示方書の方が道路橋示方書に比べ可能最大荷重がわずかに大きくなっている。このときのRと最適幅厚比との関係をFig.3に示す。最適幅厚比は道路橋示方書の場合、常に局部座屈が生じない最大の幅厚比となっているが、AISC示方書では、R = 22000以上で局部座屈が生じる幅厚比となった。最適解を与えたときの独立に考えた耐力 $\sigma_{uc}$ とRの関係をFig.4に示す。これにより、AISC示方書の場合の局部座屈が最適解で生じる断面では、全体座屈に対する耐力 $\sigma_{uc}$ が、 $0.4\sigma_y$ 以下となっていることがわかる。この領域での設計は実際にはほとんどないと考えられる。

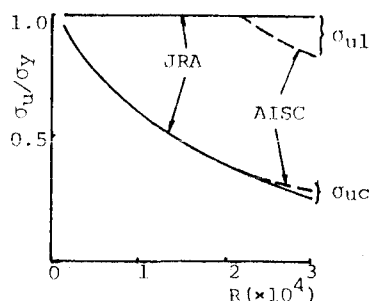


Fig. 4 箱形断面柱の耐力

(2) H形断面 Fig.5に示すような幾何学的諸元を持つ2軸対称H形断面柱の最適化を行なう。箱形断面と同様に、状態能力関数 $P_J$ 、 $P_A$ は

$$P_J = A \cdot \sigma_{uc}(\lambda_c) \cdot \text{Min}(\sigma_{uf}(\lambda_f), \sigma_{uw}(\lambda_w)) / \sigma_{yl}$$

$$P_A = A \cdot [\sigma_{uc}(\lambda_c)] \sigma_y = \text{Min}(\sigma_{uf}(\lambda_f), \sigma_{uw}(\lambda_w))$$

(上式が道路橋示方書，下式がAISC示方書)

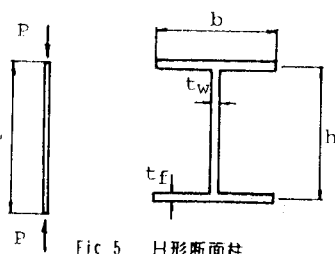


Fig. 5 H形断面柱

となる。ここで、 $\sigma_{uf}$ はフランジの耐力、 $\sigma_{uw}$ はウェブの耐力、 $\lambda_f$ はフランジの一般化幅厚比、 $\lambda_w$ はウェブの一般化幅厚比である。H形断面では、弱軸と強軸が存在するので一般化細長比 $\lambda$ は常に弱軸を用いる。箱形断面と同様に、一般性を確保するために、次の無次元量を定義する。

$$R = L^2/A, \quad g_y = \sqrt{E/\sigma_y}, \quad \bar{P} = P/(\sigma_y L^2)$$

$$x_1 = b/t_f, \quad x_2 = h/t_w, \quad x_3 = h t_w / (b \cdot t_f)$$

状態能力関数を無次元化して求めると

$$\bar{P} = f(x_1, x_2, x_3, g_y, R)$$

と表現できる。したがって、この最適化は $g_y$ とRをパラメータとした3変数関数の極値問題となる。実際の計算では、鋼種をSS41として、直接探索法的一种であるシンプレックス法を用いて最適化を行なった。

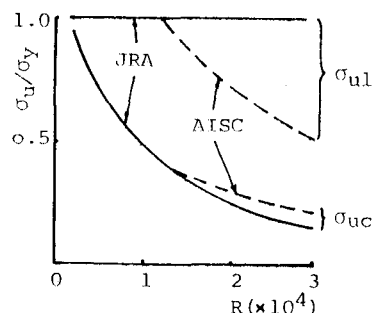


Fig. 6 H形断面柱の耐力

最適解を与えたときの独立に考えた耐力 $\sigma_{uc}$ とRの関係をFig.6に示す。道路橋示方書の基準で連成を考慮しても、最適断面ではフランジとウェブの局部座屈が生じないことがわかる。このときの最適幅厚比は局部座屈が生じない最大の幅厚比となった。AISC示方書の基準で連成を考慮すると、R = 11000以上で局部座屈が生じる断面が最適となった。しかし、この局部座屈が生ずる断面では全体座屈に対する耐力 $\sigma_{uc}$ が、 $0.45\sigma_y$ 以下となっている。箱形断面の場合と同様に、この領域での設計も実際にはほとんどないと考えられる。

4. まとめ 道路橋示方書の基準で連成を考慮すると、箱形、H形断面ともに、最適幅厚比が局部座屈を生じない最大の幅厚比となった。したがって、局部座屈を許すことでより経済的な設計は行なえない。

AISC示方書の基準で連成を考慮すると、局部座屈を許すことでより経済的な設計が行なえる可能性はある。しかし、実際の設計に用いる柱の細長比を考えると、この可能性はほとんどない。

参考文献 1) 日本道路協会；道路橋示方書、同解説、1980年2月、 2) AISC; Specification for Design, Fabrication and Erection Of Structural Steel for Buildings, 1978年、 3) 長谷川彰夫、小椋義隆、松浦聖；最大荷重設計による2軸対象プレートガーダーの最適化、土木学会論文報告集、第301号、1981年6月