

大阪大学大学院 学生員 植田雅俊

大阪大学工学部 正 員 西村宣男

1. はじめに 二次部材の設計においては剛度と強度両面からの考察が必要となる。本稿では基本的な鋼構造部材である柱部材およびはり部材に設置される二次部材に関して、主構造の座屈モードを変化させるために必要な剛性とそのときに生じる補剛力を、二次部材を弾性バネとモデル化し線形座屈理論^{1), 2)}を用いて明らかにする。さらに、必要剛度と補剛力の特性を考慮した二次部材の設計計算法を提案する。

2. 柱部材 図-1に示すようスパン中間の任意点でたわみが弾性拘束された柱部材の座屈解析を行いバネ（二次部材）による拘束効果を検討した。図-2（a）はバネ剛性をスパン全長 L を用いて無次元化した場合（ $\kappa = KL^3/EI$ ）の座屈特性曲線である。スパン中央（ $\xi = 0.5$ ）を拘束した場合は拘束バネ剛性の増加にともない座屈モードが対称モードから逆対称モードへと変化するから、座屈モード変化点に対応するバネ剛性を限界剛性（必要剛度）と考えることができる。一方、 $\xi \neq 0.5$ の場合には座屈パラメータは変位が完全拘束された場合の座屈パラメータ（ $(\alpha L)_{fixed}$ ）に漸近するため明確な限界剛性を定めることができない。そこで、座屈パラメータが $(\alpha L)_{fixed}$ の99%を確保できるときバネ剛性を限界剛性 κ_{99} と考える。 ξ が小さくなると κ_{99} は著しく増加する。限界剛性を統一的に評価するために、不等間隔に弾性拘束された両端単純支持の柱部材の代表長を式（1）で提案する。

$$\ell_0 = \frac{L}{-12\xi + 8} \quad (0.2 \leq \xi \leq 0.5) \quad (1)$$

代表長 ℓ_0 を用いて無次元化した拘束パラメータ κ_0 によって評価した座屈特性曲線を図-2（b）に示す。 κ_0 が $2\pi^2$ より大きければ座屈パラメータは $(\alpha L)_{fixed}$ の99%を確保できる。

つぎに、補剛力について考察する。補剛力 F は初期たわみを有するモデルの弾性有限変位解析を行い、座屈荷重直前の拘束点の変位を計算することによって求めている³⁾。図-3に代表長 ℓ_0 で評価した拘束パラメータ κ_0 と断面力 P で無次元化した補剛力 F/P の関係を示す。補剛力は限界剛性（ $2\pi^2$ ）以前に最大値をとり、その後低下して一定値となる。 $\xi = 0.5$ の場合は、限界剛性以降は拘束点の座屈モードの節となり補剛力は断面力の1%以下となる。現行の設計示方書では断面力（軸圧縮力 P ）の1%の荷重に対して二次部材の設計を行っているが、 $\xi \neq 0.5$ の場合には1%以上の補剛力が生じる。そこで、設計補剛力として式（1）で求まる代表長を利用して次式を提案する。

$$\begin{aligned} F/P &= 0.1 & (\kappa_0 \leq 2\pi^2) \\ F/P &= 0.002 / (\ell_0/L)^2 & (\kappa_0 > 2\pi^2) \end{aligned} \quad (2)$$

式（2）によって求まる設計補剛力を図-3に一点鎖線で示す。これによって安全側の設計ができる。

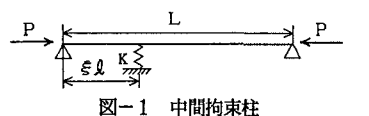


図-1 中間拘束柱

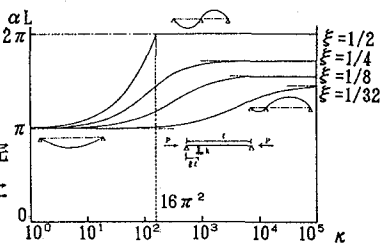
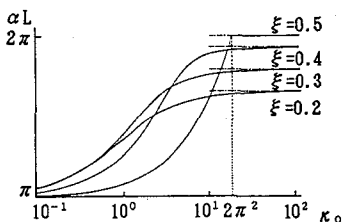

