

I-41

結合部の剛性を考慮した平面骨組の解析

名古屋市役所 正員○藤本知行
 名古屋工業大学 正員 後藤芳顯
 Purdue Univ. W.F. Chen
 名古屋工業大学 正員 松浦 聖

〔1. まえがき〕 従来の設計において、骨組構造物の柱とはりの結合部は剛結か、またはヒンジとして設計がなされてきた。しかし、実際の結合部は剛結とモデル化されるものでも荷重の増加により相対回転を生じ、一方ヒンジと仮定されているものにおいてもある程度の剛性を持っており、Semi-Rigidとモデル化するのがより妥当である。

本研究では、結合部のこのような剛性を考慮することによって骨組構造物をより実際の挙動に近い形で解析でき、しかも設計に適用しうる解析法を提案する。限界状態設計では、材料の非弾性特性が部材照査式の中に取り込まれ、構造解析では幾何学的非線形性のみ考慮されることが多い。しかしながら、低荷重状態から現れる継手の非弾性特性は部材照査式の中を含めるのが困難であるため、ここでは、幾何学的非線形特性とともに継手の非弾性特性も考慮した定式化を行う。さらに、本解析法を用いて、2, 3の構造について数値計算により力学特性も検討する。

〔2. 解析手法〕^{1,2)} まず部材の解析には有限変位の影響を考慮したはり-柱の支配方程式を用い、これより解析的に剛性方程式を導く。この剛性方程式は、はり-柱の支配方程式の解析解より導かれるため、通常の有限要素法の剛性方程式のように精度を上げるために要素の分割を多くする必要はなく、一部材一要素に対して解析が可能となっている。しかし、解析解に基づく剛性方程式は、軸力 N_1 の正負によって異なり、さらに軸力 N_1 が0のときはマトリックスの要素が不定となる。そこで、マトリックスの中に含まれる三角関数、双曲線関数を軸力について次のようなべき級数展開をし、不定項を消去することにより上記の問題点を解消する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin \gamma l}{\sinh \gamma l} \right\} &= \gamma l + \gamma l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)!} (-\tilde{N}_1)^n \\ \left. \begin{aligned} \frac{\cos \gamma l}{\cosh \gamma l} \right\} &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n)!} (-\tilde{N}_1)^n \end{aligned} \right\} \quad (1.a.b)$$

次に結合部の剛性は図1に示したモデルを用いる。図中の割線係数 K を用いることによって負荷経路のモーメントと相対回転角は次のような関係式となる。

$$M = K \theta \quad (2)$$

また、荷重除荷がおこった場合は、その剛性が初期剛性 K_I となることを仮定して次式を用いる。

$$M = K_I(\theta - \theta_u) + M_u \quad (3)$$

なお、式(2)に示すモーメントと相対回転角との非線形関係としては文献(3)に述べられているように多くの実験データに基づき、各種実験式、あるいは継手の理論式が提案されている。

(2), (3)式を用いることによって、次のような剛性を考慮した剛性方程式を導くことができる。

$$\{F\} = [K(N_1)]\{U\} + \{f\} \quad (4)$$

式(4)に示す非線形の剛性方程式の解法としては、除荷の影響を考慮するため、荷重を増分しながら、各荷重ステップで、ニュートンラプソン法、または繰り返し代入法を用いる。

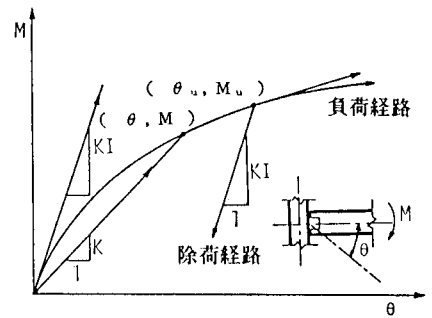


図 1 結合部の挙動

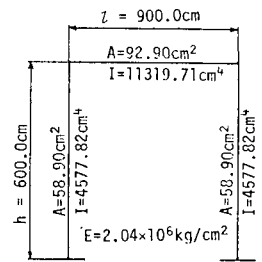


図 2 解析モデル

〔3. 数値計算による力学特性の検討〕 ここでは解析モデルとして、図2に示す門形ラーメンを用い、結合部の剛性を考慮した平面骨組の力学特性を数値計算により検討する。なお、断わらない限り荷重は比例載荷とし、 $M-\theta$ 関係としては図6に示すものを用いる。

