

I-77 中間横拘束ばりの横ねじれ耐荷力の評価方法について

名古屋大学 正 福本秀士
石川高専 正○前川幸次
名古屋大学 正 伊藤義人

1. まえがき

中間において横方向の変形(水平変位・ねじれ)が拘束されているはりの横ねじれ座屈強度は、各拘束点間の要素(critical segment および 拘束segment)の内、critical segmentの横ねじれ座屈強度によって評価される。通常、拘束segmentによる拘束効果は有効座屈長により評価され、修正細長比 $\bar{\lambda}$ のような一般化した座標上で実験値を整理する場合にもこの弾性座屈に基づいた有効座屈長が用いられている。ところが、荷重の増加に伴う各segmentの降伏領域の進展に応じて critical segmentと拘束segmentの相対的な剛性(剛比)が変化することから、実際の有効座屈長は弾性座屈解析による値より小さくなると考えられる。本研究では、中間横拘束ばりの横ねじれ耐荷力を一般化した座標上で評価する際のこの拘束効果の変化の影響について、実験値ならびに耐荷力解析結果を基に検討する。

2. 耐荷力解析による有効(座屈)長

図-1に示すように中間横拘束点で集中荷重を受けるはりに対して、剛性法を用いた非弾性有限変位解析法を適用する。初期横たわみは円弧で与え、ここでは横拘束点間距離 L の約 $1/4000$ とした。図-1は数値解析における最高荷重時およびその70% 時のはりの変形モード(実線=水平変位、破線=断面回転角)を示している。最高荷重の70%では初期横たわみの影響が大きく、理想的な横ねじれ座屈モードになっていない。しかし変形の絶対量は極僅かであり、最高荷重においては横ねじれ座屈モードを生じている。ここでは、この最高荷重時の変形モードの変曲点間距離 l を耐荷力解析による有効(座屈)長と呼ぶことにする。

図-2はスパン長を変えて行った耐荷力解析から得られた最高荷重レベル(はりの塑性崩壊荷重 P_p で無次元化されている)と有効(座屈)長係数 $k=l/L$ との関係を示している。記号(▲, ●)および記号(△, ○)は、それぞれ4等分点で中間横拘束された圧延はり(I-256x146x6.4x10.9 mm)および3等分点で中間横拘束された溶接桁(I-521x110x4.5x8.0 mm)に対応する。また、記号(△, ▲)は水平変形モードの変曲点間距離 l_v から求まる有効(座屈)長係数 $k_y=l_v/L$ を表し、記号(○, ●)は断面回転角 ϕ の変曲点間距離 l_ϕ から求まる有効(座屈)長係数 $k_z=l_\phi/L$ を表す。なお図中の弾性座屈に基づく有効座屈係数 k_e は文献 1)の近似計算法あるいは次式で求めることができる。ただし、 $k_e=k_y=k_z$ とし、またこの例では、拘束点間距離 L による k_e の変動はほとんどない。

$$k_e = \frac{\pi E}{\sqrt{2} L M_e} \sqrt{\frac{G}{E} I_y J} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4 I_w M_e^2}{G^2 J^2 I_y}}} \quad (1)$$

ここに、 M_e =弾性座屈解析から得られる座屈モーメント、 E =弾性係数、 G =せん断弾性係数、 I_y =弱軸まわりの断面2次モーメント、 I_w =そり2次モーメント、および J =ねじり定数である。

図から、最高荷重レベルが低い場合の耐荷力解析による有効(座屈)長はほぼ k_e に等しく、最高荷重レベルの増加に伴って有効(座屈)長係数が減少することが明らかである。

3. 有効(座屈)長係数 k_y あるいは弾性有効座屈長係数 k_e を用いた実験点の整理

図-3aおよび図-3bはそれぞれ圧延はりおよび溶接桁の実験値^{2), 3)}と耐荷力曲線に対応し、横軸の修正細長比 $\bar{\lambda} = \sqrt{M_p/M_{cr}}$ の M_{cr} は次式で求めた。

$$M_{cr} = \frac{\pi}{k L} \sqrt{E I_y G J + \frac{\pi^2 E^2 I_y I_w}{(k L)^2}} \quad (2)$$

記号(△, ○)は式(2)で $k=k_e$ を用いたときの実験点を表し、記号(▲, ●)は便宜上 $k=k_y$ を用いたときの実験点を表す。ここに、 k_e および k_y は図-2のように求めた係数である。図中の破線は実験値と同じ

