

中間横拘束を受ける構造部材の補剛設計

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 主要部材の座屈モードを変更させてその強度を向上させるために設置される二次部材はその機能を発揮させるために十分な剛性と強度を有している必要がある。文献1)および2)において柱部材およびはり部材に設置される二次部材の必要剛性および補剛力（二次部材に生じる断面力）に関する報告を行い、柱部材に設置される二次部材の必要剛性を代表長を用いることによって統一的に評価した（図-1）。また、柱部材に対する補剛力も不等間隔に設置された場合の影響を考慮した評価式を提案した（図-2）。本稿ではその続報として、曲げ部材に設置される二次部材の必要剛性と補剛力および弾塑性領域での補剛問題について報告する。

2. 必要剛性 図-3に示す部材中間の水平変位が弾性拘束された曲げ部材の補剛問題を考える。図-4は線形座屈解析によって得られる座屈特性曲線を示している。横軸が無次元化された拘束ばね剛性、縦軸は弾性拘束されたはりの座屈荷重を拘束されていないはりの座屈荷重で除した強度増加比を示す。弾性拘束ばねが等間隔に設置された場合（ $\xi = 0.5$ ）には座屈モードが対称モードから逆対称モードに移行し、座屈モード変化点に対応する拘束ばね剛性を必要剛性と考えることができる。拘束ばねが不等間隔に設置された場合（ $\xi \neq 0.5$ ）には座屈モードが変位が完全拘束された場合の座屈モードに漸近し、変位が完全拘束された場合の強度を確保するためには大きな拘束ばね剛性が必要である。図-5に必要剛性と拘束点間隔およびねじりパラメータRの関係を示す。圧縮側フランジを拘束した場合にはRの影響を受けずに柱部材に設置される二次部材の必要剛性を用いることによって、適切に評価できる。したがって曲げ部材の圧縮側フランジの水平変位を拘束する二次部材の必要剛性を圧縮部材の場合と同じ代表長を用いて評価する。代表長を用いて評価した拘束パラメータが $2\pi^2$ より大きければ完全拘束された場合の強度を確保することができる（図-6）。

$$(\kappa_0)_{cr} = \frac{K_v \ell_0^3}{EI_Y} = 2\pi^2 \quad (1)$$

ここに、 $\ell_0 = \frac{L}{-12\xi + 8}$

一方、せん断中心を拘束した場合には必要剛性はRの影響を受けて大きく変化し、圧縮側フランジを拘束した場合よりも大きくなる。

3. 補剛力 初期たわみを有する曲げ部材の弾性有限変位解析によって得られる補剛力を図-7に示す。縦軸は補剛力とフランジ圧縮力の比を表している。等間隔に補剛されているとき、拘束ばね剛性が必要剛性よりも小さな場合には主要部材が対称モードで座屈し、拘束点の変位が大きく大きな補剛力が生じる。拘束ば

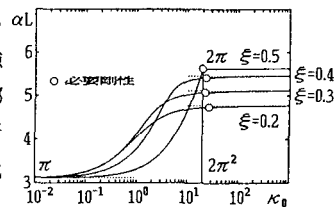


図-1 柱部材に対する必要剛性

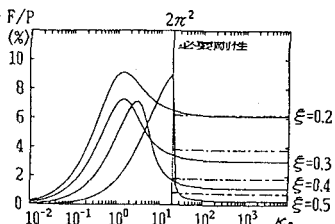


図-2 柱部材に対する補剛力

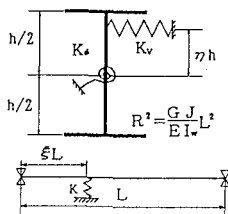


図-3 中間拘束はり

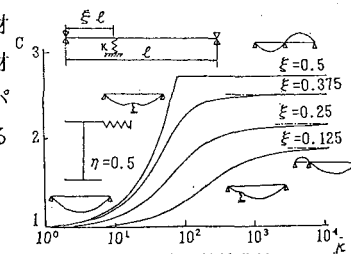


図-4 座屈特性曲線

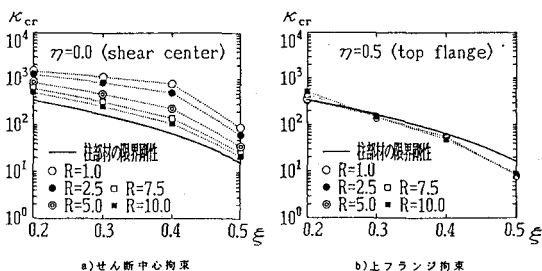


図-5 はり部材に対する必要剛性

ね剛性が必要剛性よりも大きい場合には主要部材が逆対称モードで座屈し、拘束点が座屈モードの節となるため補剛力はほとんど生じていない。不等間隔に補剛された場合には、必要剛性以降も非対称モードで座屈するため拘束点に変位が生じ、補剛力の低下が等間隔の場合のように顕著にはみられない。またRの小さいほうが大きな補剛力が生じるがR=1.0の場合とR=0.1の場合でほとんど差が生じていないので、R=1.0の場合を考えることによってほぼ上限を抑えられる。また、せん断中心の水平変位を拘束した場合には圧縮側フランジを拘束した場合よりも大きな補剛力が生じる(図-8)。

