

軸力と曲げを受ける I 形断面部材の 非弾性曲げねじれ座屈に及ぼす断面変形の影響

九州大学 学生員 ○丸山義一

九州大学 正会員 彦坂 熙

九州大学 学生員 Mian Amar Mahmood

1. 緒言

著者らは先に、任意の多角形状薄肉開断面をもつ部材が任意荷重を受ける場合の、断面形状の変化を考慮した有限変位理論¹⁾を提示し、その有効性について検討してきた²⁾。本報はこの理論を軸力と曲げを受ける鋼 I 形断面部材の非弾性曲げねじれ座屈に適用し、部材の全体座屈に及ぼす断面変形の影響を棒理論の拡張により 1 次元的に解析するものである。本理論によれば、フランジの局部座屈に伴うウェブの曲外変形のみならず、ウェブ自身の局部座屈をも考慮でき、フランジおよびウェブの局部変形と全体変形を同時に考慮した座屈問題が、FEM や FSM に比べ極めて少ない自由度で解析可能となる。

2. 解析手法と支配方程式

図-1 のような長さ L 、両端単純支持の 2 軸対称 I 形断面部材が中心軸圧縮力 P と強軸まわりの等曲げ荷重 M を受ける時、部材の全体変形と断面変形とが連成した座屈問題を解析する。残留応力は図-2 に示す 2 種類(圧延形, 溶接形)の分布モデルを考慮する。

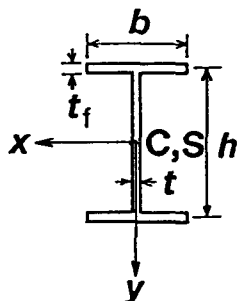


図-1 断面諸元

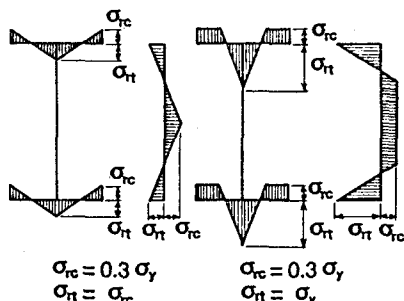


図-2 残留応力分布モデル

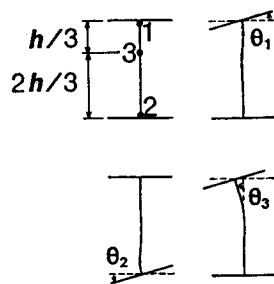


図-3 I 形断面部材の断面変形の節点と基本モード

また、本解析では断面形状の変化を考慮するため、図-3 のような断面変形の節点と基本モードを設定する。ここでは、断面変形の自由度は 3 であり、解析の総自由度は 5 である。このとき、せん断中心の x 軸方向変位 u_s とせん断中心まわりのねじれ角 ϕ および断面変形角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ に関する支配方程式は次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} -M_y'' + M_\phi \phi'' + P(u_s'' + y_s \phi'') + \sum_{i=1}^{N-1} M_{xi}'' \theta_i'' &= 0 \\ M_\omega'' - T_y' + P y_s u_s'' + M_\phi u_s'' - K'' \phi'' - \sum_{i=1}^{N-1} L_i'' \theta_i'' &= 0 \\ M_{\omega i}'' - T_{si}' + F_{si} + M_{xi}'' u_s'' - L_i'' \phi'' - \sum_{j=1}^{N-1} K_{ij}'' \theta_j'' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(i=1, 2, ..., N-1)

ここに、 N は断面変形の節点で分割された板要素の枚数であり、ここでは $N=4$ である。

本研究では接線係数理論に基づいて非弾性解析を行い、式(1)をスパン長 L について解けば、I 形断面部材に関する非弾性座屈曲線を描くことができる。

3. 数値計算結果と考察

図-4, 5, 6 では圧延形、図-7, 8, 9 では溶接形の残留応力を考慮している。また、 P_y, M_y は降伏軸力, 降伏曲げモーメントを表している。図-4 は一定軸力 $P/P_y=0.2$ を載荷したときの座屈曲げモーメントとスパン長の関係を 1 次波形のみについて示している。フランジの局部変形が $L/b=2$ 付近で全体変形と連成しているのがわかる。図-5 は図-4 と同じ部材について軸力を変化させた場合を示している。軸力増加に

