

繰返し荷重下のトラス構造物の変形能の低下について

名古屋工業大学 学生員 川西 直樹

名古屋工業大学 正 員 後藤 芳顯

名古屋工業大学 正 員 小畑 誠

名古屋工業大学 正 員 松浦 聖

1. まえがき : 繰返し荷重を受けるトラス構造物の変形能の低下の原因は種々のことがらが挙げられるが、ここでは、弾塑性座屈モードの局所化に起因する変形能の低下を取り上げ、その特性を数値計算を通して明らかにする。

2. 断面の構成則 : 本解析法を用いれば様々な弾塑性構成モデルに対応可能であるが、ここでは、Dafalias-Popovの連続体に対するBounding Surface Model¹⁾を準用した。各諸量はfig. 1に表示してある通りである。なお、トラス部材の局部座屈については考慮していない。

3. 弾塑性分岐解析 : 分岐解析は、著者らが文献2), 3)で示した接線剛性を用いて表したHillの解の分岐の条件⁴⁾を、さらに後座屈領域においても対応できるように変位制御型に改良した次式を用いて行った。

$$\Delta \Pi = (\Delta \bar{D}_i^e - \Delta \bar{D}_i^f) \Delta \tilde{K}_{ij} (\Delta \bar{D}_j^e - \Delta \bar{D}_j^f)$$

$$+ \sum_{e=1}^n (\Delta \varepsilon_e^e - \Delta \varepsilon_e^f) \{ (E_i^f A)_e - (E_i^e A)_e \} \Delta \varepsilon_e^e + \{ (E_i^e A)_e - (E_i^f A)_e \} \Delta \varepsilon_e^f \} L_e = 0 \quad (1)$$

ここで、 ΔD は変位増分、 $\Delta \bar{D}$ は制御する節点変位番号を m とし、 ΔD から第 m 成分を削除したものを示す。また $\Delta \tilde{K}_{ij}$ は接線剛性 ΔK_{ij} の m 行 m 列を削除したものを示す。上添字 f , b は基本経路、分岐経路での物理量を示し、添え字 c は除荷の場合も負荷剛性をとると仮定するcomparison solidsとしての構造システムを表す。また、 E, A は部材の軸方向剛性を、 $\Delta \varepsilon$ はひずみ増分、 L は変形前の部材長、下添字 e はトラス部材の番号、 n は部材総数である。

また、分岐経路の追跡は文献2), 3)で示した試行錯誤的方法により解析を行った。

4. 解析モデル : 解析対象の構造をfig. 2に示す。鉛直変位 δ を制御し、鉛直反力 P_1, P_2 の合計を P として耐荷力評価を行う。断面積以外の諸量はfig. 2のとおりで、柱・斜材および水平材それぞれの断面積は、せん断変形を考慮したはり・柱の式より座屈荷重が同一[50(tonf)]になる表1に示す3種類(TYPE1~3)の組み合わせを設定した。全体構造で見れば各TYPEの関係は次式で表される。

曲げ剛性 : TYPE1 > TYPE2 > TYPE3

せん断剛性 : TYPE1 < TYPE2 < TYPE3 (2.a, b)

なおこのモデルの特徴として、水平移動座屈で分岐を起こした後も節点 c, d の中点を中心とした点対称性を有するので、後座屈領域におい

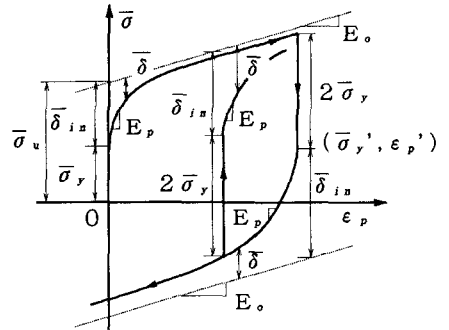


fig.1 Mean Stress - Plastic Strain Curve

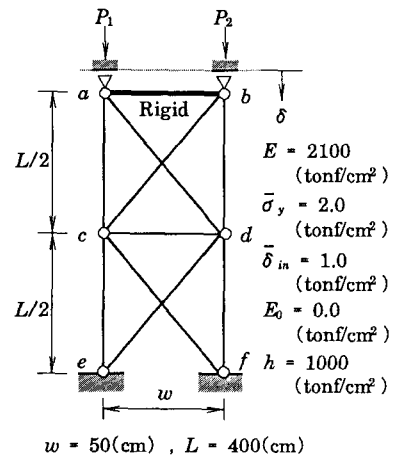


fig.2 Analysis Model

表1 各部材の断面積

断面積	柱材	斜材	水平材
TYPE1	16.5	2.37	10.0
TYPE2	15.0	3.46	10.0
TYPE3	12.6	5.58	10.0

(cm²)

