

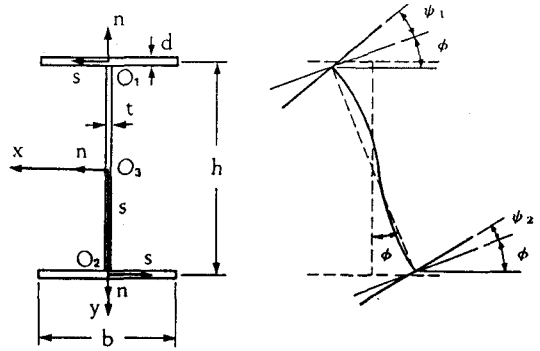
山梨大学工学部 正員 杉原 美好

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が現れること、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、座屈モードが圧縮フランジとウェブの局部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(2)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

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

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

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

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

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。

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

$$K_1^{(0)} = \int_A r_1 (\sigma_z^{(0)} + \sigma_r) x^2 dA, \quad K_2^{(0)} = \int_A r_2 (\sigma_z^{(0)} + \sigma_r) x^2 dA \quad (2b, c)$$

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。

x 軸まわりの一定曲げモーメントおよび軸圧縮力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。座屈変形は次式で表され、式 (1), (3) より固有値方程式が得られる。

$$[u \quad \phi \quad \psi_1 \quad \psi_2]^T = [C_1 \ C_2 \ C_3 \ C_4]^T \sin\left(\frac{n\pi}{L} z\right) \quad (3)$$

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座屈曲げモーメントと部材長の関係を図-2 に示す。図-2 (1) は H 形鋼, 図-2 (2) は I 形プレートガーダーについて計算を行ったものである。縦軸は降伏曲げモーメント M_y に対する座屈曲げモーメント M の比 $(M/M_y)_{cr}$ であり, 横軸は部材長 L とフランジ幅 b の比 L/b を対数で示した。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。いずれの断面においても, 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。

図-3 は, 図-2 (1) の A, B, ..., F 点における座屈モードを示したものである。A, B, C 点は圧縮フランジのねじれ座屈, D, E, F 点は横座屈に対応している。また, これらは, $P=0$ の場合のものであるが, 軸力が作用した場合にもほぼ同様の座屈モードを生じる。

フランジの幅厚比 (b/d) = 50 とし, 他の断面寸法は図-2 (2) と同様のはりに対する $(M/M_y)_{cr} - L/b$ 曲線を図-4 に示す。これは 1 次モードについて示したものであるが, 軸力 $P=0.8$ の場合には $1.2 < (L/b) < 2.5$ の範囲において $(M/M_y)_{cr} = 0$ を示している。この範囲では, 軸力のみによりねじれ座屈が生じるものと考えられる。

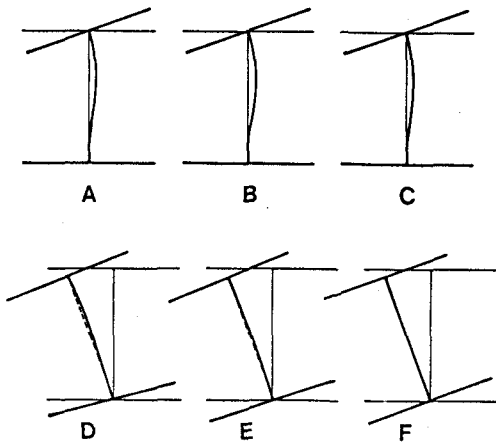
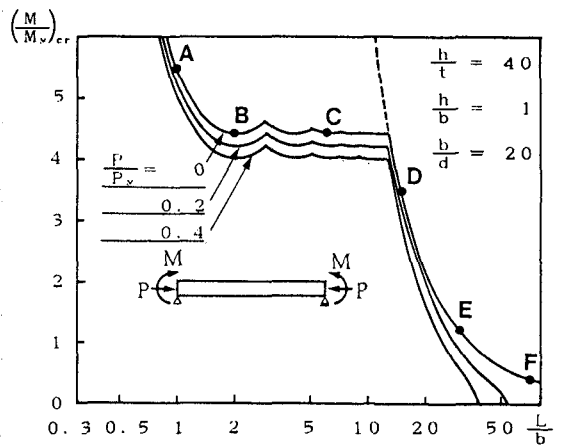
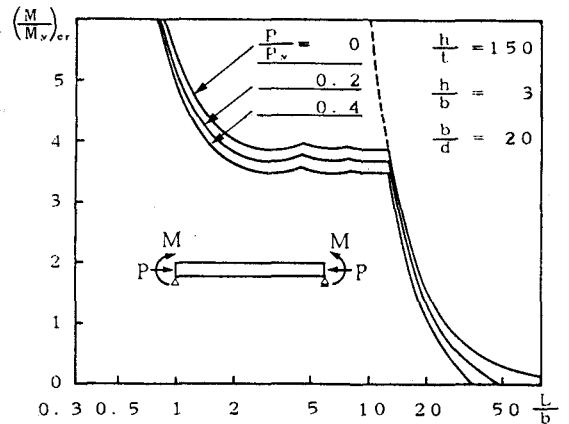


図-3 座屈モード



(1) H 形鋼



(2) I 形プレートガーダー

図-2 $(M/M_y)_{cr} - L/b$ 曲線

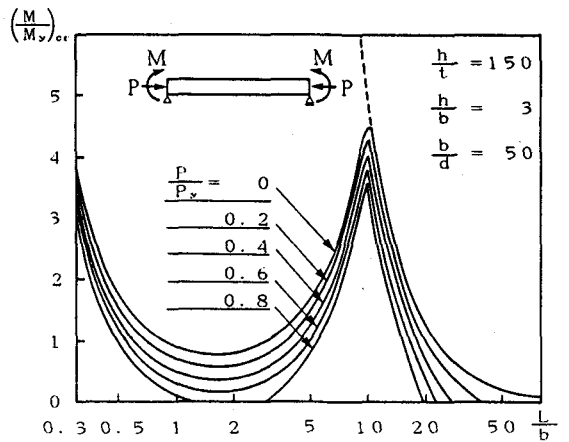


図-4 $(M/M_y)_{cr} - L/b$ 曲線

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.