(1) 荷重条件の影響： 鉛直荷重をはり上の等分布荷重としてモデル化する場合と柱上の集中荷重とする場合の差を検討する。図3、4にそれぞれ剛結の場合とSemi-Rigidの場合の荷重変位曲線を示している。これより、Semi-Rigidの場合は剛結の場合に比べ、荷重条件の差がより大きく現われ、等分布載荷の場合の剛性の低下が著しい。これは等分布載荷では結合部のモーメントが大きく、図6に示す $M-\theta$ 関係から明らかのように、継手剛性が低下することによる。

(2) 載荷順序の影響： 全荷重を比例載荷する場合と、鉛直荷重の後に水平荷重を載荷する場合の差について調べる。差が大きく現われた場合ということで、等分布鉛直荷重を用いたときの荷重変位曲線を図5に示す。これから同じレベルの荷重下でも、比例載荷に比べ、鉛直荷重の後に水平荷重を載荷する場合の骨組の剛性がかかなり高くなっていることがわかる。理由としては、鉛直荷重載荷後に水平荷重を作用させると左側の結合部に除荷が生じ、剛性が大きくなるためである。

<参考文献>

- 1) Y. Goto and W. F. Chen ; ON SECOND ORDER ELASTIC ANALYSIS FOR DESIGN, School of Civil Engineering, Purdue University, March, 1986
- 2) Y. Goto and W. F. Chen ; ON THE COMPUTER-BASED DESIGN ANALYSIS FOR THE FLEXIBLY JOINTED FRAMES, To appear, Constructional Steel Research, July, 1987
- 3) Wai-Fah Chen ; Connection Flexibility and Steel Frames, American Society of Civil Engineers, October 24, 1985

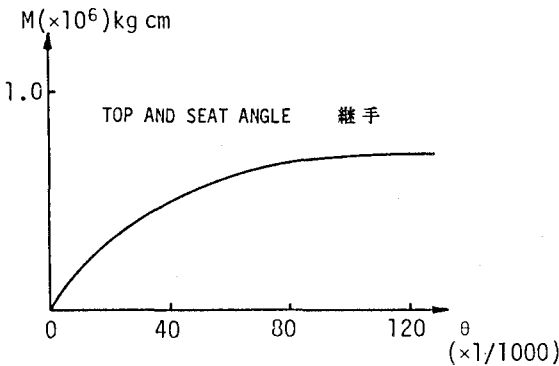


図6 $M-\theta$ 曲線

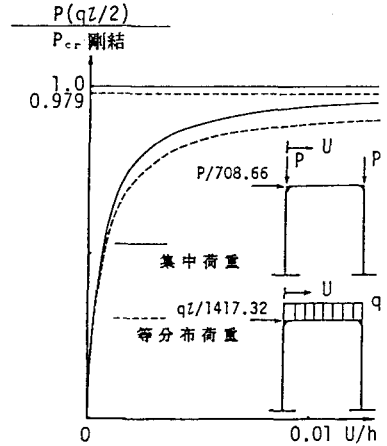


図3 荷重-変位曲線 (剛結の場合)

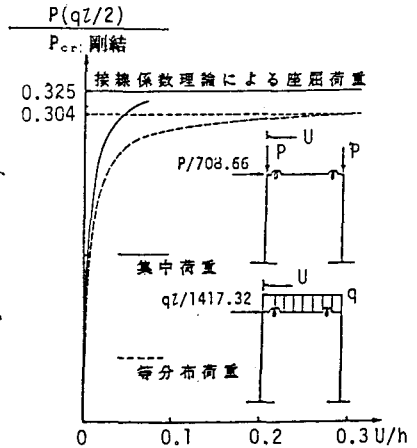


図4 荷重-変位曲線 (Semi-Rigidの場合)

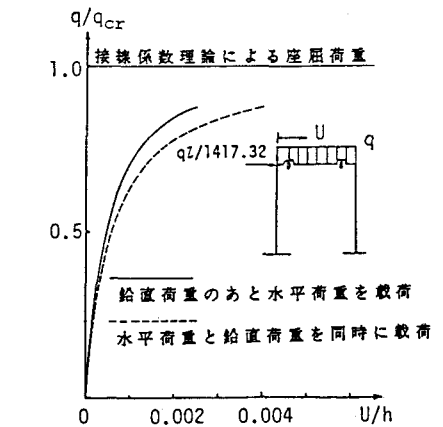


図5 荷重載荷順序の違いによる荷重-変位曲線 (Semi-Rigidの場合)