

薄肉開断面部材の弾塑性挙動に 及ぼす断面変形の影響

九州大学 正会員 ○丸山義一

九州大学 正会員 彦坂 熙

九州大学 学生員 穴見徹広

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、断面形状の変化およびそれに伴う断面内直応力を考慮した弾性拡張棒理論¹⁾を提示し、その有効性について検討してきた。本報はこの理論をハット形鋼ばりに適用し、その弾塑性挙動に及ぼす断面変形の影響を拡張はり要素を用いた有限要素法により1次元的に解析するものである。但し、幾何学的非線形性は考慮しないものとする。

2. 断面変形を考慮したはり要素の弾性初期剛性行列

図-1のような長さ L 、両端単純支持の1軸対称ハット形鋼ばりにおける弾塑性挙動を解析する。本解析では断面形状の変化を考慮するために、図-2のような断面変形の節点とモードを設定する。このとき、任意のはり要素 $i-j$ (長さ ℓ)の弾性初期剛性行列は1節点5自由度の変位、たとえば i 端断面における図心 C の z 軸方向変位 w_i 、せん断中心 S の y 軸方向変位 v_i と v_i' ($=dv_i/dz$)および断面変形角 θ_{1i} と θ_{1i}' を用いて文献1)より次式で得られる。

$$\begin{bmatrix} [k_A] & [0] & [k_{H10}] \\ [0] & [k_{1x}] & [k_{H1x}] \\ [k_{H10}]^T & [k_{H1x}] & [k_{H11}] + [k_{J11}] + [k_{f11}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{w\} \\ \{v\} \\ \{\theta_1\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \\ \{M_1\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \{w\} &= (w_i \ w_j)^T, & \{N\} &= (N_i \ N_j)^T \\ \{v\} &= (v_i \ v_i' \ v_j \ v_j')^T, & \{M\} &= (Q_i \ M_i \ Q_j \ M_j)^T \\ \{\theta_1\} &= (\theta_{1i} \ \theta_{1i}' \ \theta_{1j} \ \theta_{1j}')^T, & \{M_1\} &= (M_{z1i} \ M_{w1i} \ M_{z1j} \ M_{w1j})^T \\ H_{10} &= \int_A \phi_1 dA, & H_{1x} &= \int_A \phi_1 y dA, & H_{11} &= \int_A \phi_1^2 dA \end{aligned}$$

ここに、 A 、 I_x は要素の断面積と x 軸まわりの断面2次モーメントである。一方、この場合の断面変形は断面一部(ウェブとリップ)のねじりに相当し、 ϕ_1 はその単位そり関数、 J_{11} は純ねじり定数、 f_{11} は $\theta_1 = 1$ の断面変形角が生じたときに $dz = 1$ 当りのウェブがフランジから受けるトルクである。

3. 非線形性の取扱い

材料非線形内力は次の仮定により算定する。

- 1) 材料は降伏応力 σ_y の完全弾塑性体とする。
- 2) 部材の曲げにおける平面保持の仮定が塑性域においても成立する。
- 3) 降伏状態は部材軸方向直応力のみによって決まる。
- 4) 断面変形に伴って生じるサンプナンのせん断応力と板幅方向直応力はフックの法則を満たすものとする。

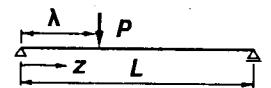
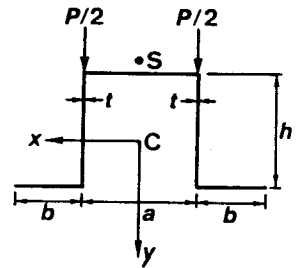


図-1 ハット形鋼ばり

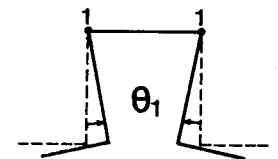


図-2 断面変形の節点とモード

4. 要素端における弾塑性断面力の算定

式(1)より求められた i 端断面の弾性断面力から、部材軸方向直応力 σ_i の分布が次式で表される。

$$|\sigma_i| = \left| \frac{N_i^0}{A} + \frac{M_i^0}{I_x} y + \frac{M_{1i}^0}{I_{11}} \Psi_1 \right| \leq \sigma_y \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M_{1i}^0 &= M_{11i}^0 - H_{10}/A \cdot N_i^0 - H_{1x}/I_x \cdot M_i^0 \\ \Psi_1 &= \phi_1 - H_{10}/A - H_{1x}/I_x \cdot y \\ I_{11} &= H_{11} - H_{10}^2/A - H_{1x}^2/I_x \end{aligned}$$

