

I-48

半剛結骨組構造物の座屈解析

名工大 大学院 正員 鈴木 五月
 名工大 正員 後藤 芳顯
 名工大 大学院 学生員 小出 宜央
 名工大 正員 松浦 聖

1. まえがき

従来、骨組構造の設計では、はり-柱の接合部が完全に剛結構造またはピン構造として設計されている。しかしながら、実際の結合部は何らかの剛性を持っており、Semi-Rigidと考えるのが妥当である。

一般的な従来の骨組モデルに基づく設計では、部材単位的设计がなされ、部材の非弾性特性は、部材照査式の中に取り込まれ、構造解析では、構造特性に起因する幾何学的非線形のみ考慮されることが多い。しかしながら、結合部の非弾性特性は、低荷重状態から現れるため、上記の設計法のわく内で設計を行う場合にも、部材断面力ならびに有効座屈長の算定に、少なくとも結合部の材料非線形性も考慮する必要性がでてくる。すでに著者らは、限界状態設計法を用いたSemi-Rigid Frameの設計法の確立をめざし、幾何学的非線形性ならびに継手の材料非線形性を考慮した断面力算定のための、構造解析法を提示している。^{1) 2)} ここでは、さらに、有効座屈長算定のための座屈解析法を検討し、座屈特性についても若干考察を加える。

2. 解析手法

表-1 はり-柱の式

剛結骨組の座屈解析では、通常表-1に示すBowlingの影響を無視したb)線形化はり-柱の式を用い、

理 論	つり合い式	断面力-変位の関係	
a) はり-柱	$(Nu_o' + M')' + Py = 0$ $N' = 0$	$M = -EIu_o''$ $N = EA(u_o' + \frac{1}{2}v_o'^2)$	
b) 線形化はり-柱	$(Nu_o' + M')' + Py = 0$ $N' = 0$	$M = -EIu_o''$ $N = EAu_o'$	

表-2 剛性方程式

さらに軸力の増分を無視し、座屈解析が行われ、実用上十分な精度が得られる。

一方、Semi-Rigidな骨組では、図-1に示すように作用モーメントの大きさによ

a) はり-柱	$F_i = K_{ij}(N)d_j + K_{ijk}(N)d_j d_k + P_y f_{ij}(N)d_j + P_y f_i(N) + P_y^2 c_i(N)$
b) 線形化はり-柱	$F_i = K_{ij}(N)d_j + P_y f_i(N)$

注) F_i : 節点力成分, d_i : 節点変位成分, N : 軸力

り結合部の接線剛性が大きく変化し、さらに剛結骨組に比べ座屈前の変形も大きいので、これらによって座屈値がかなり影響を受けることが予想される。したがって、剛結骨組に用いられた線形座屈解析を中心とする上記の手法がSemi-Rigidな骨組にそのまま適用できる保証はない。したがって、ここでは、Semi-Rigidな骨組の座屈値を精度良く、より簡単に求めるための2,3の手法について検討する。

部材の支配方程式としては、骨組に極端に大きな変形が生じないことを考慮し、ここでは表-1に示す2種類のはり-柱の式を検討対象としている。座屈解析では表-1より、解析的に表-2の剛性マトリックスを誘導し、これを増分することで得られる接線剛性マトリックスを用いる。なお、b)線形化はり-柱の式では、座屈前の変形が小さいことと、接線剛性の対称性を保持させる意味から、通常剛結骨組の解析同様、軸力の増分を無視した式についても検討した。

継手については、図-1に示す非弾性ばねと仮定する。非弾性ばねであるため、座屈解析では、図-1の接線剛性 K_t を用いた非線形座屈解析を行う。この他比較のため、初期剛性 K_i を用いた座屈解析についても検討した。なお、図-1の継手の構成則は、各種継手についてデータベース化され、関数として与えられている。³⁾ 本ケースのような非弾性を考慮した座屈の場合、非対称分岐をおこすが、ここでは、この分岐点を座屈点とする接線係数理論によって座屈荷重を計算する。

