

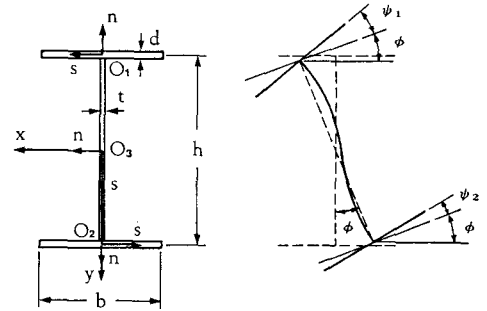
山梨大学工学部 正員 杉原 美好

山梨大学工学部 正員 深沢 泰晴

1. はじめに 著者らはこれまで、鋼構造物の終局耐力の評価方法の確立の一環として、断面変形を伴う I 形断面ばりについて非弾性域をも含めた曲げねじれ座屈問題の解明を行ってきた。^{1), 2)} その結果、一定曲げモーメントのみを受ける I 形断面ばりの弾性横座屈において、断面変形を考慮した場合、部材長がある値より小さい範囲では2次以上の高次モードについても考慮を要すること、また、断面変形を考慮しないものとの差が顕著であるのは、座屈モードから判断して圧縮側フランジアプレートのねじれ座屈に相当している場合であることなどが明らかになった。さらに、弾性横座屈強度において断面変形の影響が顕著に現れるはりでは、塑性域における横座屈強度においても断面変形の有意な影響が生じることもわかった。

本報告では、断面変形を伴う I 形断面ばりに曲げと軸力が同時に作用する場合を解析し、その際ウェブの変形が座屈強度に与える影響について検討する。

2. 支配方程式 図-1 に示すような2軸対称 I 形断面ばりの横座屈変形の支配方程式は、座屈変形前の状態で作用している軸圧縮力を $P^{(0)}$ 、x 軸まわりの曲げモーメントを $M^{(0)}$ 、y 軸方向荷重を $q^{(0)}$ とすると、次のように書くことができる。¹⁾



(1) 断面寸法・座標形 (2) 断面変形

図-1 座標形・断面変形

$$E I_{xx} u'''' + (P^{(0)} u')' + (M^{(0)} \phi)'' = 0 \quad (1a)$$

$$E I_{\omega\omega} \phi'''' - G J_s \phi'' + E I_{\omega\omega}^1 \psi_1'' + E I_{\omega\omega}^2 \psi_2'' - G J_s^1 \psi_1'' - G J_s^2 \psi_2'' + M^{(0)} u'' - (K^{(0)} \phi + K_1^{(0)} \psi_1 + K_2^{(0)} \psi_2)' + q^{(0)} y_c \phi = 0 \quad (1b)$$

$$E I_{\omega\omega}^1 (\phi + \psi_1)'''' - G J_s^1 (\phi + \psi_1)'' + \frac{2 E I_{\omega}}{h} (2 \psi_1 + \psi_2) - \{K_1^{(0)} (\phi + \psi_1)'\}' = 0 \quad (1c)$$

$$E I_{\omega\omega}^2 (\phi + \psi_2)'''' - G J_s^2 (\phi + \psi_2)'' + \frac{2 E I_{\omega}}{h} (\psi_1 + 2 \psi_2) - \{K_2^{(0)} (\phi + \psi_2)'\}' = 0 \quad (1d)$$

ここに、super-scriptの f_1 , f_2 はそれぞれ上、下フランジに関する量であることを表し、 y_c は $q^{(0)}$ の作用点の y 座標である。さらに、 $K^{(0)}$, $K_1^{(0)}$, $K_2^{(0)}$ は、次のように表される量である。

$$K^{(0)} = \int_A (\sigma_z^{(0)} + \sigma_r) (x^2 + y^2) dA \quad (2a)$$

$$K_1^{(0)} = \int A f_1 (\sigma_z^{(0)} + \sigma_r) x^2 dA, \quad K_2^{(0)} = \int A f_2 (\sigma_z^{(0)} + \sigma_r) x^2 dA \quad (2b, c)$$

ただし、 $\sigma_z^{(0)}$ は座屈変形前の状態での部材方向の直応力、 σ_r は部材軸方向の残留直応力であり、また、 $A f_1$, $A f_2$ はそれぞれ上、下フランジの断面積を表す。

図-2 のように x 軸まわりの一定曲げモーメント M および軸圧縮力 P が作用する単純支持の 2 軸対称 I 形断面ばりの座屈変形の支配方程式は、式 (1a-d) において、 $q^{(0)} = 0$ とおくことにより得られる。

なお、座屈前の変形は微小として無視する。

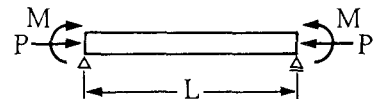


図-2 荷重状態

3. 数値計算結果と考察 作用軸力 P を降伏軸力 P_Y の0, 0.2, 0.4倍と変化させた場合の弾性座屈曲げモーメントと部材長の関係は図-3のようになる。図中の破線は断面形不変とした場合（ $P=0$ ）の座屈曲線である。軸力 $P=0$ の場合において断面変形を考慮したことにより座屈荷重が低下する範囲では、作用軸力に応じた座屈モーメントの低下がみられるが、部材長—フランジ幅比（ L/b ）が大きくなると断面変形の影響はほとんど生じない。

