

東京電力 正員 安保 秀範
 東京大学 正員 長谷川彰夫
 東京大学 Mohamed MAUROOF

1. まえがき 従来、鋼構造物の設計示方書における圧縮部材の設計では、構成板要素の幅厚比を制限することにより、局部座屈を許さないという条件のもとで、全体座屈に対する照査のみを行なっている場合が多い。ところが、最近、局部座屈を認めた上で、局部座屈と全体座屈の連成強度をもとに、圧縮部材の設計を考えようとする動きがある。この大きな理由としては、局部座屈が生じる幅厚比の大きい板要素を使用することによる経済的な設計の可能性が挙げられるが、現行の道路橋示方書¹⁾の連成強度式を用いる限り、局部座屈を認めても経済的な設計を期待することは難しい²⁾。しかし、一方で、その連成強度自身、力学的に十分検証されているとは言い難い。そこで、文献(3)では、全体座屈と局部座屈の連成強度を求めるための一つのモデル解析を試み、これをもとに新しい耐荷力曲線を提案したが、その耐荷力曲線が現行評価式と大きく異なるにもかかわらず、耐荷力に関する限り、局部座屈を許容する経済性は認められなかった。ここでは、視点を変え、このモデル解析により最大荷重までの荷重変位曲線を求め、エネルギー吸収量の立場から、局部座屈を許すことの有用性を検討する。

2. モデル解析 鋼柱の局部座屈と全体座屈の連成挙動の解析を、柱としての全体座屈現象に弾性梁一柱の理論解を用いながらも、“等価初期たわみ”という概念を導入することにより残留応力、初期たわみ、初期偏心などの初期不整の影響を評価に組み込み、全体座屈に及ぼす局部座屈の影響を板の座屈後の有効断面によって考慮した。すなわち、連成強度は、柱の最大応力 $\sigma_{\max}$ が降伏応力 σ_y になったときを、柱の終局状態と考え、そのときの軸圧縮力を耐荷力 P_u として、

$$\sigma_{\max} = \sigma_y = \frac{P_u}{A_e} + \frac{P_u}{1 - \frac{L^2 P_u}{\pi^2 E I_e}} \frac{\delta c}{I_e}$$

より求まる2次方程式の解としての陽で簡単な表現を持ついわゆるPerry Robertson 形の式により求める。ここに、 A_e は有効断面積、 I_e は有効断面2次モーメント、 c は中立軸から最大圧縮応力縁端までの距離、 δ は既知である局部座屈が生じない耐荷力から求める等価初期たわみ、 L は柱の長さ、 E は弾性係数である。一方、最大荷重までの柱の中央のたわみは、弾性梁一柱の理論解より、荷重を P とすると、

$$W = \frac{1}{1 - \frac{L^2 P}{\pi^2 E I_e}} \delta$$

ここで、有効断面積と有効断面2次モーメントは板要素の座屈後の有効幅により評価し、荷重 P に依存する発生応力の関数となるため、連成強度及びたわみを求めるためには、逐次代入による繰り返し計算が必要とされる。

3. モデル解析と実験値の比較 実験値は文献(4)のHT80の鋼種を用いた溶接集成の箱形断面柱を用いる。連成強度に関しては、文献(3)で、本解析により工学的に十分な精度で安全側に求められるを実証したので、ここでは、荷重変位曲線の比較を行なう。局部座屈が生じない柱及び生じる柱の代表的な荷重変位曲線の比較をFig. 1に示す。これより、モデル解析により、荷重変位曲線が正確に推定できないものの、最大荷重までのエネルギー吸収量に関して、ある程度、定性的な考察が行なえると思われる。このように、荷重変位曲線が正確に推定できないのは、柱の挙動に影響する初期たわみ以外の初期不整も、終局状態における等価な初期たわみにおきかえることにより解析を行なっているためである。

4. 座屈パラメーターとエネルギー吸収量 幅厚比 $\lambda_1 = 0.7 \sim 1.9$ での柱の細長比 λ_g と次に定義する最大荷重までのエネルギー吸収量

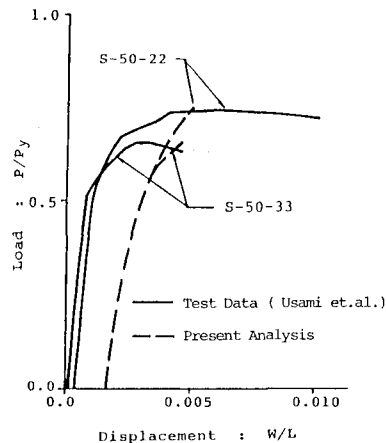


Fig.1 Load-Deflection Curves

$$E \equiv \int_0^{P_u} P \cdot dw / (P_y \cdot L)$$

の関係をFig. 2に示す。これより、エネルギー吸収量は、細長比が小さい短柱では非常に小さく、細長比が大きくなりスレンダーになるに従い大きくなり、細長比 λ_g が1.5~2.0で最大となる。細長比が大きくなるにしたがい、終局強度は低下するが、一方、たわみは増大するため、積分で与えられるエネルギー吸収量はこのような特性を示した。また、エネルギー吸収量は、局部座屈が生じない場合(幅厚比 λ_1 が0.7以下)は一定であり、局部座屈が生じ、幅厚比が大きくなるに従い減少するものの、この吸収量の変化は必ずしも大きくない。

