

名古屋大学 学生員○吉野 精二

名古屋大学 学生員 寺尾 圭史

名古屋大学 正 員 宇佐美 勉

1. まえがき この論文は、著者が先に開発した面内変形のみを生ずる鋼圧縮部材の局部座屈と全体座屈の連成座屈強度式^{1)~4)}を拡張し、面外変形をも生ずる無補剛長方形箱形断面Beam-Columnの最適断面に関する一考察について述べたものである。

2. 無補剛長方形箱形断面圧縮部材 無補剛平板よりなる長方形箱形断面部材の重量(体積)が最小となる断面形状を求める問題を、Backtrack法⁵⁾を用いて解いた。用いた設計公式は、文献2)で提案されている式を拡張したものであり、細長比・板厚の制限は、道路橋示方書に準拠している。ここでは、図1に示すような等断面部材に軸方向圧縮力PとY軸方向への一軸曲げを加えた場合を考え、これを等価な不等偏心圧縮柱に置き換えて考える。ただし部材の変形は面内(Y-Z面)および面外(X-Z面)両方に生ずるものとし、部材の座屈長さは、それぞれ $K_x L$ 、および $K_y L$ とする。ここに、 K_x 、 K_y は座屈長さ係数である。材料定数、荷重、部材長、偏心量は与えられるものとする、次のように定式化できる。

目的関数 $F=AL \rightarrow$ 最小化 (1)

制約条件 $g_1=R_f-1.2 \leq 0$ $g_2=L/r_x-120 \leq 0$

$g_3=L/r_y-120 \leq 0$ $g_4=8-t \leq 0$

$g_5=8-w \leq 0$ $g_6, g_7 \leq 0$ (2)~(8)

設計変数 $\{X\}=\{b, d, t, w\}$

ここで、関数 g_6, g_7 は次のように定義できる。

$$g_7 = \frac{SP}{P_u} + \frac{SPeC_m}{M_u(1-SP/P_E)} - 1.0, \quad g_8 = \frac{SP}{Q\sigma_y A} + \frac{SPe}{M_u} - 1.0 \quad (9), (10)$$

$$\text{ここで, } R_f = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}}, \quad R_w = \frac{d}{w} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}}, \quad \bar{\lambda} = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}, \quad \bar{\lambda}' = \sqrt{Q} \bar{\lambda}$$

$$R = \max(R_f, R_w), \quad Q = 0.7/R \leq 1.0, \quad r/K = \min(r_x/K_x, r_y/K_y)$$

$$P_u = Q\sigma_y A, \quad \bar{\lambda}' \leq 0.2, \quad P_E = \pi^2 EI_x / (K_x L)^2$$

$$= (1.109 - 0.545 \bar{\lambda}') Q\sigma_y A; 0.2 < \bar{\lambda}' \leq 1.0, \quad C_m = 0.6 + 0.4 \kappa \geq 0.4, \quad \eta = dw/bt$$

$$= \frac{Q\sigma_y A}{0.773 + (\bar{\lambda}')^2}; 1.0 < \bar{\lambda}', \quad M_u = \frac{(2+3/\eta)(0.7/R_f)+2+\eta}{4+\eta+3/\eta} \sigma_y W_x \leq \sigma_y W_x \quad (11) \sim (23)$$

また、 L =部材長、 r_x =X軸回りの断面二次半径である。部材は面外変形も生じうるものとし、式(9)の相関式の P_u は弱軸回りの中心軸圧縮強度を考える。また、 M_u としては、箱形断面であるので、横ねじれ座屈の可能性を無視し、X軸回りの曲げ強度を考える。

3. 計算式の無次元化 実際の計算は上式を用いて行ったが、結果を鋼の材質とは無関係に整理する⁴⁾ため、無次元表示を試みた。結果の式は省略するが、変数として $\{\bar{X}\}=\{R_f, R_w, \bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y\}$ (ここに、 $\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y$ =X軸、Y軸回りの等価細長比)を用い、偏心量を e/L で与え、

$$\bar{F} = \frac{F\alpha\sqrt{\beta}}{4L^3}, \quad \bar{P} = \frac{SP\alpha\sqrt{\beta}}{4\sigma_y L^3}, \quad \alpha = \frac{\pi^2 E}{6\sigma_y}, \quad \beta = \frac{\pi^2}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{E}{\sigma_y} \quad (24) \sim (27)$$

を導入すれば、制約条件 $g_2 \sim g_5$ を除いて材質に関し無次元化した式を導くことができる。

4. 計算結果と考察 ここでは、等曲げ($\kappa=1.0$)、座屈長さ係数 $K_x=K_y=1.0$ に対する数値計算結果を、前節の無次元量を用いて示す。ただし制約条件 $g_2 \sim g_5$ がアクティブでない場合についてのみ考える。図2はウェブとフランジの面積比 η を、無次元荷重 $\bar{P}$ に対してプロットしたものである。この図より、面積比 η は、荷