4. 弾塑性領域での補剛効果 ここでは、主要部材の材料の非線形性が補剛効果(必要剛性)および補剛力に及ぼす影響を弾塑性有限変位解析によって検討する。一般に主要部材の不安定現象は断面の一部が降伏した弾塑性領域で生じる。このとき主要部材の剛性は断面の降伏によって低下する

のに対し、二次部材は弾性的に挙動しているため、相対的に二次部材の剛性が上昇したと考えられる。したがって、弾塑性領域においては弾性計算で与えられる必要剛性よりも小さな弾性ばねの剛性で、主要部材の変位が完全拘束された場合の強度を確保することができる。図-9に示すように主要部材の細長比パラメータが小さくなれば必要剛性も小さくなる。図-10は弾塑性領域で生ずる補剛力を示している。

弾塑性領域での補剛力は主要部材が不安定化した後急激に増大する。そこで、最大荷重時の変位の3倍の変位に対応する補剛力を求め安全側に評価している。材料の非線形性によって、部材の細長さによるばらつきはあるものの、弾性計算結果と同様な傾向を示し、R=1.0の場合の弾性計算結果によって安全側に評価することができる。道路橋示方書ではフランジ圧縮力の1%の補剛力に対する二次部材の強度設計を行っているが弾性ばねが不等間隔に設置された場合にはそれよりも大きな補剛力が生じている。弾性計算結果をもとに補剛力の評価式を次式で与える。

$$\frac{Fh}{M_z} = \begin{cases} 0.2 & (\kappa_0 \leq 2\pi^2) \\ 0.9802\xi^2 - 1.085\xi + 0.3049 & (\kappa_0 > 2\pi^2) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)から求まる補剛力を図-10に一点鎖線で示す。不等間隔の場合にも適切に評価できる。弾塑性領域における圧縮部材の補剛問題も同様に弾性計算結果によって安全側の評価が行える。

5. まとめ 以上、二次部材の必要剛性と補剛力の評価方法を弾性計算および弾塑性計算によって明らかにした。実構造における二次部材を適切にモデル化することにより合理的な設計が可能となる。

【参考文献】

- 1) 植田・西村：二次部材の必要剛度と補剛力について，土木学会関西支部年次講演会講演概要，1991。
- 2) 植田・西村：構造安定に係わる二次部材の設計法に関する考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，1991。

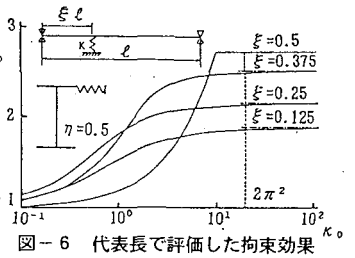


図-6 代表長で評価した拘束効果 κ_0

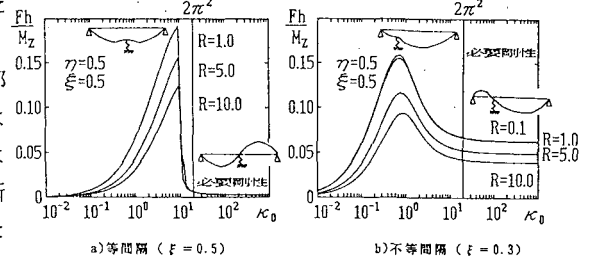


図-7 はり部材に対する補剛力

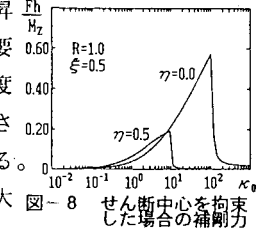


図-8 せん断中心を拘束した場合の補剛力

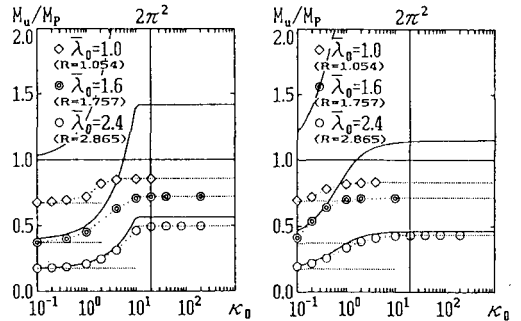


図-9 弾塑性領域における拘束効果

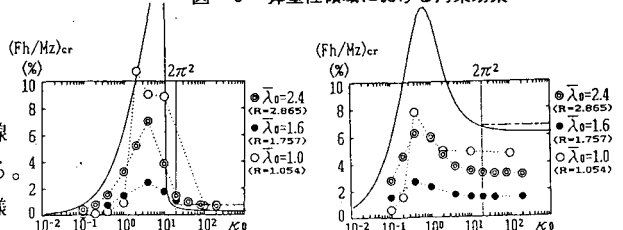


図-10 弾塑性領域における補剛力