

拡張された棒理論によるU形断面桁の局部及び全体座屈解析

九州大学工学部 学生員 ○諸石 毅之

九州大学工学部 正 員 彦坂 熙

九州大学工学部 学生員 丸山 義一

九州大学工学部 学生員 Mian Amar Mahmood

1. まえがき

U形断面桁は、下路式桁構造や合成箱桁橋の架設時の床版コンクリート打設前、あるいは打設中の鋼桁の断面構造としてよく用いられる構造形式である。この構造形式は曲げによる圧縮側フランジの断面が大きくとれないため、曲げ圧縮によるフランジ及びウェブの座屈安定問題が曲げ耐荷力に対して重要な意味を持つ。この問題は板理論に基づく有限要素法や有限帯板法により解析できるが、既往の棒理論の拡張による取り扱いが可能となれば、その実用的価値は高いと思われる。そこで著者らは、任意の多角形状薄肉開断面を持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を提示し、その有効性について検討してきた¹⁾。本報告は、この理論に基づいてU形断面桁の非弾性座屈解析を行い、有限帯板法との比較検討を試みるものである。

2. 断面変形を考慮した座屈解析の支配方程式

図-1のような断面諸元をもつ長さL、両端単純支持のU形断面桁に等曲げ荷重 M_0 を載荷する場合における全体座屈と局部座屈の連成問題を解析する。図-2のように断面変形の節点をとれば、断面変形は図-3の対称と逆対称の基本モードを重ね合わせたものとなる。微小変位理論により求められる座屈前応力 $\sigma_y^{(0)}$ を用いて、有限変位理論のつり合い方程式における非線形項(断面力と変位の積)の断面力を算定し、残りの線形項は変位の関数として表せば、断面変形を考慮した弾性および非弾性安定問題に適用すべき線形化有限変位理論のつり合い方程式が次式で得られる²⁾。ただし、せん断中心のX, Y方向変位を u_s, v_s 、せん断中心軸まわりのねじり角を ϕ 、および断面変形の相対回転角を $\theta_1 \sim \theta_4$ とし、またNは5である。

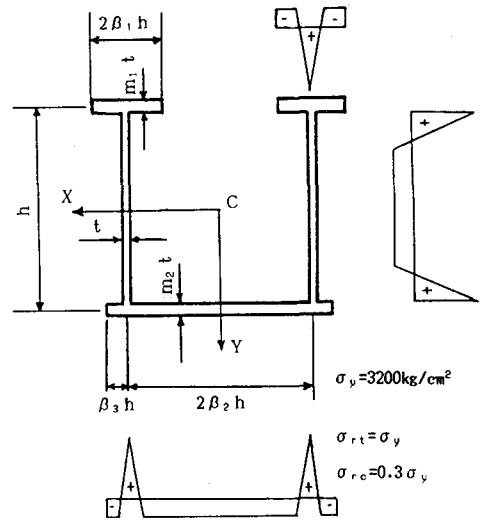


図-1 断面諸元と残留応力分布

$$EI_y u_s'''' + M_0 \phi'' + \sum_{j=1}^{N-1} (-EH_{jy} \theta_j'''' + M_{xj}^{(0)} \theta_j'') = 0 \quad (1.a)$$

$$EI_x v_s'''' + \sum_{j=1}^{N-1} (-EH_{jx} \theta_j'''' - M_{yj}^{(0)} \theta_j'') = 0 \quad (1.b)$$

$$M_0 u_s'' + EI_w \phi'''' - (GJ + K^{(0)}) \phi'' + \sum_{j=1}^{N-1} \{EH_{jw} \theta_j'''' - (GJ_j + L_j^{(0)}) \theta_j''\} = 0 \quad (1.c)$$

$$-EH_{iy} u_s'' + M_{xi}^{(0)} u_s'' + EH_{iw} \phi'''' - (GJ_i + L_i^{(0)}) \phi'' - EH_{ix} v_s'' - M_{yi}^{(0)} v_s'' + \sum_{j=1}^{N-1} \{E(H_{ij} - H_{i0}H_{j0}/A) \theta_j'''' - (GJ_{ij} + K_{ij}^{(0)}) \theta_j'' + f_{ij} \theta_j\} = 0 \quad (1.d)$$

