

金沢工業大学 正 員 西田 達
金沢工業大学 学生員 ○星名 博文

1. まえがき

鋼構造部材の真の耐荷挙動を明確にするには、解析において、変形を考慮したより厳密な基礎方程式をえること、避けられない初期不整および材料の非線形性を考慮することが重要である。本研究は、著者ら¹⁾が誘導した任意の初期変形を有する薄肉断面部材の基礎方程式に、伝達マトリックス法を適用して初期不整ばりの荷重・変形挙動を求めるとともに、数値計算が比較的簡単な非弾性解析法を提案するものである。なお、用いた記号は全て横倒れ座屈解析に用いるものを使用し、その説明に割愛する。

2. 任意の初期変形を有するはりの基礎方程式

文献 1) で著者らは、三次元弾性体の有限変位理論によるひずみ・変位関係式を基礎にして、任意の初期変形 u_0 , v_0 および初期ねじり変形 φ_0 を含み、かつ断面剛の仮定を満足する面外変位 u および面内変位 v を求めた。つぎに、薄肉断面部材を対象とし、肉厚方向のせん断ひずみは零、そして、開断面の場合は薄肉中心線のせん断ひずみが零および閉断面の場合は薄肉中心線のせん断ひずみは不静定せん断流によるせん断ひずみに等しいという仮定のもとに軸方向変位 w を求めた。このようにして求めた変位を用い、任意の外荷重が作用する部材に仮想仕事の原理を適用して、任意の初期変形 u_0 , v_0 および φ_0 を有する薄肉断面部材の基礎方程式を誘導した。導いた基礎方程式は数値積分法を併用した伝達マトリックス法により解析する。

3. 等価換算断面法による部材の剛性評価

本研究では、静的に増加する荷重によって崩壊に至るはりの耐荷挙動を解析するため、弾性限度を越えた領域での応力とひずみは 1 対 1 に対応するという全ひずみ理論を用いて非弾性状態におけるはりの剛性値を評価する。全ひずみ理論とはりのねじり変形は小さいという仮定を用いると断面力と変位の間には次式が成立する。

$$\begin{Bmatrix} N \\ M_y \\ M_x \\ M_\omega \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} EA^* & -EG_y^* & EG_x^* & EG_\omega^* \\ -EG_y^* & EI_y^* & -EI_{xy}^* & -EI_{\omega y}^* \\ EG_x^* & -EI_{xy}^* & EI_x^* & EI_{\omega x}^* \\ EG_\omega^* & -EI_{\omega y}^* & EI_{\omega x}^* & EI_\omega^* \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \tilde{w} \\ \tilde{u}'' \\ \tilde{v}'' \\ -\tilde{\varphi}'' \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\tilde{w}$, $\tilde{u}$, $\tilde{v}$ は初期変形と変形の 2 次項を含んだ各曲率を表わす。 $*$ は鉄筋コンクリートばりの剛性計算に用いられている等価換算断面法による剛性を意味し、次式によって計算する(紙面の都合により、対角線の値と St. Venant のねじり定数の式のみを記す)。

$$\begin{aligned} A^* &= \int_A \beta_s dA, \quad I_y^* = \int_A \beta_s x^2 dA, \quad I_x^* = \int_A \beta_s y^2 dA \\ I_\omega^* &= \int_A \beta_s \omega_n^2 dA, \quad K_T^* = \int_A \beta_s \Theta^2 dA \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $\beta_s = \sigma / E\epsilon$, $\beta_g = (2+2\nu)/(2+2\nu+3\epsilon)$ であり、材料の応

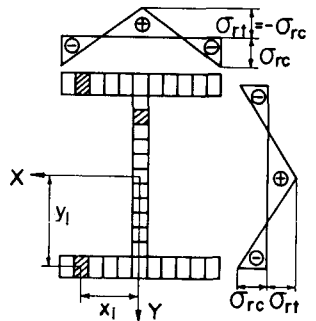


図-1 考慮した残留応力分布

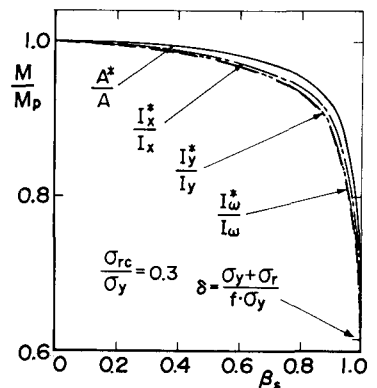


図-2 非弾性域における各種剛性値

力とひずみ関係は完全弾塑性体のものを用い、残留応力分布形は、図-1に示す理想化した圧延タイプのものを用いる。 $\sigma_{rt}/\sigma_y = 0.3$ なる残留応力を有する断面に、曲げのみが作用した場合の非弾性剛性値の変化を図-2に示す。図-2からとわかるように等価換算断面法を用いると荷重の増加による剛性低下は小さい。したがって、この剛性値を用いて2.で求めたはりの基礎方程式を反復法により解けば解の収束性がよい。

