

台形ラーメンの非線形座屈解析

名城大学 学生           ○土山 正登  
名城大学 フェロー       久保 全弘

1.はじめに

ラーメン構造は空間利用に適し、鉄道橋、道路橋および建築物などに数多く利用されている。  
道路橋示方書<sup>1)</sup>には、「ラーメン構造の設計条項を定めるにあたって、あまり極端な事例は念頭においていない。特にラーメン構造では形状的要素の影響が強いので、通常のラーメンの概念を大きく超える場合、たとえば、張り出し長が大きい場合、高さが非常に高い場合、長さ、断面等の寸法比、剛度比が非常に大きい場合等には、安易にこの章に準拠するのではなく、十分に検討することが望ましい。」と記述されている。台形ラーメンは柱の傾斜の影響を受けて一般的なラーメンとは少し異なることから、道路橋示方書における通常の概念を超える場合として検討する必要がある。桜井<sup>2)</sup>は安定関数を用いて台形ラーメンの座屈方程式を誘導し、弾性座屈挙動を調べている。また、梁の上に荷重がある場合で座屈前の曲げ変形を考慮した台形ラーメンの座屈解析が林<sup>3)</sup>によって行われている。  
本研究は、名城大学建築学科村田研究室において開発されたコンピュータプログラム SPACE を用いて、台形ラーメンの幾何学的非線形弾性解析および幾何学的非線形弾塑性解析を行った。

2.解析手法

(1)解析モデルと荷重

解析モデルは、図 1 に示すように門型ラーメンの脚を左右対称に外側に傾斜した平面台形ラーメンを対象にした。ただし、柱と梁の長さは同一で変化しないとする。ラーメン部材は図 2 に示す H 形鋼で、強軸回りの細長比は 41 である。  
解析では、部材長方向に梁を 10、柱を 12 それぞれ等分割した。部材断面については高さ方向に 10、幅方向に 10 等分し、梁要素の中央ファイバーモデルを用いて弾塑性解析を行った。  
鋼材の降伏点は  $24\text{kgf/mm}^2$  とし、塑性域でのヤング率に  $210\text{kgf/mm}^2$  を用いたバイリニア型の応力-ひずみ関係を仮定した。  
荷重は、両節点に等しい鉛直集中荷重が作用する場合について計算する。

(2)境界条件および入力パラメータ

台形ラーメンの座屈解析における境界条件、および入力パラメータを表 1 に示す。入力パラメータとして、柱の傾斜角  $\theta$  は  $0^\circ \sim 80^\circ$  まで変化させた。

表 1 境界条件および入力パラメータ

|                | パラメータの内容                                                                                          |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水平移動           | 自由                                                                                                |
| 柱の支承条件         | 固定                                                                                                |
| 柱の傾斜角 $\theta$ | $0^\circ$ $10^\circ$ $20^\circ$ $30^\circ$ $40^\circ$ $50^\circ$ $60^\circ$ $70^\circ$ $80^\circ$ |

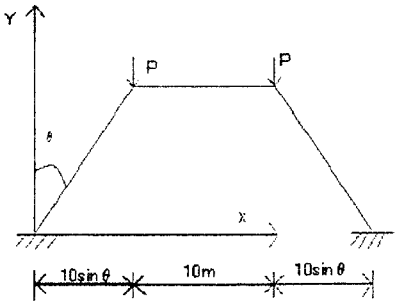
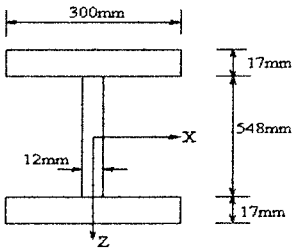


図 1 解析モデル



$A = 17450\text{mm}^2$   
 $I_x = 1.03 \times 10^9\text{mm}^4$   
 $I_z = 7.67 \times 10^7\text{mm}^4$

図 2 ラーメン部材断面

3.解析結果および考察

(1).幾何学的非線形弾性解析の結果

図 3 は、傾斜角  $\theta = 0^\circ$  および  $40^\circ$  で得られた最大荷重時の変形モードを 10 倍に拡大して図示している。台形ラーメンでは、柱が外側に座屈し、梁が大きく落ち込んだ対称変形をしている。ここでは、節点の鉛直変位  $\delta$  を用いて荷重変形挙動を考察する。なお、門型ラーメンの場合の最大荷重は座屈設計ガイドライン<sup>3)</sup>

の弾性座屈荷重値と一致した。図4には弾性解析から得られた荷重変形関係を描いてある。傾斜角が増加すると最大荷重は低下するが、 $\theta = 60^\circ$  程度までは分岐座屈と同様な挙動を示している。

(2).幾何学的非線形弾塑性解析の結果

弾塑性解析の結果を図示すると、図5のようになる。小さい荷重 ( $\theta = 0^\circ$  で最大荷重の 8% ~  $\theta = 60^\circ$  で最大荷重の 16%) から降伏して最大耐荷力に至っている。最大耐荷力は弾性解析結果と同様に柱の傾斜角が大きくなるにつれて低下する。最大荷重後の降下曲線は、傾斜角が小さいほど急激であり、門型ラーメン ( $\theta = 0^\circ$ ) で特に著しい。

