

金沢工業大学 正会員 西田 進
名古屋大学 正会員 福本 孝士

1. まえがき

H形断面ばりは断面の強軸まわりの曲げに対して効果的に抵抗するように設計される。しかしながら、はりのもつ避けられない初期不完全さや、荷重の予期しない偏心により、小さな荷重段階から断面にわずかなねじりが生じる。この面外変形は荷重の増加とともにしだいに大きくなり、荷重はついにはりの支える最高荷重に到達する。このはりの耐荷力問題は数多くの研究者によって理論的にも実験的にも検討されている。しかし、断面の部分降伏による剛性の低下、変形の影響を解析に考慮しなくてはならないため、解析は複雑であり、電子計算機の使用によってのみ数値解をうることができる。このようなことから、本報告は、単純な解析法を用いて耐荷力解析を行うことの可能性を、初期面外変形とねじりを有するはりの耐荷力推定法を用いて検討するものである。

2. 簡易耐荷力算定法

等曲げを受ける両端単純支持ばりの耐荷力を考える。ただし、初期不整は小さく $\sin$ の半波長で近似できるものとする。文献 1) より、初期変形を有し、等曲げを受ける2軸対称I形ばりの基礎方程式は

$$EI_y u'''' + M_0 (q + q_0)'' = 0, \quad EI_\omega q'''' - GK_T q'' + M_0 (u + u_0)'' = 0 \quad (1)$$

で与えられる。ここに u_0 および q_0 は初期面外変形および初期ねじり角である。両端単純支持の条件より、次の

$$u = A \sin \frac{\pi}{L} z, \quad u_0 = u_c \sin \frac{\pi}{L} z, \quad q = B \sin \frac{\pi}{L} z, \quad q_0 = q_c \sin \frac{\pi}{L} z \quad (2)$$

変形を仮定する。ここに u_c, q_c はスパン中央部における初期不整量である。式(2)を式(1)に代入して u および q を求めると、

$$u = \frac{u_c + \frac{P_{FE} r_0^2}{M_0} q_c}{\left(\frac{M_E}{M_0}\right)^2 - 1} \sin \frac{\pi}{L} z, \quad q = \frac{q_c + \frac{P_{FE}}{M_0} u_c}{\left(\frac{M_E}{M_0}\right)^2 - 1} \sin \frac{\pi}{L} z \quad (3)$$

を与える。ただし、 M_E, P_{FE} および P_{FE} は横剛性、および各軸まわりの座屈荷重である。

$$M_E = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_y}{L^2} (GK_T + \frac{\pi^2 EI_\omega}{L^2})}, \quad P_{FE} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2}, \quad P_{FE} = \frac{1}{r_0^2} (GK_T + \frac{\pi^2 EI_\omega}{L^2}) \quad (4)$$

次に、はり中央断面における極限状態として、図-1を考慮する。すなわち、はりの圧縮フランジはあたかも独立した柱のごとく挙動し、圧縮フランジに塑性ヒンジが生じたときはりは破壊するものとする。いま、はりの全塑性モーメント M_p を $M_p \div \sigma_y b t d'$ に近似できるものとするれば、圧縮フランジに作用する軸圧縮力 P およびフランジ面の曲げモーメント M_f は図より、

$$P \div \frac{M_p}{d'} = \int_A \sigma dA = \sigma_y b t (2\alpha) = \frac{M_p}{d'} (2\alpha) \therefore 2\alpha = \frac{M_p}{M_p}$$

$$M_f = \int_A \sigma x dA = \sigma_y b t x \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \left(\frac{1}{2} + \alpha \right) = \frac{M_p b}{4d'} \left[1 - \left(\frac{M_0}{M_p} \right)^2 \right] \quad (5)$$

にて与えられる。

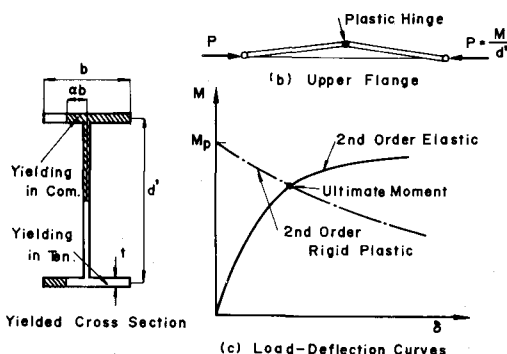


Fig. 1 Ultimate Strength Model

図-1 (c) に示す, 2次弾性解析と2次剛塑性解析の交点がはりの近似耐荷力を示すことより
 $M_f = P\{(u+u_0)+(y+y_0)\} L/2$ (6) をえる。式(2), (3) および (5) を式(6) に代入して整理すると

$$1 - \left(\frac{M_0}{M_p}\right)^2 = \frac{4 \frac{M_0}{M_p}}{1 - \left(\frac{M_0}{M_E}\right)^2} \left\{ \left(\frac{u_c}{b} + \frac{d'}{2b} y_c \right) + \frac{M_0}{M_p} \left(\frac{P_{FE} d'}{2 M_E} \frac{u_c}{b} + \frac{P_{FE} l_0^2}{M_E b} y_c \right) \right\} \quad (7)$$