て再びこの対称性を崩す分岐を起こすことが挙げられる。

5. 解析結果 : fig. 3にTYPE1~3の単調増加荷重時の解析結果を示す。この図より、水平移動座屈荷重はTYPE1~3のいずれもはり・柱の式で設定した50(tonf)で生じている。また、第1分岐点の後いずれも荷重の上昇が認められる。これは、分岐後部材が除荷し剛性の上昇が起こるためと考えられる。さらに後座屈領域において、せん断剛性の最も低いTYPE1では他のTYPEに比べ早期に第2分岐点が現れ、図に示す変形の様子から分かるように1層目の斜材に変形の局所化が起こり、第1分岐経路に比べ変形能が低下する。また、第1分岐経路も分岐点の若干後に変形能

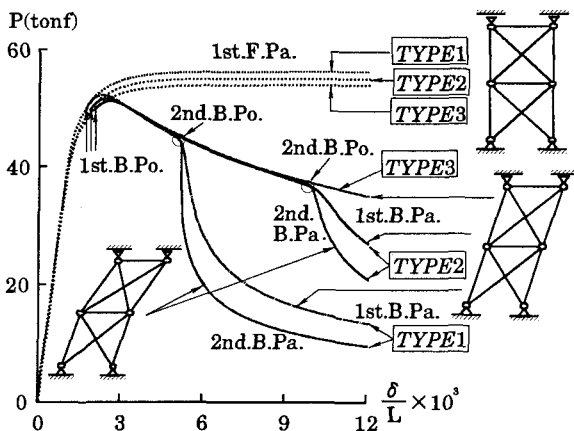


fig.3 Load versus Displacement Relations

Remarks : 1) F.Pa. : Fundamental Path
2) B.Pa. : Bifurcation Path
3) B.Po. : Bifurcation Point

の低下が見られる。TYPE2では、せん断剛性が前者に比べ高いため、より変位の進んだ所で第2分岐による変形能の低下が起こる。最もせん断剛性の高いTYPE3はこの図の範囲では第2分岐による変形能の低下は見られないが、さらに変位の進んだ所で同様なことが生じる。

次に、TYPE1の繰返し荷重の結果をfig. 4に示す。繰返し方法は第1分岐経路の極限点を越えた点である

$\delta/L \times 10^3 = \pm 3$ で20回繰返しした後、制御変位を増加させた。数サイクルの間はバウシンガー効果や残留変形により若干の耐荷力の低下がみられる。ここで注目すべきことは、さらに繰返し荷重を受けると単調荷重のものより早期に耐荷

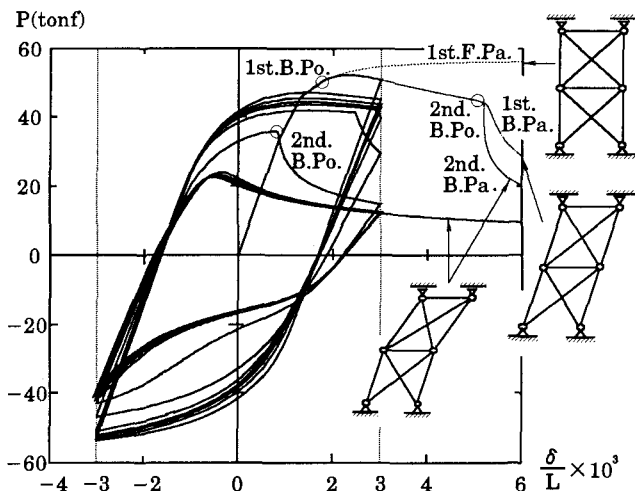


fig.4 Load versus Displacement Relations under Cyclic Loading (TYPE1)

力が低下し、それが半減してしまうことである。この理由は、単調荷重の結果にも見られる第2分岐点の存在によるものと考えられる。省略したが、TYPE2,3でもほぼ同様なことが起こるが、振幅を大きくしないとこの現象は生じない。なぜなら、単調荷重の結果から分かるように、これらはせん断剛性が高く、第2分岐点がTYPE1に比べかなり変位が進んだ点に存在しているためである。

6. まとめ : 繰返し荷重を受ける構造物の変形能の低下の一つの要因として、最大荷重到達後に生ずる座屈モードの局所化があることが本研究により明らかになった。したがって、設計上同じ耐荷力を持つ構造物であっても、この変形能を正確に評価するために後座屈領域の第2分岐挙動まで精度良く解析し得る精密な手法を用いることが必要である。

参考文献 : 1) Dafalias, Y. F. and Popov, E. P. : J. Appl. Mech., Vol. 43, pp. 645-651, 1976 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) Goto, Y., Suzuki, S. and Chen W. F. : Int. J. Solids and Structures, Vol. 27, No. 4, 1991 4) Hill, R. : J. Mech. Phys. Solids, Vol. 13, 1965