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

3. 非弾性座屈値の算定

非弾性座屈解析を行うにあたって次の仮定を設ける。

- 1) 材料は降伏応力 σ_Y の完全弾塑性体とする。
- 2) 降伏状態は部材軸方向の直応力 σ_z のみによって決まる。
- 3) 座屈時に生じるサンプナンのせん断応力 τ_{zs} と部材軸直
角方向直応力 σ_s は弾性範囲にあるものとする。

また、溶接による残留応力の分布³⁾ ($\sigma_{rc}=0.3\sigma_Y$, $\sigma_{rt}=\sigma_Y$, $\sigma_Y=3200\text{kg/cm}^2$) は、図-1に示している。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、本研究では図-4のようにU形断面桁の構成薄板要素をさらに分割し、力のつり合いからそれぞれの分割された微少要素の直応力を求め降伏領域を決定する⁴⁾。各微少要素の直ひずみを ε_T とすると、軸方向のつり合い条件は次式

$$\sum \sigma(\Delta A) = 0 \quad (2)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \sigma &= E \varepsilon_T & |\varepsilon_T| &\leq \varepsilon_Y \\ \sigma &= E \varepsilon_Y = \sigma_Y \text{sgn}(\varepsilon_T) & |\varepsilon_T| &\geq \varepsilon_Y \end{aligned}$$

で表され、弾性時の ε_T は曲げひずみと残留ひずみの和である。しかし、断面の一部が降伏すると、さらに断面に一樣な未知の直ひずみ ε_c が生じる。そこでここでは、この未知の ε_c を任意に仮定し式(2)が成立するまで試行錯誤法により ε_c を決定する。これより条件を満足する応力分布が求められ、断面の降伏状態を定めることができる。

本研究では接線係数理論に基づいて解析を行うが、式(1)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、幾何剛性項は先に求めた弾塑性応力分布を用いて求められる。また、弾性領域に対する図心およびせん断中心の位置は断面の降伏状態により異なることから、それぞれの降伏状態に応じた図心およびせん断中心を求め、それらに基づいた断面定数の計算を行う。これらの値を式(1)に代入し、スパン長 L について解けばU形断面桁に関する非弾性座屈曲線を描くことができる。

4. 解析結果

尚、結果および考察については講演当日に発表する。

《参考文献》

- (1) 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
- (2) 彦坂, 高海, 丸山: 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 132A 1986-3
- (3) 福本, 久保: U形断面桁の横倒れ座屈強度、土木学会論文報告集, vol 1264 1977-3
- (4) 深沢, 杉原: ウェブの変形を伴うI形断面材の非弾性曲げねじれ座屈強度、山梨大学工学部研究報告, 第36号 昭和62年12月

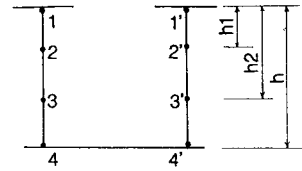


図-2 断面変形の節点

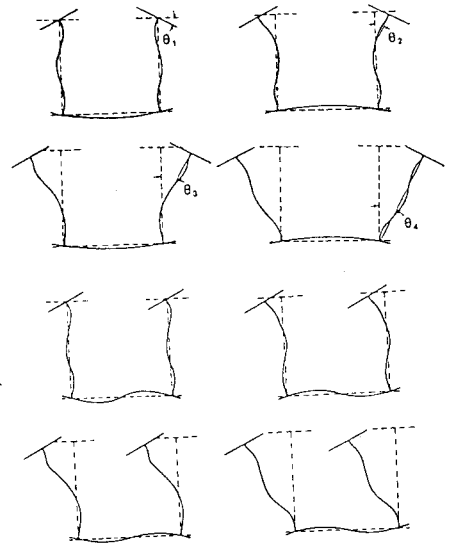


図-3 断面変形の基本モード

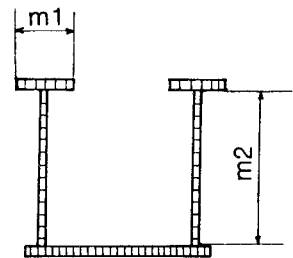


図-4 構成薄板要素の分割