断面変形を考慮したことによって低下した弾性横座屈荷重の最小値と断面寸法の関係は図-4のようになる。けた高とフランジ幅の比（ h/b ）が大きくなると最小座屈応力はそれぞれ一定値に収束する傾向を示し、 $d/t \rightarrow \infty$ のときには圧縮側フランジプレートのねじり座屈応力に一致する。

図-5, 6は、圧延I型鋼および溶接プレートガーダーに対して作用軸力 P を変化させたときの弾塑性座屈モーメントと部材長との関係を1次モードについて示したものである。図中、破線は弾性解析結果を、一点鎖線は断面形不変としたときの弾塑性解析結果を表す。軸力 P が作用したときの曲線は、 $P=0$ の曲線を下方に移動させたものとほぼ一致することがわかる。

弾塑性横座屈荷重と断面寸法の関係については、講演時に譲る。

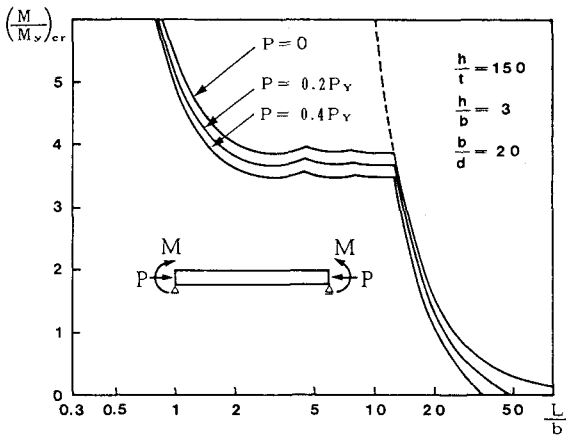


図-3 弾性横座屈曲線

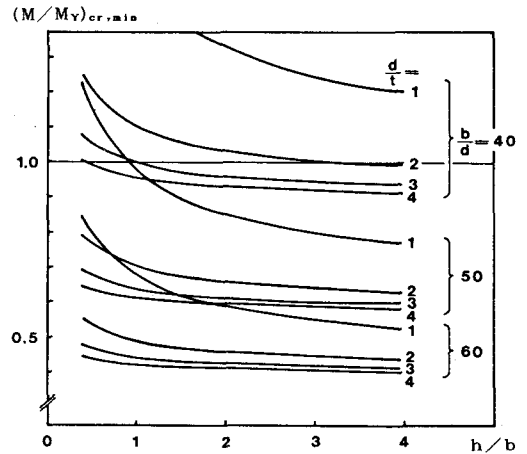


図-4 最小座屈荷重と断面寸法の関係（ $P=0$ ）

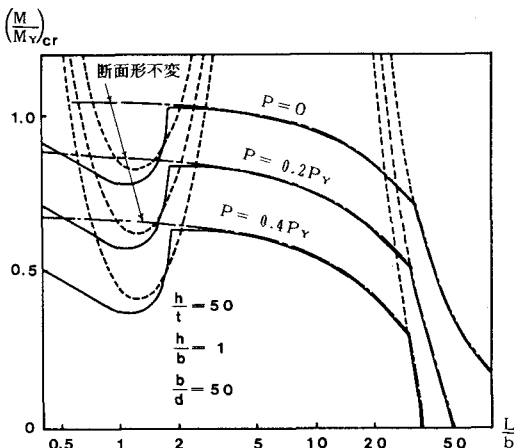


図-5 塑性横座屈曲線（圧延I型鋼）

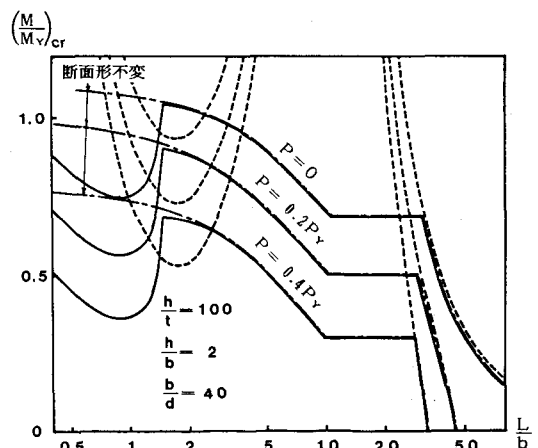


図-6 塑性横座屈曲線（溶接プレートガーダー）

参考文献 1) 深沢, 杉原: I形ばりの弾性横座屈に及ぼすウェブの変形の影響, 構造工学論文集, vol.31 A, pp. 15~23, 1985年 3月. 2) 杉原, 深沢: 第40回土木学会年講概要集, 1-77, 1985年 9月.