3. 門型ラーメンの解析例

門型ラーメンを例に、継手の非線形性、Bowling、軸力の増分が、座屈荷重に与える影響について検討する。図-2に、解析に用いた門型ラーメンの形状、荷重載荷ケースを示す。荷重ケースとしては、図-2に示す3種類のものについて検討した。はり中央に集中荷重を載荷する場合は、はりのたわみ、継手のモーメントが最も大きくなるので、継手の非線形性、Bowling、軸力の増分がより大きく現われることが予想される例である。解析に使用した継手の構成則は図-1に示す通りで、指数型の実験式である。表-3に、これらの各種条件のもとで求めた座屈荷重を示す。この表にはさらに、継手をピン、および剛結とした両極端のモデルに対する結果も記入している。表より、まず継手の非線形性が、座屈荷重に与える影響について検討する。荷重ケース①③においては、継手の初期剛性を用いた場合と接線剛性を用いた場合とでは、座屈荷重は、大きく異なり、初期剛性を用いるとかなり座屈荷重を過大評価することがわかる。これは座屈前に継手のモーメントが大きくなり、その接線剛性が大きく変化するためである。ただ節点のみに荷重が作用するケース②では、座屈前に継手のモーメントが発生せず、継手の接線剛性と初期剛性の差はない。また、継手をピンおよび剛結とするモデルでは、厳密な解とかなり差があり、いずれも無理があることもわかる。

つぎに、Bowlingと軸力増分の影響を見ると荷重ケース①③について若干差はあるものの、ケース②では、座屈前の曲げ変形が生じないので、

Bowling、軸力の増分の影響は全く現れない。

4. あとがき

今回の解析により、継手の非線形性はかなり座屈荷重に影響するが、Bowlingおよび軸力の増分は、ほとんど影響しないことがわかった。今後、この結果をもとに、より簡便な座屈解析法を検討して行きたい。

<参考文献>(1) Goto, Y. and Chen, W. F. ; Second-Order Elastic Analysis for Frame Design, J. Struct. Div.,

ASCE, Vol.113, No.7, (July 1987) (2) Goto, Y. and Chen, W. F. ; On the Computer-Based Design Analysis for the Flexibly Jointed Frames, J. Construct. Steel Research, Vol.8 (1987) (3) Kishi, N. and Chen, W. F. ; Data Base of Steel Beam-to-Column Connection, Structural Engineering Report No. CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, Indiana, USA, 1986

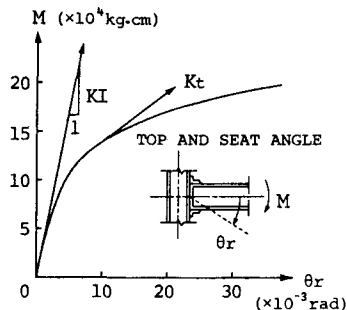


図-1 M- θ_r 曲線

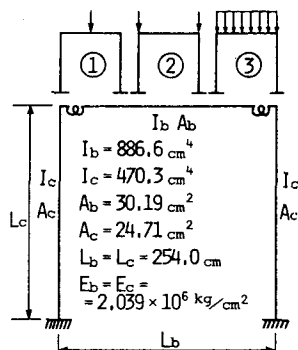


図-2 門型ラーメン

表-3 座屈荷重 (ton)

接線剛性を求める場合の条件			荷重ケース		
つり合い式	軸力増分	継手	① 梁中央集中荷重 P	② 節点集中荷重 2P	③ 分布荷重 $P \times L_b$
線形化はり-柱	無し	ビ接線剛性初期剛性剛結	73.35 98.92 223.1 247.4		73.35 98.93 223.3 247.6
	有り	ビ接線剛性初期剛性剛結	73.35 99.02 222.3 244.3	73.35 223.5 223.5 248.0	73.35 99.02 222.7 245.5
はり-柱	有り	ビ接線剛性初期剛性剛結	73.35 99.57 228.8 250.1		73.35 99.25 224.7 246.5