I-92　中間で横拘束された圧延はりの横ねじれ耐荷力の近似計算法

金沢大学　正員　前川幸次

1．まえがき

著者らは，実験と解析に基づいて提案したモーメント勾配を考慮した溶接桁の耐荷力式，および横拘束点で区切られたはり要素の連続性によるはり要素相互の拘束効果を耐荷力に基づいた有効長を用いることにより，中間で横拘束された溶接桁の横ねじれ耐荷力を算定するための近似計算法を文献1)で提案した．以下に，その手法の圧延はりへの適用について報告する．

2．モーメント勾配を考慮した圧延はりの横ねじれ耐荷力式

図1は両端で不等曲げ（ρ=1.0, 0.5, 0.0, および -0.5）を受ける圧延はりの解析点（記号○,△,□,および○等）およびその近似強度曲線を表している．横軸には基本細長比λ_o（$=\sqrt{M_p/M_{ocr}}$，ここにM_{ocr} = 等曲げはりの弾性座屈モーメント，M_p=全塑性モーメント）を用いて整理してある．解析に用いた断面寸法はI-256x146x6.4x10.9 mmで，残留応力は文献2)に報告された測定結果をモデル化した．また，初期たわみをスパン長 Lの 1/1000と 1/2500の二通りとした．このようにして得られる解析点はほぼ下限強度を表わすと考えられる．図から解析点はλ_oが1.5より大きいところでほぼ弾性座屈曲線（破線）上に分布し，またλ_oが1.5より小さいところではモーメント勾配ρに応じたある無次元モーメント量（M/M_p）だけずれる傾向を示している．したがって，文献1)の溶接桁の場合と同様なタイプの次式で下限強度M_Uを近似する．

$$M_U/M_p = 1 - 0.427(\lambda_o - 0.2) + C \quad , \quad C = 0.29 - 0.33\rho + 0.04\rho^2 \qquad (1a)$$

$$M_U/M_p = m/(\lambda_o)^2 \qquad (1b)$$

ここに，$m = 1.75 - 1.05\rho + 0.3\rho^2$ で，弾性座屈解析に基づくSalvadoriのモーメント修正係数である．

通常のはりでは式(1a)を用い，長いはりでは式(1b)を適用すると図1の実線が得られる．解析点は単一断面のモデルについての結果であるが，細長比λ_o（$=\sqrt{M_p/(mM_{ocr})}$）を用いた場合の耐荷力曲線は残留応力により若干の相違はあるものの断面の差による影響はほとんどないことがわかっている．

3．中間で横拘束された圧延はりの横ねじれ耐荷力の近似計算法

横ねじれ耐荷力に対しても有効長の概念が有効であり[1]，図2の場合，中間の横拘束点で区切られた中央部（着目ｾｸﾞﾒﾝﾄ，ｻﾌｨｯｸｽ C）とその外側部（拘束ｾｸﾞﾒﾝﾄ，ｻﾌｨｯｸｽ R）の相互の拘束効果を考慮するために，はり要素の弱軸まわりの曲げに関する剛比を弾性拘束柱の設計に用いられている有効長係数のノモグラフ（図3）に用いて，有効長を求める．図3の剛比G_AあるいはG_Bは次式で求められる．

$$G_A = \alpha_C/\alpha_{RA} \quad , \quad G_B = \alpha_C/\alpha_{RB} \qquad (2)$$

$$\alpha_C = (2jEI_y/L)_C \quad , \quad \alpha_R = (3\gamma jEI_y/L)_R \qquad (3)$$

ここに，γは拘束ｾｸﾞﾒﾝﾄ自らの横ねじれ座屈現象に伴う拘束力の低減を表す安定低減係数であり，jは非弾性剛性を表す剛性修正係数である．γおよびjの決定方法は次の通りである（詳細は文献1)に譲る）．

まず，γは解析解と本近似計算法の比較検討から経験的により良い近似解が得られた次式を用いる．

$$\gamma = 1 - (M/M_U)^4 \qquad (4)$$

ここに，Mは端モーメント，M_Uは式(1)で与えられる拘束ｾｸﾞﾒﾝﾄ の横ねじれ耐荷力である．

また，横ねじれ耐荷力M_Uと弾性座屈強度M_{ocr}の近似的な関係式として次式が成立つ．

$$M_U \fallingdotseq jmM_{ocr} \qquad (5)$$

式(1)を式(5)のM_U に用いれば，図4のように，細長比がλ_g でモーメント勾配がρであるはりの端モーメントの大きい方が$\overline{M}$（$=M/M_p$）のとき，jは次のように評価できる．

$$j = \overline{M}/\overline{M}_e \leqq 1.0\ ,\quad \overline{M}_e = m/\lambda_r^2\ ,\quad \lambda_r = \min\{\lambda_a\ ,\ \lambda_b\} \qquad (6\,a, b, c)$$

$$\lambda_a = (1 - \overline{M} + C)/0.427 + 0.2\quad ,\quad \lambda_b = (m/\overline{M})^{0.5} \qquad (7\,a, b)$$

ここに，記号 min {A, B} はAおよびBの小さい方を選ぶことを意味する．

近似計算法の計算手順および適用例をそれぞれ表１および表２に示す．

参考文献

1) 前川・福本：中間横拘束されたはりの横ねじれ耐荷力の近似計算法，構造工学論文集，Vol. 34A, 1988.
2) Dux, P.F. : Inelastic Beam Buckling Experiments, No.CE24, University of Queensland, 1981.