載荷状態で行った耐荷力解析結果を表し、実線は両端に等しいモーメント荷重を受ける単純支持ばりの耐荷力解析結果を表す。実験点(△, ○)は破線で、実験点(▲, ●)は実線でほぼ近似されている。これは横ねじれ耐荷力に対しても有効座屈長の概念を用いることの妥当性を示すものと考えられる。また、中間横拘束を受けるはりの実験点を一般化した細長比で整理する場合、弾性座屈理論に基づいた有効座屈長係数 k_e を用いると実験点を危険側に評価することも考えられる。

4. あとがき

中間横拘束ばりの横ねじれ耐荷力(実験点)は有効座屈長の概念を用いて評価することができる。その場合の有効座屈長係数は弾性座屈理論に基づいた k_e ではなく、非弾性の影響を考慮した有効(座屈)長係数 k_y , k_ϕ を用いる方が合理的であろう。

- 1) Nethercot et al.: Lateral Buckling Approximations for Elastic Beams, The Structural Engineer, Vol. 54, 1976.
- 2) 福本・他: モーメント勾配による溶接 I 形桁の横ねじれ座屈実験, 土木学会論文集, No. 362/I-4, 1985.
- 3) Dux et al.: Inelastic Beam Buckling Experiments, Research Report No. CE24, Univ. of Queensland, 1981.

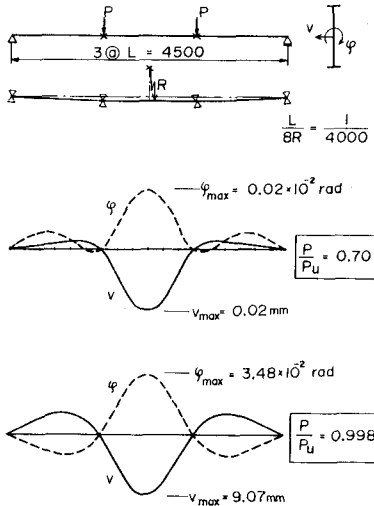


図-1 耐荷力解析における変形モード

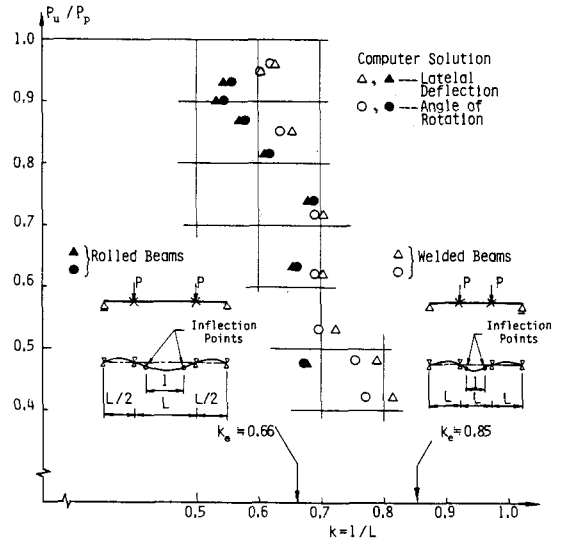


図-2 最高荷重(耐荷力)レベルと非弾性有効(座屈)長

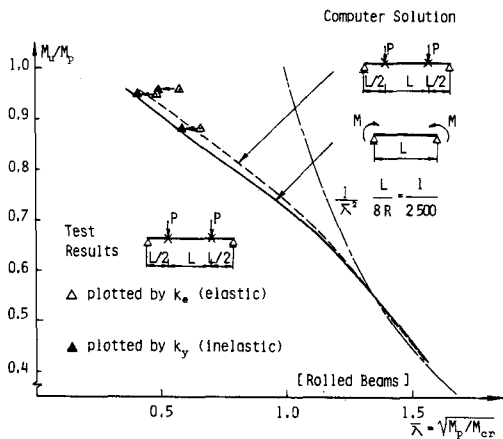


図-3a 非弾性有効(座屈)長を用いた実験点の評価(圧延ばり)

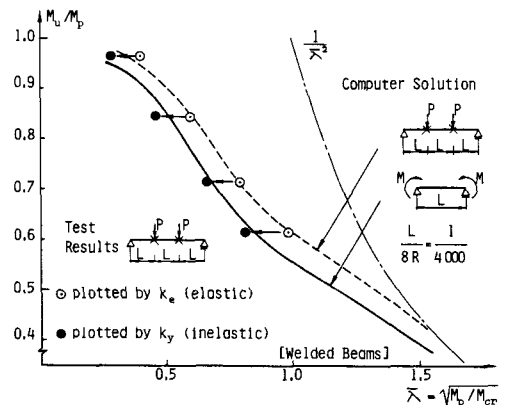


図-3b 非弾性有効(座屈)長を用いた実験点の評価(溶接桁)