

二次部材の必要剛度と補剛力について

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 主構造の強度を有効に発揮させるために設置される二次部材の設計法は、現行の設計示方書においては経験的に定められている。本稿では二次部材の設計法を合理化するための基礎データを得るために、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の必要剛度と補剛力（二次部材に作用する力）に関する検討を行った。なお、二次部材を弾性バネとモデル化し、線形座屈理論^{1), 2)}により計算を行っている。

2. 柱部材 図-1に示すようなスパン中間の任意点で水平方向変位が弾性拘束された柱部材の拘束効果を検討する。図-2に ξ （拘束点の位置）と拘束効果の関係を示す。ここで拘束バネ剛性 K はスパン全長 L で無次元化している（ $\kappa = KL^3/EI$ ）。 $\xi=0.5$ の場合は、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特性曲線は座屈モード変化点で折れ曲がる。この場合、座屈モードが変化する時の拘束バネ剛性が二次部材の必要剛度と考えることができる。一方、 $\xi=0.5$ 以外の場合にはバネ剛性の増加にともない変位が完全拘束された場合の座屈荷重（ $(\alpha L)_{fixed}$ ）に漸近するため必要剛度は $\xi=0.5$ の場合のように明確に定めることはできない。そこで座屈荷重が $(\alpha L)_{fixed}$ の99%を確保できる場合のバネ剛性を必要剛度 κ_0 と考える。 ξ が小さくなると κ_0 は著しく増加する。ここで、不等間隔に拘束された両端単純支持の柱部材の代表長 l_0 として次式を提案する。

$$l_0 = \frac{L}{-12\xi + 8} \quad (0.2 \leq \xi \leq 0.5) \quad (1)$$

図-3に式(1)で求まる代表長 l_0 を用いて求めた拘束パラメータ $\kappa_0 = Kl_0^3/EI$ で評価した座屈特性曲線を示す。 κ_0 が $2\pi^2$ より大きければ、座屈荷重は $(\alpha L)_{fixed}$ の99%を確保できる。

次に補剛力について考察する（図-4）。補剛力はSINE半波の初期たわみを与えたモデルの座屈解析を行い、座屈直前の拘束点の変位を求めることにより算出している。拘束パラメータとして上で求めた κ_0 を用いると、補剛力は限界剛性 $\kappa_0 = 2\pi^2$ 以前で最大値をとり、その後低下して一定値となる。 $\xi=0.5$ の場合には、上述の如く座屈モードが変化するから逆対称な座屈モードを形成した後は拘束点が座屈モードの節となり補剛力は主構造の断面力（軸圧縮力 P ）の1%以下となる。これに対して、 $\xi=0.5$ 以外の場合には、補剛力の最大値以降の低下が顕著にみられない。現行の設計示方書では主構造の圧縮力の1%の荷重に対して安全性を照査しているが、 $\xi=0.5$ 以外の場合には補剛力は1%以上となる。