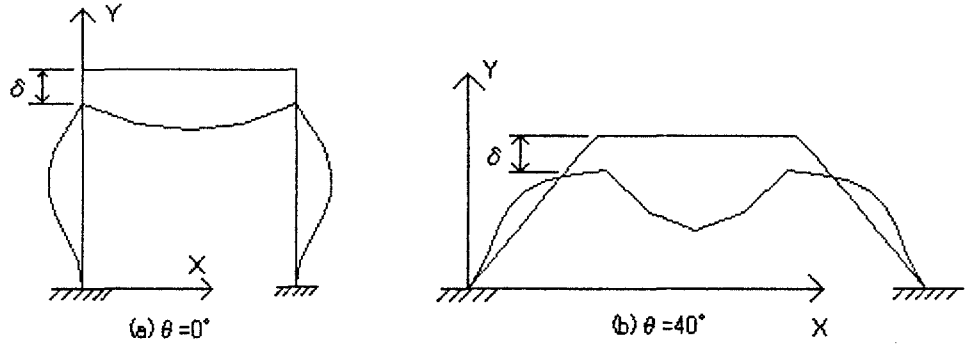


図3 変形モード

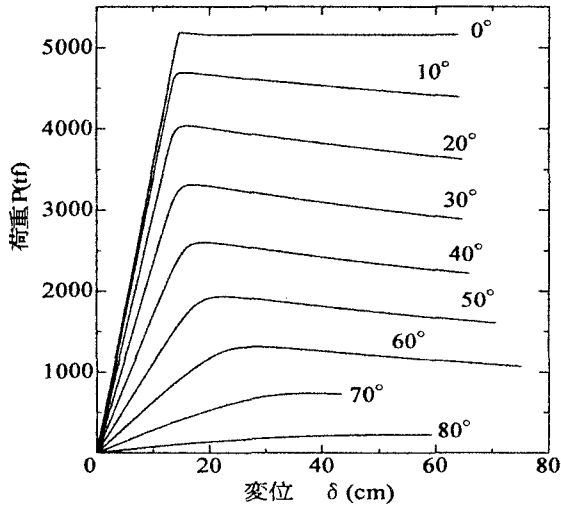


図4 変位-荷重関係 (弾性解析結果)

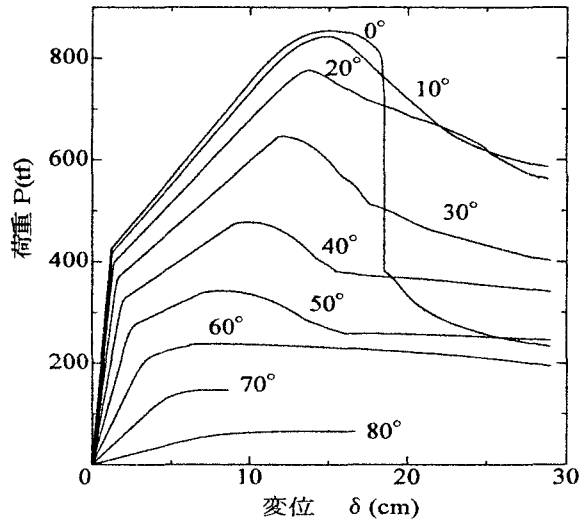


図5 変位-荷重関係 (弾塑性解析結果)

図6は弾性および弾塑性解析から得られた台形ラーメンの耐荷力を門型ラーメンとの耐荷力比で表したものである。柱の傾斜に伴う耐荷力低下は、弾性解析ではほぼ直線的であるのに対し、弾塑性解析では約  $\theta = 45^\circ$  まで曲線的に変化している。弾塑性解析では、 $\theta = 20^\circ$  で約 10%の耐荷力低下にとどまっている。

4.あとがき

本研究では、名城大学建築学科村田研究室で開発された骨組構造解析プログラム SPACE 用いて、台形ラーメンの幾何学的非線形解析を実施した。さらに、詳細な解析検討をするとともに本解析プログラムの信頼性を検証するために汎用構造解析プログラム NASTRAN および DIANA との比較解析を行う予定である。

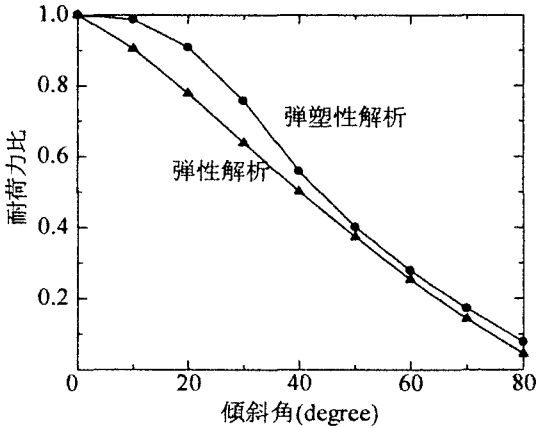


図6 耐荷力低下と傾斜角との関係

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書，平成 14 年 3 月。
- 2) 桜井 孝：台形ラーメンの弾性座屈挙動について，東京鐵骨技報，No.26，pp.11~17，1988 年。
- 3) 土木学会：座屈設計ガイドライン，第 11 章ラーメン，pp.257-285，1987 年。