(a) 全長 L による評価

(b) 代表長 ℓ_0 による評価

図-2 中間拘束柱の座屈特性曲線

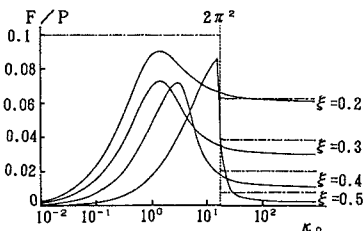


図-3 中間拘束柱の補剛力

3. はり部材 ここでは、図-4に示すようなスパン中間で水平方向変位とねじり変位が弾性拘束された2軸対称断面を有するはり部材が等曲げを受ける場合を検討する。拘束パラメータはスパン全長 L で無次元化し、拘束効果は座屈荷重 M_{cr} を拘束されていない場合の座屈荷重 M_0 で除した強度増加比 C^4 によって評価した。

$$C = M_{cr} / M_0$$

= (拘束されたはりの座屈荷重) / (拘束されていないはりの座屈荷重)

図-5は上フランジ ($\eta=0.5$)、せん断中心 ($\eta=0$)、下フランジ ($\eta=-0.5$)

を弾性拘束した場合の座屈特性曲線である。せん断中心より上側（圧縮側）を拘束した場合、拘束効果は効果的であり限界剛性も小さくてよいのに対し、下側（引張側）を拘束した場合には拘束効果はほとんど期待できない。次に拘束効果に及ぼすねじりパラメータ R^2 の影響について述べる。

図-6は R を変化させた場合の座屈特性曲線であるが、 $R \rightarrow \infty$ となると断面のねじれ変形が小さく座屈変形は横曲げが卓越するから、拘束効果は柱部材の場合と同様の傾向を示す。従って、この時の限界剛性は $\xi=0.5$ の場合 $16\pi^2$ （全長 L で評価した柱部材の限界剛性（図-2（a））となる。図-7に $\xi=0.5$ のときの R と必要剛度 κ_{cr} の関係を示す。せん断中心を拘束した場合には断面のねじれ変形を直接拘束できないから、限界剛性はねじりパラメータの影響を大きく受ける。

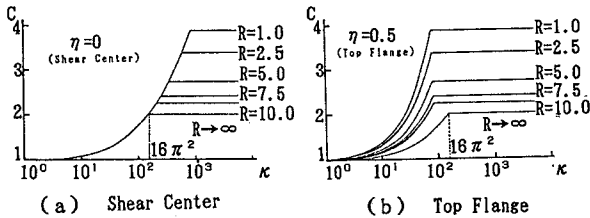


図-6 R と拘束効果

補剛性に着目すると柱部材の場合同様に ξ の影響を大きく受ける。図-8に補剛力とバネ剛性および ξ の関係を示す。補剛力はフランジ圧縮力（ここでは近似的に M/h とする）で除して無次元化してある。現行の設計示方書ではフランジ圧縮力の1%の荷重に対して二次部材の設計を行っているが、この場合も $\xi=0.5$ 以外の場合には補剛力は1%より大きくなる。

4. 結論 以上、基本的鋼構造部材である柱部材およびはり部材に設置される二次部材の必要剛度と補剛力について検討を行った。

柱部材の場合は、代表長 l を用いて必要剛度と設計補剛力を統一的に評価することができた。はり部材の場合も同様の手法で評価できると考える。現在、はり部材の必要剛度と補剛力の評価方法について検討中である。

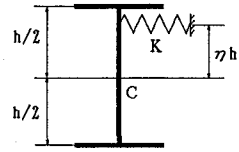


図-4 中間拘束はり

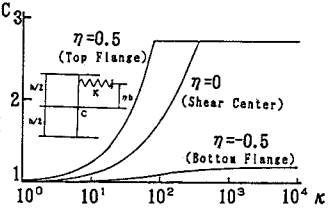


図-5 η と拘束効果

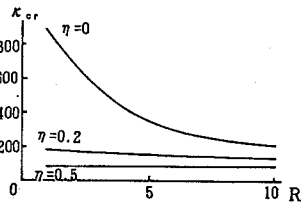


図-7 R 、 η と限界剛性

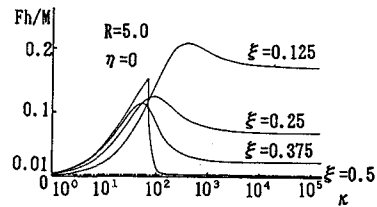


図-8 中間拘束はりの補剛力

<参考文献>

- 1) S. Timoshenko: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, 1936.
- 2) F. Bleich: Buckling Strength of Metal Structure, McGraw-Hill, 1952.
- 3) W. Zuk: Lateral Bracing Forces on Beams and Columns, Proc. of ASCE, Vol. 82, EM 3, 1956.
- 4) D. A. Nethercot: Buckling of Laterally or Torsionally Restrained Beams, Proc. of ASCE, VOL. 99, 1973.