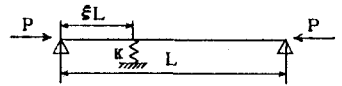


図-1 中間拘束柱

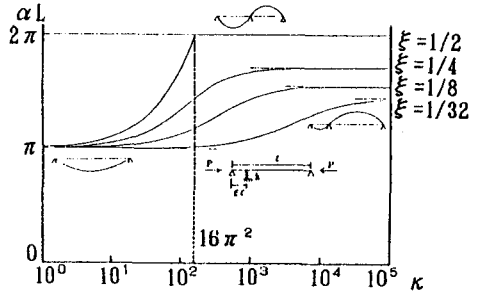


図-2 中間拘束柱の座屈特性曲線

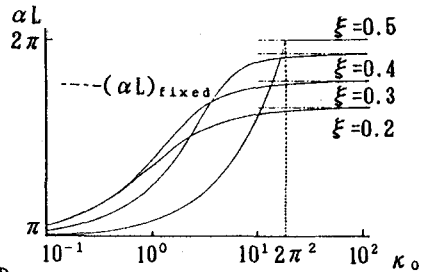


図-3 代表長 l_0 で評価した拘束効果

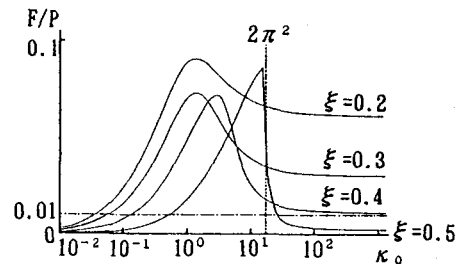


図-4 柱部材の補剛力

3. はり部材 ここではスパン中間で水平方向変位とねじれ変位が弾性拘束された等曲げを受ける部材(図-5)を考える。この場合、拘束効果は柱部材で考えた拘束点の位置 ξ 以外にも拘束点のせん断中心からの距離 η やねじりパラメータ $R^2 = GJ/EI_w \cdot l^2$ の影響も受ける。以下、それぞれの影響について述べる。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^3 によって評価した。

$$C = \frac{M_{cr}}{M_0} = \frac{\text{拘束されたはりの座屈荷重}}{\text{拘束されていないはりの座屈荷重}}$$

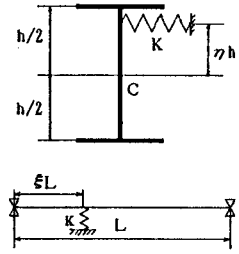


図-5 中間拘束はり

図-6は拘束バネがせん断中心、上フランジ、下フランジに取り付けられた場合の座屈特性曲線である。上フランジ(圧縮側)を拘束した場合にはせん断中心を拘束したときよりも効果的であり必要剛性も小さくて良いが、下フランジ(引張り側)を拘束した場合にはその効果がほとんど期待できない。特に R が小さい場合にはその影響が大きい。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-7に R を変化させた場合の座屈特性曲線を示す。 $R^2 \rightarrow \infty$ 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

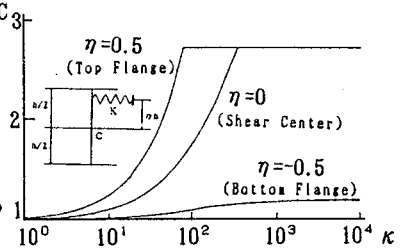


図-6 η と拘束効果

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))となる。

補剛力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。

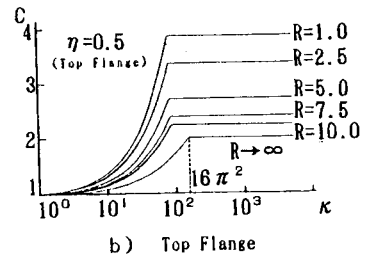
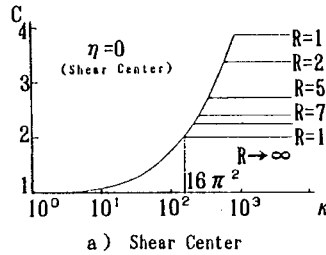


図-7 R と拘束効果

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。必要剛度に関しては、柱部材は代表長 l を用いて評価することができた。はり部材の場合も同様の

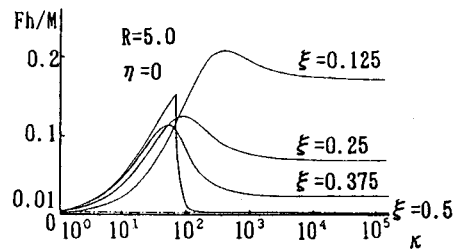


図-8 はり部材の補剛力

考え方によって評価できると考える。補剛力に関しては、現行の設計示方書で考慮している値よりも大きな補剛力が生じることを示した。現在、補剛力の評価方法について検討中である。

<参考文献>

- 1) S. Timoshenko: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, 1936
- 2) F. Bleich: Buckling Strength of Metal Structures, McGraw-Hill, 1952
- 3) D. A. Nethercot: Buckling of Laterally or Torsionally Restrained Beams, Proc. of ASCE, VOL. 99, EM 4, 1973.