

初期曲げを受ける剛結骨組の弾塑性分岐特性

名古屋工業大学 学生員 宮下 敏
 名古屋工業大学 正 員 後藤 芳顯
 名古屋工業大学 正 員 松浦 聖

1. まえがき

骨組構造物の座屈解析は多数報告されているが、多くは座屈前の変形を無視した解析に基づいている。剛結骨組の場合、部材の曲げ作用によっても荷重を支持するように設計されているので、完全系においても曲げ変形が生ずる場合があり、より厳密な安定解析を行うためには座屈前の変形の影響を考慮する必要がある。著者らはすでに剛結弾性門型骨組の初期曲げによる座屈前の変形が分岐型である水平移動座屈に及ぼす影響を検討している¹⁾。この結果、座屈前の変形を無視した場合、全て水平移動座屈が生ずるのに対し、実際には座屈前の変形が大きい場合には水平移動座屈ではなく屈服現象が生ずることを明らかにした。ここではより実状に即した検討を行うために、さらに材料の弾塑性特性を考慮した、厳密な分岐解析を行い考察する。

2. 一軸応力下の弾塑性構成則

部材の構成関係は基本的にはPlastic-zone-theoryにもとづいて考慮する。Bernoulli-Eulerはりのモデルを用いるので、応力ひずみ関係は、一軸下のものが対象となる。ここでは特に指定しない場合には、ひずみ硬化を考慮した図1に示すようなものを用いる。また、残留応力については、図2に示す Rolled I-sectionに対応するものによる。これらはいずれもECCS³⁾において提示されているものである。なお、本解析手法においては、上記の他に任意の構成則、残留応力分布が考慮できる。

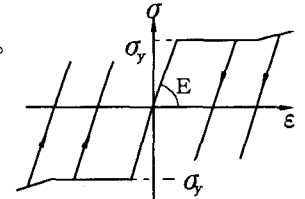


図1 一軸応力下の応力歪関係

3. 骨組要素の幾何学的非線形性を考慮した接線剛性方程式の誘導

本研究では有限ひずみ有限変位の解に収束する剛体変位除去の手法により要素接線剛性方程式を導く。この手法は全変位を要素変形成分と剛体変位成分に分解し、剛体変位成分を除くことにより大変形も微小変形として扱うことができるというものである。この手法のもとで得られる接線剛性行列は対称で、要素分割数を増加させると有限ひずみ有限変位の厳密解へ収束する。

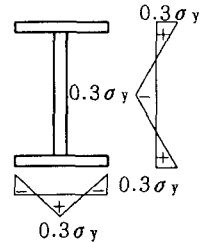


図2 残留応力分布

4. 弾塑性分岐解析の手法²⁾

分岐点はHillの解の唯一性に対する条件⁴⁾が基本経路上で満たされなくなる点として特定される。すなわち、Hillの変分方程式を離散系に適用し、接線剛性を用いて表すと

$$\Delta \Pi = (\Delta U_f^i - \Delta U_f^j) \Delta K_{ij}^j (\Delta U_f^j - \Delta U_f^i) + (\Delta U_f^i - \Delta U_f^j) \{ (\Delta K_{ij}^j - \Delta K_{ij}^i) \Delta U_f^j + (\Delta K_{ij}^i - \Delta K_{ij}^j) \Delta U_f^i \} \quad (1)$$

となる。ここで添字f, bはそれぞれ基本経路、分岐経路に対する諸量を表し、添字cは除荷の場合も負荷剛性とするcomparison solidsの諸量を示す。Hillの解の唯一性の条件は $\Delta \Pi > 0$ として与えられるので分岐点では $\Delta \Pi = 0$ となる。分岐点特定後は文献2)に示した、分岐点で ΔK_{ij}^j の零固有ベクトルを利用する手法により正確に弾塑性分岐経路を追跡することができる。