となる。 $\delta = \frac{M_0}{M_p}$, $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{M_p}{M_E}}$, $a_1 = \frac{P_{FE} d'}{2 M_p}$, $a_2 = \frac{P_{FE} l_0^2}{M_p b}$
 とおいて式(7)を整理すると

$$\bar{\lambda}^4 \delta^4 - (1 + \bar{\lambda}^4) \delta^2 + 1 - 4\delta \left\{ \left(\frac{u_c}{b} + \frac{d'}{2b} y_c \right) + \bar{\lambda}^2 \delta (a_1 \frac{u_c}{b} + a_2 y_c) \right\} = 0 \quad (8)$$

をえる。式(8)を満足する最小の δ がはりの無次元耐荷力であり, 解はNewton法を用いて容易にええる。

3. 数値計算例および考察

図-2は道示Ⅱ.15.3.4 および文献2)の計算例を参照した6種の初期不整パターンに対する計算例を示す。種々の断面寸法および降伏応力度に対して数値計算を行った所, 全てパターンE.F.G.A.B.Cの順に強度は低下し, Nylanderの弾性解と同じ強度傾向を示した。

図-3は3種類の断面に対するパターンCの計算値とECCSの基本強度式との関係を示す。本解法は残留応力の影響を考慮できないため, $\bar{\lambda} = 1.0$ 近傍で強めの値となるがH形断面に対する計算値とECCSの値とはよい一致を示している。一方 M_p におよぼすウェブの影響を無視したため, 桁タイプの断面ははりタイプの断面より大きな値となり, 実験からえらる傾向と異なっている。

図-4は文献3)の変形を考慮した曲がりばりの耐荷力解析値および実験値(AR-2, BR-2)と本解法(実線)の関係を示す。なお, 図中のプロットは各作用荷重による耐荷力を荷重係数Cを用いて等曲げに換算した値を示す。図より曲がりばりの耐荷力に本解法を適用すると安全側で比較的精度のよい近似値を示すことがあかる。

等曲げを受ける単純ばりの圧縮ランジにMerchant, M. のはり一柱の崩壊メカニズムの概念を適用することによって, はりの耐荷力値を求めた簡単な式をえた。多くの数値計算を行って本解法を検討した所, 有意義な近似式となることがあかった。

参考文献

- 1) 坂井藤一: 薄肉肉断面部材の弾性基礎方程式の統一誘導, 土木学会論文報告集, No.221, 1974年1月。
- 2) Nylander, H.: Effect of Initial Deformations ..., The Royal Institute of Tec., Bulletin No.75, Sweden, 1968.
- 3) Fukumoto, Y. and Nishida, S.: Ultimate Load Behavior of Curved I-Beams, Proc. of ASCE 投稿中

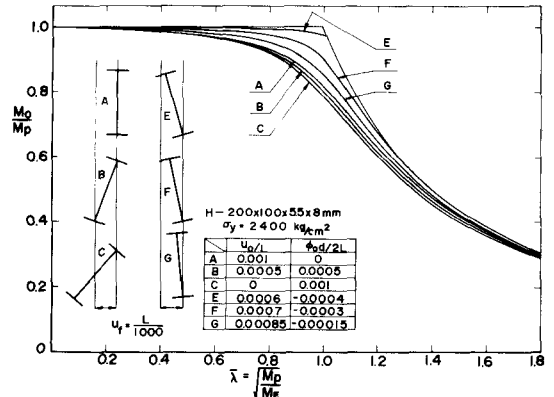


Fig. 2 Influence of Initial Imperfection

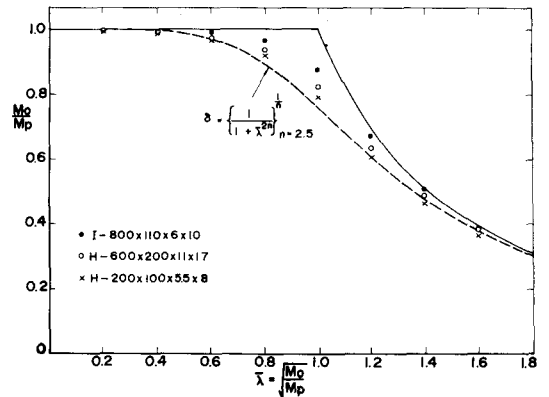


Fig. 3 Strength of Beam for 3 Type of Cross Section

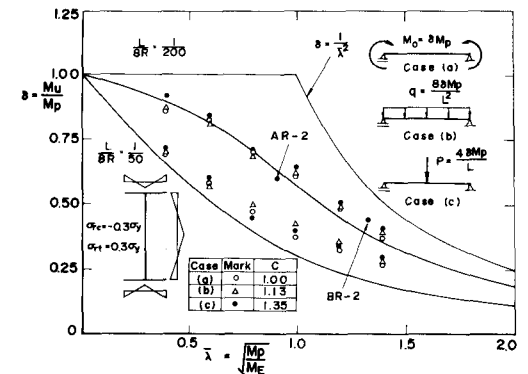


Fig. 4 Strength of Curved Beam for Variable Loading