5. 最適設計 文献(3)では、耐荷力を目的関数として最適設計を行なったが、ここでは、目的関数にエネルギー吸収量を取り、エネルギー吸収量の立場から局部座屈を許すことの有用性を検討する。最適化手法として最大荷重設計法を用いる。柱長をL、断面積をAとする箱形断面柱を考え、鋼種はSS41とすると、この最適化は $R = L^2/A$ をパラメータにした一変数(幅厚比 λ_1)関数の極値問題に帰着できる。体積一定($R = 5000 \sim 20000$)での幅厚比とエネルギー吸収量の関係をFig. 3に示す。これより、エネルギー吸収量が最大となるのは局部座屈が生じない幅厚比であり、幅厚比がこの幅厚比より大きくなるにしたがいエネルギー吸収量が低下する特性がわかる。したがって、エネルギー吸収量の立場からも局部座屈を許すことは有利な設計にはならない。Fig. 4に、最大エネルギー吸収量 E_{max} 、この最大エネルギー吸収量を与える断面での可能荷重 $P(E=E_{max})$ 、及び耐荷力を目的関数とした場合の最大可能荷重 P_{max} 、この最大可能荷重を与える断面でのエネルギー吸収量 $E(P=P_{max})$ のRに対する変化を示す。これより、 $P(E=E_{max})/P_{max}$ 及び $E(P=P_{max})/E_{max}$ ともに、Rが増大するに従い、大きくなるものの、この範囲では1/2以下であるので、耐荷力とエネルギー吸収量の一方のみを最大にすることは、他方を犠牲にせざるをえないと言える。したがって、エネルギー吸収量が問題となる構造物では、両者を考慮した最適な設計を検討する必要があると思われる。

6. まとめ 局部座屈が生じる鋼柱の解析を簡易なモデル解析により行なった。文献(3)より得られた耐荷力のみを考慮した設計でも局部座屈を許すことにより経済的な設計が行なえる可能性は少ないのみならず、エネルギー吸収量の立場からも、局部座屈を許すことは有利な設計とはならない。したがい、実際の鋼柱の設計において、局部座屈を許すことでより経済的な設計が行なえる可能性は、実務設計上、少ないと考えてよいと判断される。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書、同解説、1980年2月、 2) Hasegawa, A., Abo, H., Mauroof M. and Nishino F. : Optimum Cross Sectional Shapes of Steel Compression Members with Local Buckling, Proc. JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol. 2 No. 1, Apr. 1985 3) 長谷川彰夫・安保秀範・西野文雄：鋼柱の局部座屈と全体座屈の連成強度推定のための一モデル解析、構造工学論文集、Vol. 31A, 1985年3月 4) 宇佐美勉・福本晴士・青木徹彦：溶接箱形断面柱の局部座屈と全体座屈の実験的研究、土木学会論文報告集、No. 308 1981年4月

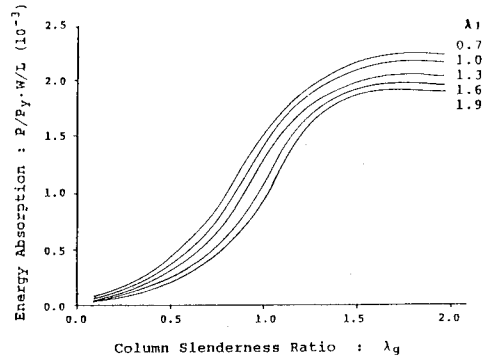


Fig. 2 Energy Absorption for Constant λ_1

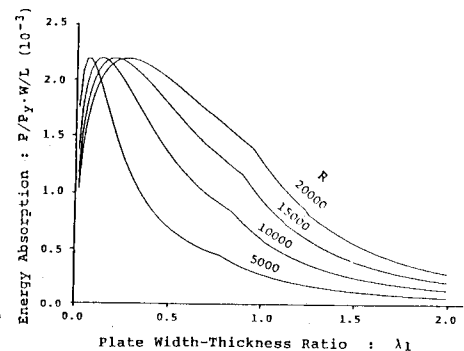


Fig. 3 Energy Absorption for Constant Volume

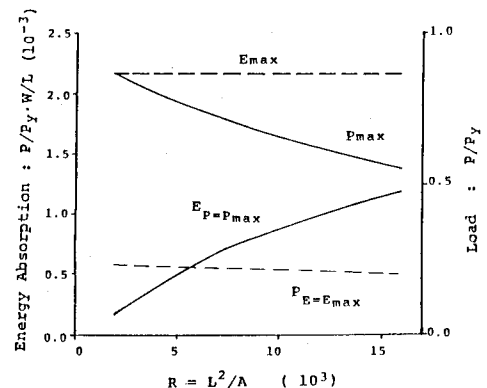


Fig. 4 Comparison of E_{max} and P_{max}