

I-80

拡張された棒理論による U形断面桁の弾塑性座屈解析

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

1. 緒言

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非弾性座屈解析

図-1に示す断面諸元で長さ 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。断面変形は、図-2の対称と逆対称の基本モードを重ね合わせたものとして考慮する。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 、断面変形の相対回転角を $\theta_1 \sim \theta_4$ とすると、線形化有限変位理論によるつり合い方程式が次式で得られる⁽²⁾。

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

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

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

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

(i = 1, 2, ..., N-1 但し N=5)

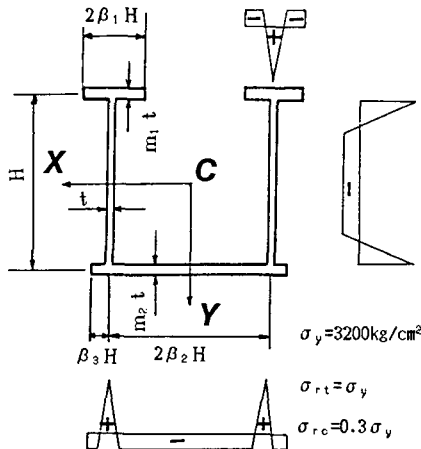


図-1 断面諸元と残留応力分布

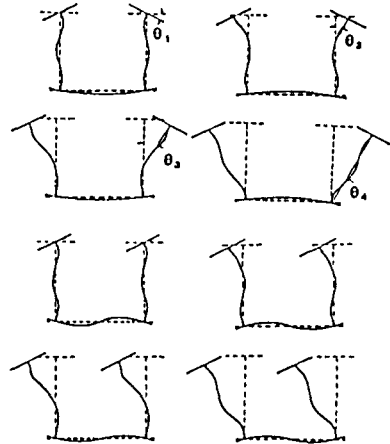


図-2 断面変形の基本モード

この式を用い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ブナンのせん断応力 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、残留応力の分布³⁾ ($\sigma_{rc}=0.3\sigma_Y$, $\sigma_{rt}=\sigma_Y$, $\sigma_Y=3200\text{kg/cm}^2$) を、図-1に示すような溶接タイプの分布形とし、断面諸定数は接線係数理論に基づいて曲げモーメント-曲率-降伏域の広がり関係から求めた。

3. 解析結果および考察

図-3は、 $2\beta_1=0.26$, $2\beta_2=0.33$, $\beta_3=0.067$, $m_1=2.44$, $m_2=1.33$ をもつU形断面桁の弾性並びに非弾性座屈曲線を、横軸に部材長とウェブ高の比 L/H 、縦軸に座屈モーメントと降伏モーメントの比 M_{CR}/M_Y をとって表したものである。図-4も参照すると、この断面形においてはスパン長が比較的短い L/H が5～10付近で逆対称変形の上フランジの局部座屈が支配的であり、 L/H が10～30付近で全体横倒れ座屈と連成し、 L/H が30以上ではもはや断面変形が及ぼす影響はなく全体横倒れ座屈のみが起きることがわかる。弾性曲線と非弾性曲線を比べると、一部を除いて非弾性荷重の方が大きい。これは座屈耐荷力に直接影響する曲げ圧縮部において、残留応力を考慮しないよりも考慮する方が有利な応力分布状態にあるためと考えられる。図-4にウェブ間隔 $2\beta_2$ を変化させた場合の非弾性座屈曲線を、横軸を L/H 、縦軸を座屈モーメントの無次元化値 $M_{CR}/E H^3$ として表す。ウェブ間隔が大きくなるにつれて対称変形を生じる上フランジの局部座屈が連成座屈よりも小さい荷重で起こる領域が出現する。これは全体座屈強度の増大に伴って連成座屈荷重が大きくなるためと思われる。

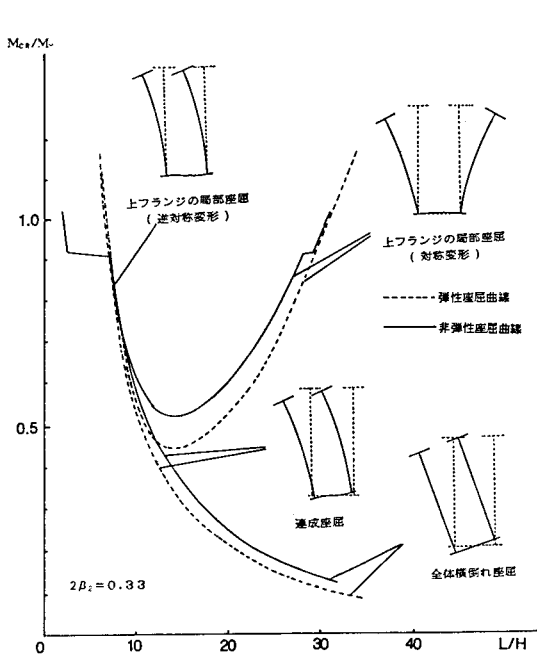


図-3 U形断面桁の座屈曲線

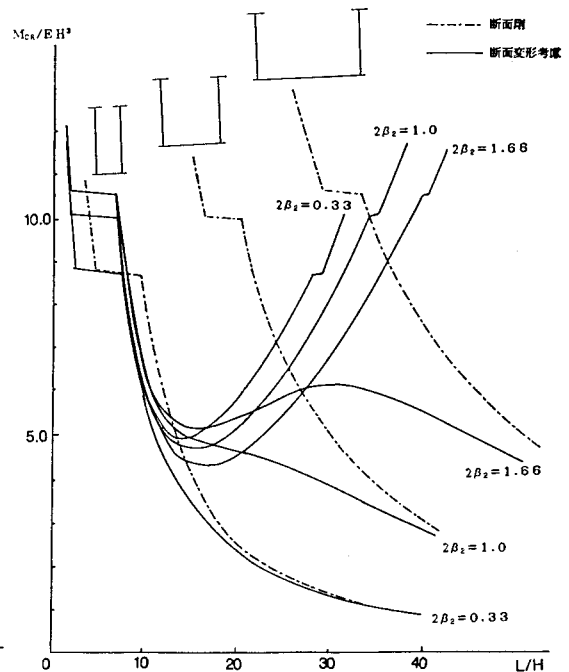


図-4 ウェブ間隔 $2\beta_2$ の変化

《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,vol32A 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,vol264 1977-3