上式の σ_i 分布を用いて、弾塑性断面力が次の断面積分により求められる。

$$N_i^p = \int_A \sigma_i dA, \quad M_i^p = \int_A \sigma_i y dA, \quad M_{1i}^p = \int_A \sigma_i \phi_1 dA \quad (3)$$

要素 $i-j$ の要素端弾塑性断面力としては、要素のつり合い条件より次の $\{\bar{S}\}$ を用いるものとする。

$$\{\bar{S}\} = (\bar{N}_i, \bar{Q}_i, \bar{M}_i, \bar{M}_{21i}, \bar{M}_{11i}, \bar{N}_j, \bar{Q}_j, \bar{M}_j, \bar{M}_{21j}, \bar{M}_{11j})^T \quad (4)$$

$$\bar{N}_i = -\bar{N}_j = (N_i^p - N_j^p)/2, \quad \bar{Q}_i = -\bar{Q}_j = -(M_i^p + M_j^p)/\ell$$

$$\bar{M}_i = M_i^p, \quad \bar{M}_j = M_j^p, \quad \bar{M}_{11i} = M_{11i}^p, \quad \bar{M}_{11j} = M_{11j}^p$$

$$\bar{M}_{21i} - \bar{M}_{21j} = -(\bar{M}_{21j} - \bar{M}_{21i}) = (M_{11i}^p - M_{11i}^0 + M_{11j}^p - M_{11j}^0)/\ell$$

5. 計算例

非線形方程式の解法としては、荷重増分法とLopetegui²⁾の方法を用いた。

図-3, 4 は、図中に示す諸元をもつハット形鋼ばりについて、集中荷重をスパン中点に載荷した場合の、荷重とスパン中点におけるたわみの関係を示している。図-3 に比べ図-4 では、断面変形による耐荷力の低下(15.5%)が生じる。これは、断面変形に伴うそのため、リップ自由端付近に圧縮の部材軸方向直応力が生じるからである。

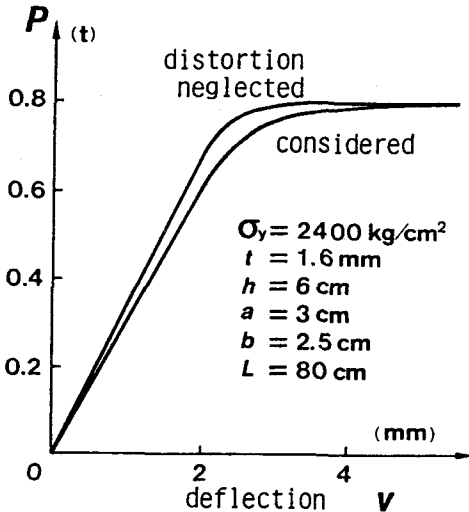


図-3 P-v 曲線(1)

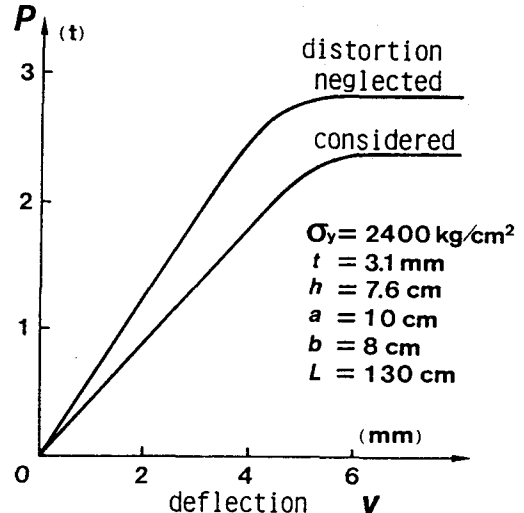


図-4 P-v 曲線(2)

《参考文献》

- (1) Hikosaka, H. et al. : Analysis of Elastic Distortional Instability of Thin-Walled Members with Open Polygonal Cross Section, Proc. JSCE, Vol. 4, No.1, pp.57~66, 1987. (2) 彦坂 照 他 : 剛節鋼骨組構造物の弾塑性有限変位挙動の簡易解析法, 九州大学工学集報, Vol. 62, No 6, pp.1~9, 1989.