

弾性拘束を受ける鋼はりの極限強度と設計公式

大阪大学工学部 正 員 西村宣男
大阪大学大学院 学生員 石井 晃
大阪大学工学部 学生員○植田雅俊

1. はじめに 鋼はり部材の横ねじれ座屈強度に及ぼす境界条件の影響について考察するため両端で鉛直軸回りの回転変位とそり変位が回転バネによって弾性拘束されたはり（以下、端部弾性拘束はりと呼ぶ）の極限強度解析を行い極限強度を有効座屈長さによって評価する。さらに、中間で水平変位とねじれ変位が離散的に支持された単一はり（以下、中間拘束はりと呼ぶ）の拘束点間（以下、パネルと呼ぶ）の横ねじれ座屈強度に及ぼす隣接パネルの影響を評価し、一般的境界条件のはりの極限強度を有効座屈長さを用いて評価する方法を提案する。

2. 端部弾性拘束はり 図-1に示すような端部弾性拘束はりの極限強度解析を行った。解析モデルは圧延断面（RG）、溶接断面（WG）それぞれ細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ ($\bar{\lambda} = \sqrt{M_P/M_E}$, M_P : 全塑性モーメント, M_E : 弾性座屈モーメント) を6種類に変化させた12ケースである。初期不整としては実測データに基づく分布形を考慮して図-2に示すような平均的な残留応力と最大縦距が圧延断面で $0.5 \times 10^{-3} \times L$, 溶接断面で $0.5475 \times 10^{-3} \times L$ (L : スパン長) を有するsine半波形の初期たわみを与えている。拘束パラメータ κ は、ばねの剛性 K , はりの鉛直軸まわりの曲げ剛性を EI , スパン長を L とすれば $\kappa = KL/EI$ と表される。本研究では両端の拘束パラメータ κ_1, κ_2 が等しい場合と異なる場合それぞれについて解析を行った。解析結果から得られた端部弾性拘束はりの極限強度より有効座屈長さ係数 $K_{b,t}$ を次式で与える。

$$K_{b,t} = \frac{1+0.103\kappa_1+0.217\kappa_2+0.128\kappa_1 \cdot \kappa_2}{1+0.210\kappa_1+0.324\kappa_2+0.237\kappa_1 \cdot \kappa_2} \quad (\kappa_1 \leq \kappa_2) \quad (1)$$

各係数ははりの基本強度に適合するように最小自乗法を用いて決定した。基本強度としては文献1)で提案されている平均値相当の基本強度曲線を用いた。解析結果と式(1)によって換算した細長比パラメータを用いて評価した極限強度を図-3, 図-4に示す。図中の実線は文献1)で提案された基本強度曲線を表わしている。圧延断面では若干危険側に評価しているが全体として精度の良い評価を与えている。

3. 中間拘束はり 式(1)の一般的境界条件への適応性を検討するために中間でねじれ変位と横方向変位が離散的に拘束された中間拘束はり（図-5）の極限強度解析を行った。荷重ははりのせん断中心位置に等分布荷重を満載した。それぞれのモデルには先に考慮した初期不整を与えている。このモデルによって横構, 対傾構で連結された並列桁構造などの挙動を精度よく再現できると考える。パネル数 n は3, 5とし拘束点間隔 $a=L$ としている。図-6, 図-7は溶接断面で $\bar{\lambda}$ の異なる2つのモデルで $n=3$ のときの着目パネルおよび隣接パネル中央点の圧縮フランジ端の直ひずみと荷重の関係および最大荷重直

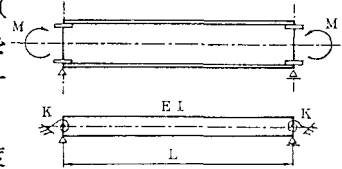


図-1 端部弾性拘束はり

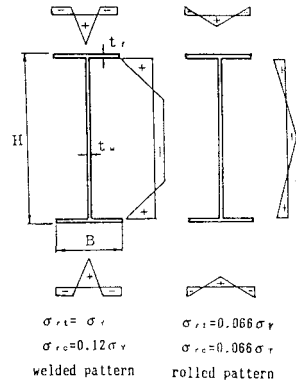


図-2 はり断面の残留応力

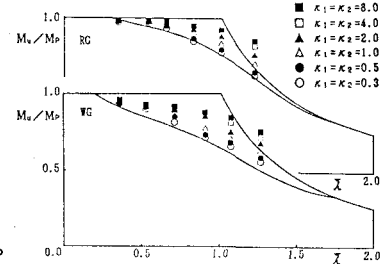


図-3 端部弾性拘束はりの極限強度 ($\kappa_1 = \kappa_2$)

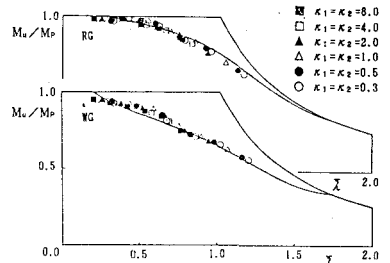


図-4 式(1)で評価した極限強度 ($\kappa_1 = \kappa_2$)