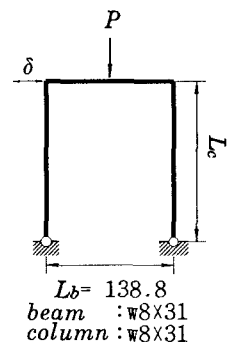


図3 解析対象

5. 解析結果

構造パラメータとして梁の長さを柱の長さで割った l を選定し、この値を変化させることにより座屈モードに与える影響を考察した。解析に用いた構造物は図3に示す両脚ピン結合門型骨組で、 l の値としては3.0 2.0 0.4 0.25の4つを選び、荷重条件は梁中央集中荷重とした。パラメータの各値に対する荷重-水平変位関係及び部材の塑性化、除荷状態を図4(a)～図4(d)に示す。各図には比較のため除荷を考慮していない非線形弾性の構成則を用いた際の結果も示してある。表1には各パラメータに対する分岐荷重、最大荷重等を示す。構造パラメータと座屈モードという観点からみると、 $0.25 \leq l \leq 2.0$ の範囲では全て横移動座屈で崩壊するのに対し、座屈前の初期曲げが大きい $3.0 \leq l$ では横移動座屈では崩壊せず、屈服で崩壊することがわかる。なお、弾性解析においてもこのパラメータの値では屈服で崩壊することが明らかにになっている。 $0.25 \leq l \leq 2.0$ においては、いずれの場合も分岐後荷重が上昇しているが、その量に差異が見られる。 $l=0.4$ の時が最も上昇量が多いがこれは分岐点において曲げ変形が生じており、これが横移動を拘束するためと考えられる。 $l=0.25$ において荷重上昇が少ないのは曲げ変形が少なかったためである。また、 $l=2.0$ において荷重上昇が少ないのは分岐点から分岐経路最大荷重に至る間に屈服モードに近い塑性ヒンジが形成されたためである。弾塑性モデルと非線形弾性モデルとを比較してみると、弾塑性モデルの耐力力は若干高めにでる程度でほとんど差がない。従って、この解析例の範囲では非線形弾性モデルを用いれば安全側に精度良く解析できるといえる。

【参考文献】

- 1) Goto, Y., Suzuki, S., and Chen, W. F.: Journal of Structural Eng., ASCE, Vol. 117, No. 1, 1991
- 2) 後藤芳顯、大鹿克敏、川西直樹、小畑誠
土木学会論文集1992.4
- 3) ECCS Ultimate Limit State Calculation of Sway Frames with Rigid Joints 1984
- 4) Hill, R. J. Mech. Phys. Solid, Vol. 13, 1965

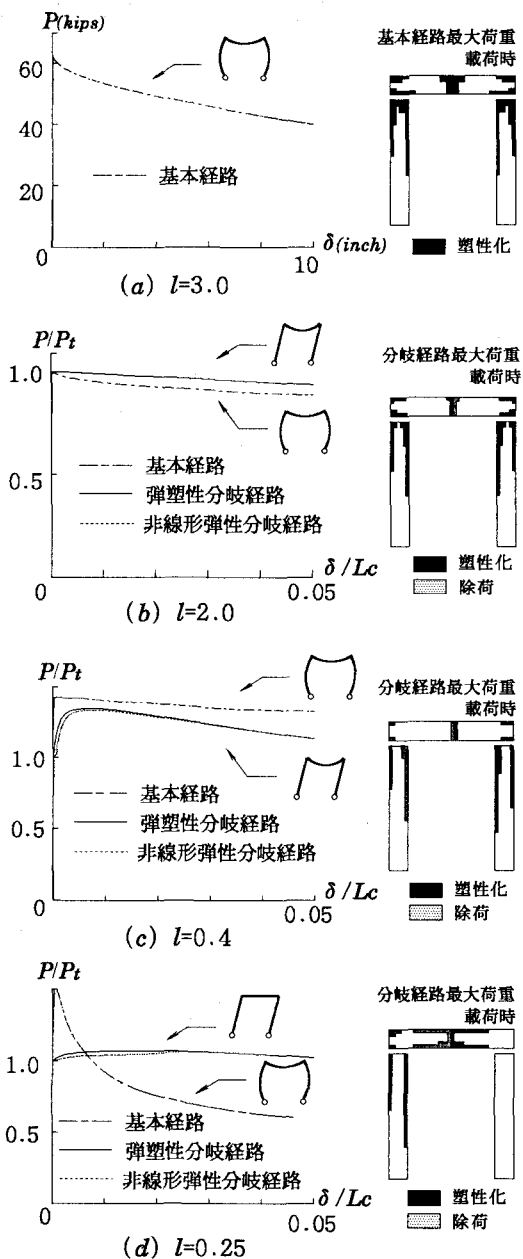


図4 荷重水平変位関係と部材の塑性化状態

表1 接線係数荷重等の値 (kips)

形状パラメータ l	0.25	0.40	2.0	3.0
分岐荷重 P_t	39.312	44.208	62.438	分岐せず
分岐経路最大荷重	42.219	59.662	62.938	—
基本経路最大荷重	60.191	63.088	62.969	62.890