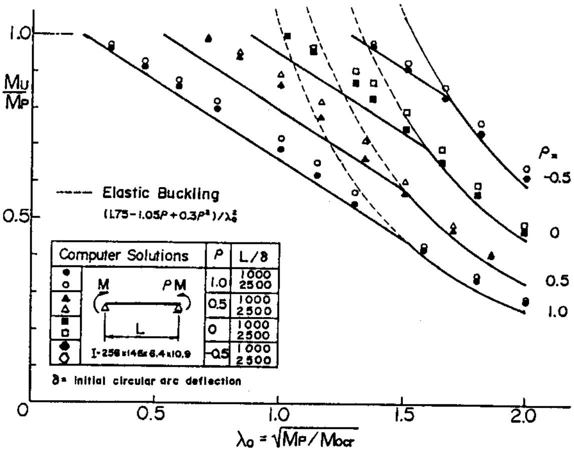


図1 圧延はりの横ねじれ耐荷力曲線

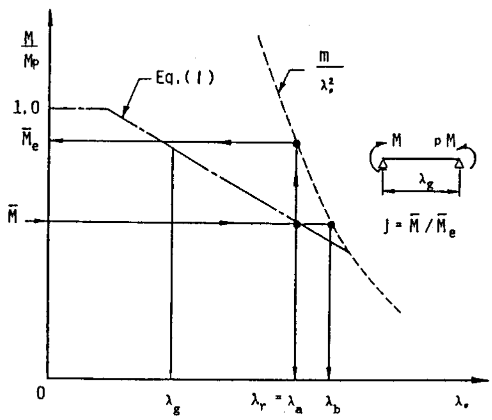


図4 剛性修正係数ｊの評価方法

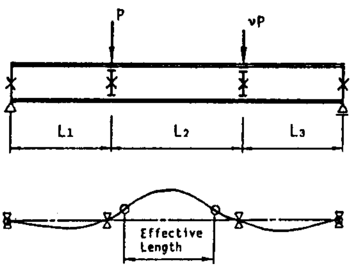


図2 中間で横拘束されたはり

表1 近似計算法の手順

1. 各ｾｸﾞﾒﾝﾄの弾性剛性EI_y，EI_ω，GK_Tを計算する．
2. 荷重面内の曲げﾓｰﾒﾝﾄ分布から各ｾｸﾞﾒﾝﾄのﾓｰﾒﾝﾄ勾配ρを決める．
3. 各ｾｸﾞﾒﾝﾄの有効長係数を$k = 1.0$に仮定し，細長比$\lambda_o = \sqrt{M_p/(m M_{ocr})}$を計算する．式(1)から耐荷力$M_u$を求め，対応する荷重係数$F = P/P_p$を各ｾｸﾞﾒﾝﾄについて計算する．
4. 得られた最小荷重係数Fに対応するﾓｰﾒﾝﾄﾚﾍﾞﾙ Mを各ｾｸﾞﾒﾝﾄに対して求め，剛性修正係数ｊおよび安定低減係数γを求める．
5. 得られたｊおよびγを式(2)および式(3)に用いて，G_AおよびG_Bを求める．それらを図3に用いて着目ｾｸﾞﾒﾝﾄの有効長係数kを求める．
6. 着目ｾｸﾞﾒﾝﾄの有効長をkLとし，細長比λ_oを修正する．細長比λ_oに対する耐荷力M_u（式(1)）と対応する荷重係数Fを計算し，Step 4へ戻る．荷重係数Fが前回のStep の値と差がなくなるまでStep 4～6を繰り返す．

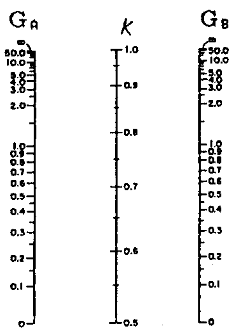
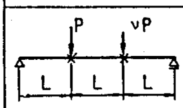
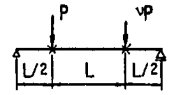


図3 拘束部材の有効長係数

表2 近似計算法の適用例

Rolled Beams I-256 x 146 x 6.4 x 11	ν	Critical Segment ρ	L (m)	$\overline{\lambda}_o$	Computer Simulations (Ultimate Strength)	Proposed Manual Method k
	1.0	1.0	3.0	0.823	F = 0.815 k = 0.650	F = 0.835 (+2.5%) k = 0.673
	0.308	0.7	3.0	0.823	F = 0.930 k = 0.682	F = 0.915 (-1.6%) k = 0.670
	1.0	1.0	3.5	0.931	F = 0.863 k = 0.580	F = 0.834 (-3.3%) k = 0.580
	0.478	0.7	3.5	0.931	F = 0.975 k = 0.525	F = 0.915 (-6.2%) k = 0.575

( ) = represents difference from computer simulation.