Nobuo NISHIMURA, Akira ISHII, Masatoshi UETA

前の圧縮フランジの直ひずみ分布を表している。 $\bar{\lambda}$ の小さなモデル(図-6:拘束点間隔を座屈長とした場合の細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.920$)は隣接パネル中央の圧縮フランジの先端に降伏域が発生するときに極限状態に至る。これに対して $\bar{\lambda}$ の大きなモデル(図-7: $\bar{\lambda}=1.276$)では着目パネルの圧縮フランジの先端に降伏域が発生してまもなく極限状態に至る。極限状態の直前まで着目パネルおよび隣接パネルの圧縮フランジは弾性状態にある。このように主桁の細長比パラメータによって着目パネルおよび隣接パネルの圧縮フランジの極限状態における降伏領域が異なり、上述した端部弾性拘束はりの有効座屈長さ係数を用いて中間拘束はりの極限強度を評価する際に、隣接部材の拘束度を応力レベルに関係する剛性低下を考慮して評価しておく必要がある。拘束部材の拘束効果の評価はこれまでNethercot-Trahair²⁾やDux-Kitipornchai³⁾らによって提案されているがここでは弾塑性有限変位解析によるはりの横ねじれ座屈特性を考慮して、Nethercot-Trahair方法を修正した計算法を示す^{4), 5)}。極限状態における隣接パネルの拘束パラメータ κ を弾性剛性からの低減係数 ϕ を導入して次のように表す。

$$\kappa = s \phi \frac{EI_i}{EI} \frac{a}{a_i} \quad (2)$$

ここに EI は鉛直軸回り曲げ剛性、 a はパネル長であり添字 i は隣接パネルの諸量を表し添字のないものは着目パネルの諸量を表す。 s は隣接パネルの遠端の支持条件に関係する係数で遠端が単純支持されている場合は $s=3$ 、連続支持されている場合は近似的に $s=4$ とする。また隣接パネルの塑性化と作用モーメントによる剛性低下は圧縮材の安定関数を近似した式(3)によって安全側に評価することができる⁴⁾。

$$\phi = 1 - (p_0/p_i)^{1.4} \quad (3)$$

ここに p_0 、 p_i は対象としている荷重状態下での曲げモーメント分布による着目パネル(p_0)および隣接パネル(p_i)の荷重表示した極限強度である。 p_0 、 p_i の算定においては近似的に拘束点間距離を各パネルの座屈長とする(Salvadori buckling mode²⁾)。解析結果を上述した隣接部材の拘束効果の評価式と端部弾性拘束はりの有効座屈長さ係数によって算定した等価なはりの基本強度を比較し図-8に示す。提案式によって与えられる極限強度は図-5の中間拘束はりモデルの全体解析による極限強度と良好に一致している。

4. 結論 以上、弾性拘束を受ける鋼はりの極限強度特性を数値計算によって考察した。本研究によって端部弾性拘束はりの極限強度を有効座屈長さ係数を用いて評価した。さらに中間拘束はりの隣接パネルの拘束度の評価法を示し、極限強度を端部弾性拘束はりの有効座屈長さ係数を用いて算定する方法を提案した。なお、中間拘束はりの極限強度解析では拘束点において水平方向変位とねじれ変位を完全拘束したモデルについて解析を行った。従って拘束部材の必要剛度および強度について今後検討していく必要がある。

《参考文献》 1)西村宣男,他:鋼はりの基本強度の統一評価,土木学会論文集, No.410, 1990., 2)Nethercot, D.A. and Trahair, N.S.: Lateral buckling approximations for elastic beams, Struct. Eng., Vol.54, No.6, 1976., 3)Dux, P.F. and Kitipornchai, S.: Elastic Buckling of Laterally Continuous I-beams, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol.108, No. ST9, 1982., 4)西村宣男:弾性拘束を受けるI形断面はりの極限強度評価式,土木学会論文集, No.386, 1987., 5)前川幸次, 福本昭士:中間拘束されたはりの横ねじれ耐力の近似計算法, 構造工学論文集, Vol.34A, 1988.

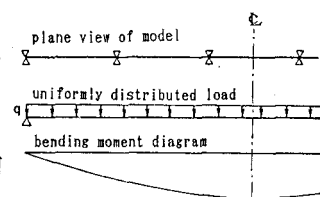


図-5 中間拘束はり

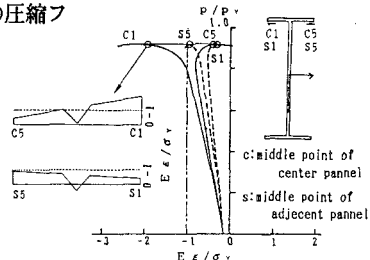


図-6 着目パネル, 隣接パネル圧縮フランジのひずみ変化($\bar{\lambda}=0.920$)

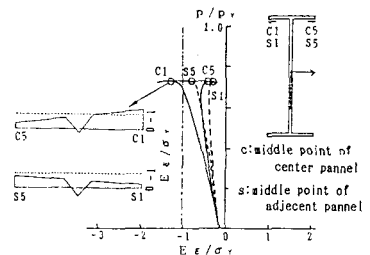


図-7 着目パネル, 隣接パネル圧縮フランジのひずみ変化($\bar{\lambda}=1.276$)

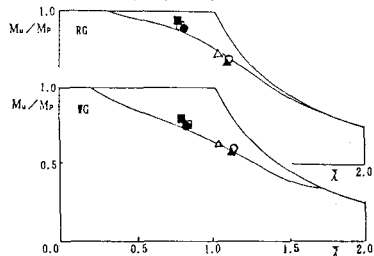


図-8 提案式と解析結果の比較