4. 数値計算例および考察

図-3は H-200×100×5.5×8mmなる断面寸法と $1/1000$ なる sin 形の初期面外変形を有する両端単純支持ばりに等曲げが作用する場合の作用モーメントとスパン中央部の各変位との関係を無次元化して示す。図中、実線は純直変位 v/d を、点線はねじり角 ϕ を、一点鎖線は全面外変位 u_T/b を表わす。なお、細い線は材料の非線形性を無視した弾性解析結果を、太い線は3.の等価換算断面法を用いて部材の剛性低下を考慮した非弾性解析結果を表わす。図中の細い線(弾性解析)と太い線(非弾性解析)の関係より、変形の高次項および部材の剛性低下のはりの耐荷力 M_u におよぼす影響は、部材の剛性低下の方が変形の高次項より大きいことがわかる。このことより、面内曲げが支配的なはりの耐荷力におよぼす初期不整の影響を検討する場合は、 v 以外の変形の高次項を無視してもよいと思われる。

図-4は、 $u_f = \frac{1}{1000} \sin \frac{\pi z}{L}$ なる初期変形を有する単純ばりに等曲げが作用する場合の耐荷力曲線を示す。図より、最大初期変形が同一なら、初期変形のはりの耐荷力におよぼす影響は初期ねじりの方が初期面外変形より危険側となることがわかる。

図-5は、最大初期変形が同一で、部材軸方向の初期変形パターンが異なるはりの耐荷力曲線を示す。図より、最大初期変形が同一なら、外荷重によるはりの座屈変形パターンに似た初期変形を有する場合が最も危険側になるものと思われる。

むすび

はりの耐荷力解析の基本である両端単純支持かつ等曲げが作用するはりの耐荷力挙動におよぼす初期変形の影響について若干の数値計算を行なった。数値計算結果におよぼす変形の高次項の影響と図-4および5への追加計算結果は当日発表する予定である。

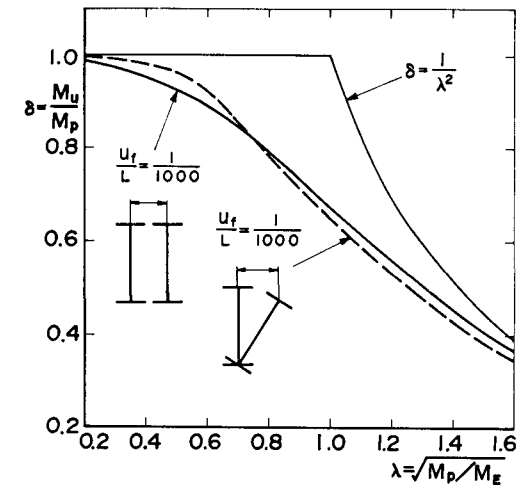


図-4 横断面方向の初期変形パターンの影響

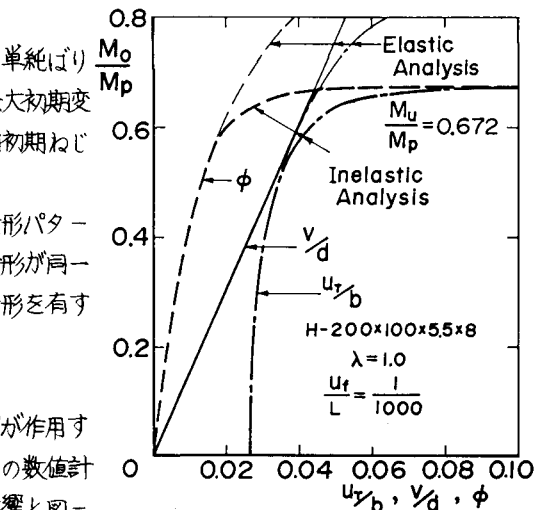


図-3 初期不整ばりの荷重・変形曲線

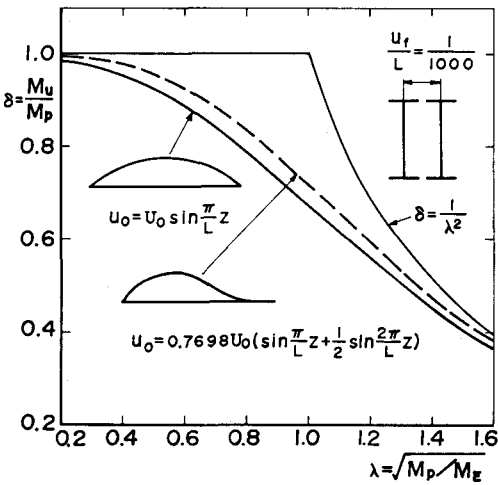


図-5 部材軸方向の初期変形パターンの影響

1) 西田, 星名: 任意の初期不整を有するはりの座屈強度解析, 土木学会中部支部講演概要集, I-12, 1983. 2. 18