

断面変形を考慮した薄肉開断面部材の非弾性安定解析

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⁾。本報はこの理論を鋼H形断面柱の非弾性安定解析に適用し、局部座屈と全体座屈の連成問題を棒理論の拡張により1次元的に解析するものである。本理論はフランジの局部座屈に伴うウェブの曲げ変形のみならず、ウェブ自身の局部座屈をも考慮できるため、フランジおよびウェブの局部座屈と全体座屈の連成問題が、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、両端ピン支持の2軸対称H形断面柱が中心軸圧縮力Pを受けるとき、x軸方向の全体曲げ座屈とx軸に關し対称な断面変形を生ずる局部座屈との連成問題を解析する。残留応力は図-2のような圧延による分布を考慮する。非弾性座屈解析では最初に降伏領域の決定が必要であるが、本報では図-2のような弾塑性応力分布より、弾性領域を表すパラメーターと外力Pの関係を求める。まず、残留応力は自己平衡応力であり、力の釣り合いより次の関係が存在する。

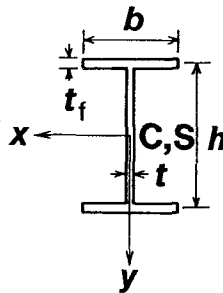


図-1 断面諸元

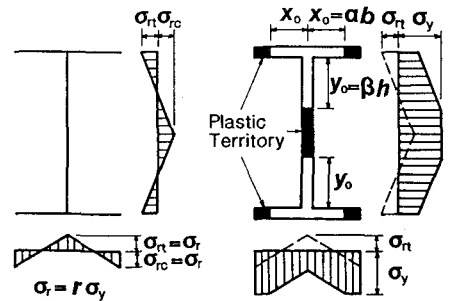


図-2 残留応力分布と弾塑性応力分布

$$P = \int_A \sigma_x^{(0)} dA = \sigma_y(2bt_f + ht) - \sigma_r(8x_0^2 t_f / b + 4y_0^2 t / h) \quad (1)$$

一方、フランジとウェブの接合点における応力は等しく、次式が成り立つ。

$$\sigma_y - 4\sigma_r x_0 / b = \sigma_y - 4\sigma_r y_0 / h \quad (2)$$

ここで、

$$x_0 = \alpha b, y_0 = \beta h, \sigma_r = \gamma \sigma_y \quad (3)$$

とおき、式(1)、(2)に代入すれば弾性領域を表すパラメーター α, β と外力Pの関係を次式で得る。

$$\alpha = \beta = \sqrt{(1 - P/P_y) / \gamma} / 2 \quad (4)$$

次に、本理論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、対称性により断面変形の自由度は2である。このとき、図中の1番節点(片側T形断面のせん断中心)のx軸方向変位 u_0 と断面変形角 θ_1, θ_2 に関する支配方程式は次式で得られる。

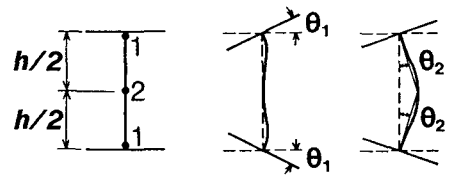


図-3 断面変形の節点と基本モード

$$EI_y u_s'''' + P u_s'' - E H_{zy} \theta_2'''' + M_{x2}^{(0)} \theta_2'' = 0 \quad (5a)$$

$$2\{EI_w(\theta_1 + \theta_2)'''' - (GJ' + K_{11}^{(0)}/2)(\theta_1 + \theta_2)''\} + f_{11}\theta_1 + f_{12}\theta_2 = 0 \quad (5b)$$

$$-E H_{zy} u_s'''' + M_{x2}^{(0)} u_s'' + 2\{EI_w \theta_1'''' - (GJ' + K_{11}^{(0)}/2)\theta_1''\} + 2\{EI_w \theta_2'''' - (GJ' + K_{22}^{(0)}/2)\theta_2''\} + f_{12}\theta_1 + f_{11}\theta_2 = 0 \quad (5c)$$

但し、肩字 f, T はそれぞれフランジ 1 枚および片側 T 形断面に関する断面定数を表している。

スパン長 L が非常に短い両端ピン支持の H 形断面柱では、 L を座屈モードの半波長とする 1 次の局部座屈を生じるが、 L が長くなると共に 2 次以上の局部座屈が生じ得るので、式 (5) の解を次式で仮定する。

$$u_s = C_1 \sin(m\pi z/L), \quad \theta_i = C_{i+1} \sin(m\pi z/L) \quad \text{但し, } m = 1, 2, \dots, \infty \quad (6)$$

本研究では接線係数理論に基づいて非弾性座屈解析を行い、式 (5) における断面定数のうち、剛性項は弾性領域に対して定義され、幾何剛性項は図-2 に示す弾塑性応力分布を用いて求められる。以上より、式 (5) に式 (6) を代入しスパン長 L について解けば、H 形断面柱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

本解析値の精度を検証するために、図-4, 5 において F S M³⁾ による結果との比較を行った。全体曲げ座屈に関しては非常によく一致するので、ここでは局部座屈の極小値を縦軸にとり、横軸はフランジ幅と板厚の比 b/h に関するパラメーター λ である。また、フランジ幅とウェブ高の比 b/h に関しては断面 A は 1.0、断面 B は 0.5 であり、残留応力は $\gamma = \sigma_r / \sigma_y = 0.3$ (図-4) および 0.5 (図-5) の 2 つの場合について考慮している。まず、F S M の解析結果において、破線はフランジの横断面内の曲げ変形を考慮し、1 点鎖線は無視している。この両曲線の差異は残留応力および非弾性域が大きい場合に著しい。また、断面 B よりも断面 A の方が大きい。これは、断面 A の局部座屈はフランジの座屈が支配的であり、断面 B はウェブの座屈が支配的であることによる。これに対し、フランジの横断面内曲げ変形を無視している本解析値は非弾性域が増大すると、断面 A では破線と交差したのち 1 点鎖線に近づき、断面 B では破線より低めの値となっている。しかし、自由度が 16 (断面 A) および 20 (断面 B) である F S M に対し、本解析値の自由度は 3 であり、極めて少ない自由度にも関わらず安全側の良好な結果が得られている。

《参考文献》

(1) 彦坂, 高海, 丸山: 薄肉開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: 断面変形を考慮した I 形断面部材の弾性安定解析, 土木学会第 41 回年次学術講演会, 1-80, 1986-11. (3) 吉田: H 形鋼柱の局部座屈と曲げ座屈の連成座屈強度, 土木学会論文報告集, Vol. 243, 1975-11.

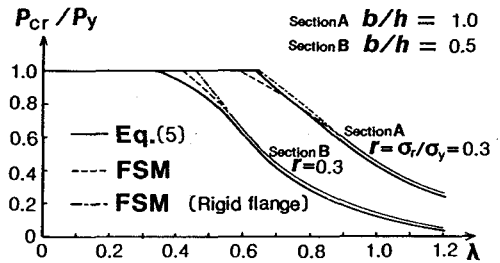


図-4 H 形断面柱の局部座屈強度曲線 (1)

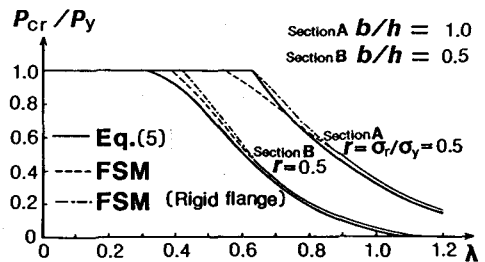


図-5 H 形断面柱の局部座屈強度曲線 (2)