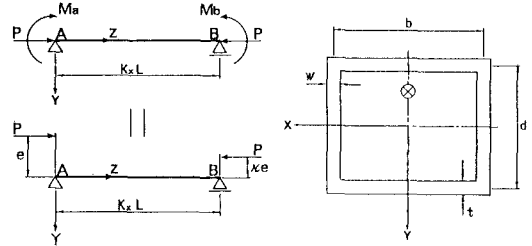
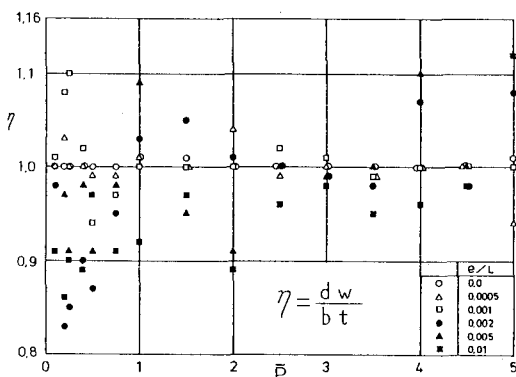
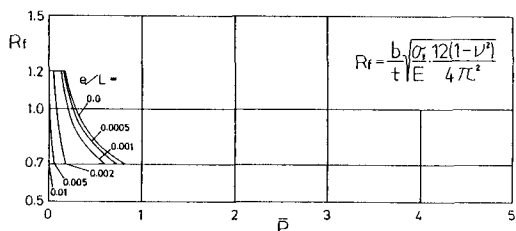
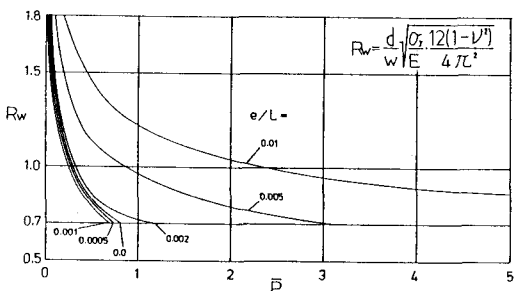
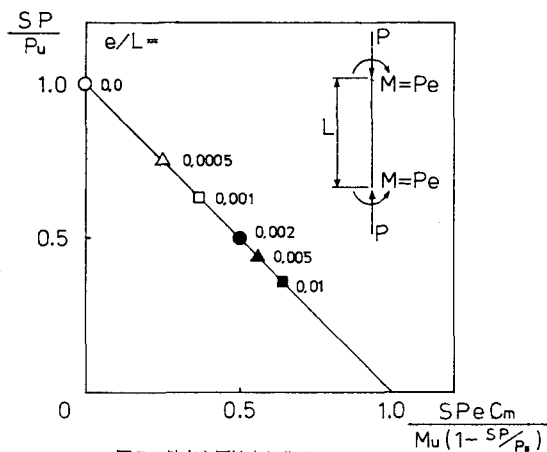


図1. Beam-Columnの概略図

重, 偏心率によらず, 1 に非常に近い値をとった。即ち, 最適断面は荷重, 偏心率がこの範囲にあるとき, ウェブとフランジの面積がほぼ等しくなる領域に存在するという興味ある結果を得た。等価幅厚比 R_f, R_w に関しては, 図3, 4 に計算結果を示した。これによるとフランジに関しては, 偏心率によらず $\bar{P}$ のかなり広い範囲で $R_f = 0.7$ となった。このことは, フランジについては局部座屈の発生を許さない方が一般に経済的に有利な設計となる場合が多いことを示している。これに対してウェブに関しては, 偏心率が増大するに従い $R_w > 0.7$ となる領域, 即ち, 純圧縮板としての局部座屈の発生を許す方が経済的に有利となる領域が広がることを示している。図5は, $\bar{P} = 1.0$ に対して最適設計点を $g_r = 1.0$ (式(9)) の相関式上にプロットしたものであるが, 数値計算で与えた偏心率は実用上のほぼ全領域をカバーしていると考えられる。

図2. 面積比 η と $\bar{P}$ との関係 ($\kappa=1.0$)図3. フランジの等価幅厚比 R_f と $\bar{P}$ との関係 ($\kappa=1.0$)図4. ウェブの等価幅厚比 R_w と $\bar{P}$ との関係 ($\kappa=1.0$)図5. 軸方向圧縮力と曲げモーメントとの
相関関係 ($\kappa=1.0, \bar{P}=1.0$)

5. 結論 無補剛長方形箱形断面よりなる軸方向圧縮力と一軸曲げを受ける3次元Beam-Columnの最適断面設計をBacktrack法を用いて行い, 等曲げ ($\kappa=1.0$) 及び座屈長さ係数 $K_x, K_y=1.0$ の場合について次のような結論を得た。

(1) 無補剛長方形箱形断面圧縮部材の最適解は, 細長比制限(式(3), (4))及び板厚制限(式(5), (6))が共にアクティブでない場合には材質に関して無次元化が可能であり, 結果をまとめた図を設計時には便利に利用できる。(2) 軸力と曲げモーメントが作用する部材であっても, 得られた最適断面のウェブとフランジの断面積はほぼ等しくなる傾向がある。(3) フランジに関しては, 曲げモーメントによらず局部座屈を許さない設計が一般に経済的に有利となる場合が多く, ウェブに関しては, 偏心率が増大するに従い, 純圧縮板としての局部座屈の発生を許す設計が, 経済的に有利となる領域が広がる。

参考文献 1) 宇佐美ら, 土木学会論文報告集第308号(1981)。 2) 宇佐美ら, 土木学会論文報告集第326号(1982)。 3) 宇佐美ら, 土木学会論文集第362号(1985)。 4) 宇佐美・寺尾, 土木学会論文集第362号(1985)。 5) Jozset Farkas, Optimum Design of Metal Structures, Ellis Horwood(1984)。