より座屈曲線はほぼ一様に下方移動することがわかる。図-6はフランジの局部座屈強度曲線であり、横軸はフランジの幅厚比 b/t_f である。図-7は一定軸力 $P/P_y=0.2$ を载荷したときの座屈曲げモーメントとスパン長の関係を示している。断面変形角 θ_1, θ_2 さらに θ_3 を考慮することにより、ウェブの局部座屈荷重が算出されることがわかる。図-8は図-7と同じ部材について軸力を変化させた場合を示している。圧延残留応力を考慮した場合(図-5)と異なり、局部座屈曲線の軸力増加による下方移動は様でないことがわかる。図-9はウェブの局部座屈強度曲線であり、横軸はウェブの幅厚比 h/t である。A点、B点はそれぞれ、引張フランジ、圧縮フランジの弾性率が急変(54%-0%, 100%-46%)する点を表している。圧延残留応力を考慮した場合(図-6)と異なり、圧縮フランジの弾性率が急変するため曲線は滑らかでない。

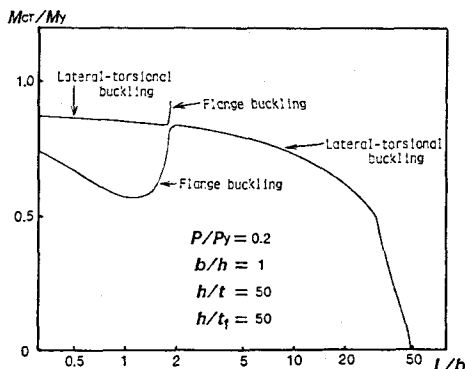


図-4 I形断面部材の座屈曲線(圧延残留応力考慮)

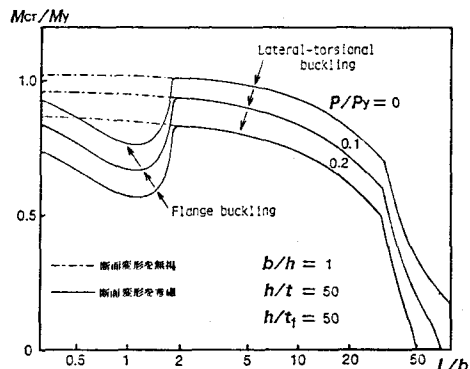


図-5 I形断面部材の座屈曲線(圧延残留応力考慮)

《参考文献》

(1) 彦坂, 高海, 丸山:

薄肉閉断面部材の断面変形を考慮した有限変位理論と弾性安定問題への応用, 構造工学論文集, Vol.32A, 1986-3.

(2) 丸山, 彦坂, Mian

Amar Mahmood: 断面変形を考慮したI形断面部材の非弾性安定解析, 土木学会第42回年次学術講演会, 1-79, 1987-9.

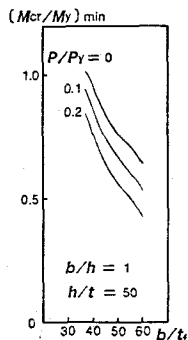


図-6 フランジ座屈強度曲線(圧延残留応力考慮)

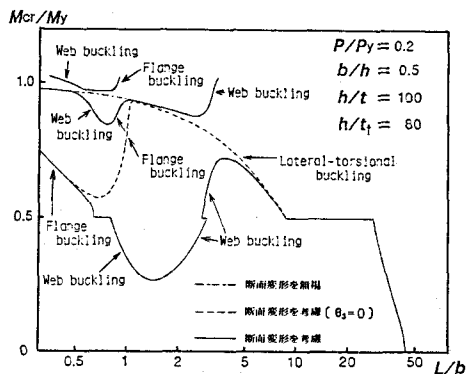


図-7 溶接I形部材の座屈曲線

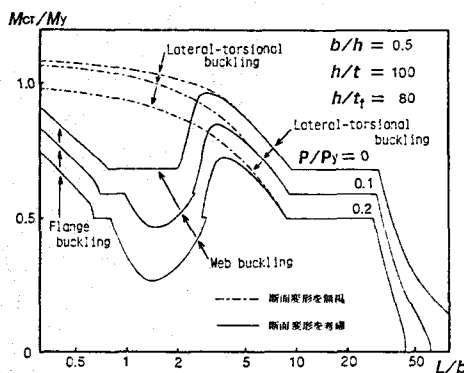


図-8 溶接I形部材の座屈曲線

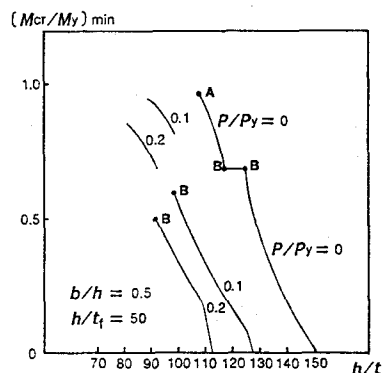


図-9 ウェブ座屈強度曲線(溶接残留応力考慮)