

名城大学理工学部 正員・久保全弘

名古屋大学工学部 正員 福本啓士

1. まえがき これまでの研究成果から、はりの横倒れを伴う荷重-変形挙動はつきに示す各種不整によって影響を受けることがわかってきている。すなわち、1)幾何学的不整----初期変形、すなわち初期曲がりと初期ねじれ。作用荷重面内のたわみ。2)荷重不整----作用荷重の偏心。3)構造的な不整----残留応力の存在、材料強度と断面寸法の不均一。これらの不整のほとんどは、はりの崩壊荷重を低下させる要因であるが、これらの不整をすべて考慮した理論解析はいまだに行なわれていない。現在では、各種不整のうち個々の要因については、その影響度を解析的に求めることができないが、実際のはりでは、これらの不整は複雑に存在しており、定量的にはつきりと定めることは困難である。本研究は、これまでに行なわれた鋼工形断面はりの曲げによる横倒れ座屈実験値をもとにして、座屈強度の変動と設計のための基本強度について検討を試みたものである。

2. 横倒れ座屈強度式 理想はりの曲げによる弾性座屈強度はつぎの式によって与えられる¹⁾。

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 B_y}{(KL)^2} \left[C_2 g + C_3 j + \sqrt{(C_2 g + C_3 j)^2 + \frac{C_w}{B_y} \left(1 + \frac{C_T (KL)^2}{\pi^2 C_w} \right)} \right] \quad (1)$$

ここに、 L —横倒れに対する支持間隔、 B_y —弱軸まわりの曲げ剛度、 C_w —そりねじれ剛度、 C_T —St. Venantのねじれ剛度、 g —鉛直荷重の作用点とせん断中心との距離。また、 $j = e + \int_A y(x^2 + y^2) dA / (2I_x)$ 、ここに e —断面の重心とせん断中心との距離。なお、式(1)中の係数 C_1, C_2, C_3 および K は、はりの荷重状態と支持条件によって定まる値である。式(1)の無次元量としてはりの強軸まわりに関する全塑性モーメント M_p を用いて表わすとつぎのようになる。

$$\left(\frac{M_{cr}}{M_p} \right) = \frac{1}{\lambda_p^2} \quad (2)$$

ここに、 λ_p は式(1)の右辺のすべての項を考慮して求まる値である。

3. 実験値の整理 弾性なうに弾塑性領域における研究には Dibley, Hechtman²⁾、鈴木³⁾、若林⁴⁾による圧延はりを用いた実験があり、また福本⁵⁾、鈴木⁶⁾による溶接はりを用いた実験がある。塑性設計はりを対象とした研究は、我国では建築分野において鈴木⁵⁾、田中⁴⁾などによって実験が行なわれている。本研究では、鋼工形断面はりの横倒れ座屈実験値をできるだけ集めた結果、圧延はりは135個、溶接はり(ガーダーも含む)は106個、それぞれ集めることができた。

実験はりの座屈荷重や断面寸法を正確に測定することは実際には不可能であるので、横倒れ耐荷力として実験はりの最高荷重 M_0

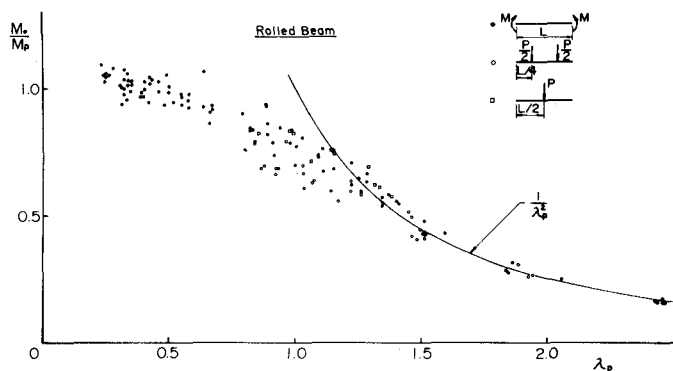


図-1

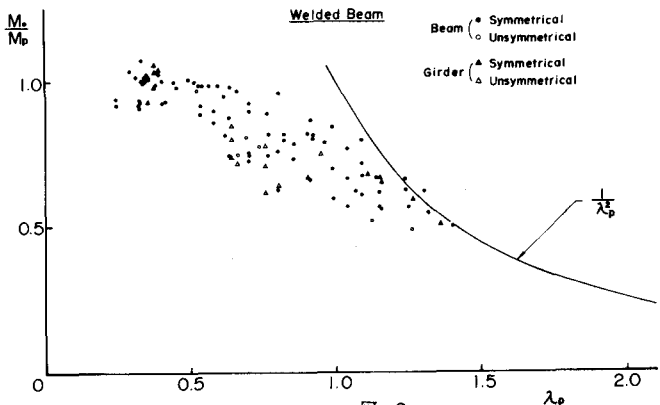


図-2

を、断面寸法として公称断面寸法をそれぞれ用いた。また、実験はりの有効座屈長さは側径間はりをも有する場合には、この影響を考慮して求めた。図-1は縦軸に (M_0/M_p) をとり、横軸に式(2)より求まる λ_p をとって圧延はりについて図示したものである。図-2には図-1と同様な関係を溶接はりについて図示してある。これらの図から、比較的に長いはりでは、式(2)によって求まる弾性座屈曲線に沿って実験値は変動していることがわかる。これに反して、比較的に短いはりでは、実験値は全塑性モーメント M_p の値に沿って変動しており $\lambda_p < 0.3$ 程度のはりでは M_p によって強度を定めることができるようである。

4. 座屈強度の変動 非弾性座屈強度の変動性を調べるために、図-1,2において横軸の λ_p を0から0.1づつづつ階級に区別して、この区間に含まれる実験値(約実験値の個数10)をもとに、 (M_0/M_p) の平均値 m 、標準偏差 S 、変動係数 ψ を求めた。図-3,4の下側には、このようにして求めた変動係数 ψ を λ_p の各代表値に+印で示してある。また、 λ_p によるこの変化を λ_p に関する6次の多項式で近似すると、細線の曲線になる。この図から、非弾性域における座屈強度の変動は $0.8 < \lambda_p < 1.2$ の範囲で大きくなっており、その値は圧延はり($\psi_{max}=0.09$)よりも溶接はり($\psi_{max}=0.13$)の方が大きくなっている。図-3,4には、圧延はりと溶接はりの実験値について (M_0/M_p) の平均値 m と平均値から2倍の標準偏差を差し引いた値($m-2S$)も図示してある。これらの図で、 $(m-2S)$ の値をもつて実験耐力曲線の下側の極値として考えることができる。つぎに、図-1,2に示した実験はりの中で横倒れに対してもっとも弱い断面寸法を用いて、残留応力の大きさと分布形状を変化させて座屈曲線を求めてみた。図-3,4には、図中に示すような残留応力分布を仮定し、接線弾性係数理論を用いて求めた座屈曲線が示してある。なお、分布形状(3)は4次多項式(偶関数)によって仮定したものであり、ねじれに関してもしっかり合っている。これらの図から、実験耐力の下縁値($m-2S$)は圧縮残留応力レベルを圧延はりでは $\sigma_{rc}=0.46\sigma_y$ 、溶接はりは $\sigma_{rc}=0.56\sigma_y$ として求めた座屈曲線によってよく表わされている。

5. あとがき 鋼工形断面はりの曲げによる横倒れ座屈実験値を式(1)の弾性座屈強度式をもとに整理し、座屈強度の変動と実験耐力曲線について考察したが、さらに、残留応力が座屈強度の変動に与える度合いについて詳細に調べる必要があろう。

参考文献 1) Clark, J.W. and Hill, H.N., Proc. ASCE, Vol. 86, No. ST7, July, 1960. 2) Dibley, J.E., Proc. ICE, Vol. 43, Aug., 1909. 3) Hechtman, R.A., Trans. ASCE, Vol. 122, Nov., 1955.

4) 田中尚: 日本建築学会梗概集, 昭和47年, 5) 鈴木敏郎: 日本建築学会論文集, 第168号, 171号, 175号, 昭和45年. 6) 鈴木敏郎: 日本建築学会梗概集, 昭和48年. 7) 福本啓士: 土木学会論文集, 第189号, 昭和46年. 8) 若林実: 京大防災研究所年報, 第13号A, 昭和45年.

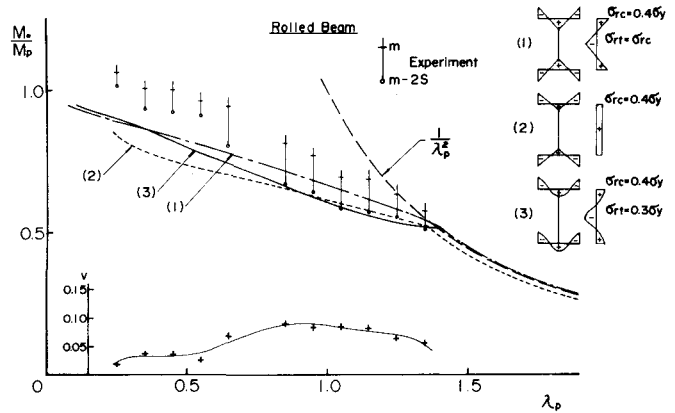


図-3

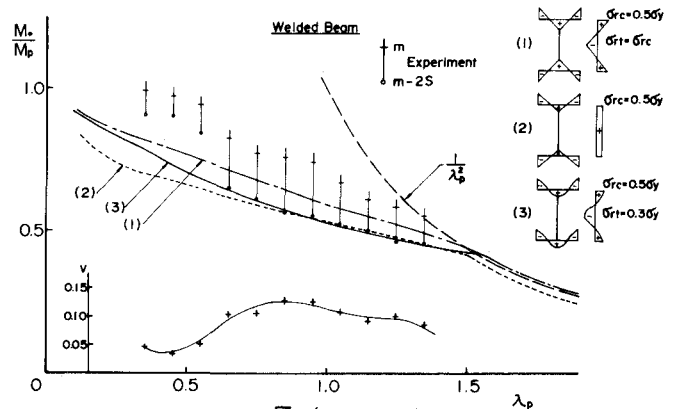


図-4