

徳島大学大学院 学生員 ○成行 義文
 徳島大学工業短期大学部 正 員 平尾 潔
 徳島大学工学部 正 員 児嶋 弘行

1. まえがき

本研究は、塑性域の伸びを考慮して平面骨組の弾塑性解析を行なう場合に必要となる非弾性断面の断面力と断面変形との関係をより迅速に求めるための手法について研究し、また、その手法を用いて平面骨組の一弾塑性解析を行ない、結果の精度や演算時間を従来の数値積分法により断面力-断面変形関係を求めて解析した場合と比較検討したものである。

2. 断面力-断面変形関係の作表法とその表の使用法

1) 仮定 (1) 材料の応力-歪曲線は、図-1のように表わされ、時間に無関係とする。図-1において、 E_y , E_k , E_p は、降伏歪、硬化開始歪、硬化終了歪を表わし、 σ_y , σ_p , E , E_s は、それぞれ、降伏応力、最大応力、弾性係数、硬化弾性係数を表わすものとする。(2) 断面は、平面保持の法則が成り立つものとする。(3) 降伏は、曲げモーメントと軸方向力との組合せによって生じるものとし、せん断力の影響は無視する。(4) 断面に関する積分計算は、断面を細かく層状に分割し、各分割要素の物理量はその図心に集中しているものとし、応力とひずみはその分割要素内では一定とみなして数値積分法により行なう。(5) 全断面の応力が最大応力 σ_p となる断面を、塑性断面とみなし、降伏条件式としては、文献1)を参考にして、次のような式を用いる。(i) 矩形断面の場合 $M_p/M_p = 1 - (N/N_p)^2$ —① (ii) I型、H型断面の場合 (a) 中立軸がウェブ内にある場合 $M_p/M_p = 1 - (A^2/4 \cdot t_w \cdot Z)(N/N_p)^2$ —② (b) 中立軸がフランジ内にある場合 $M_p/M_p = (A/2Z)(1 - N/N_p)\{h - h_f + (AN/N_p - A_w)/2b\}$ —③ ここに、 $M_p = \sigma_p \cdot Z$, $N_p = \sigma_p \cdot A$, t_w : ウェブの幅, A_w : ウェブの断面積, h : 桁高, h_f : フランジの厚さ, b : フランジの幅, N : 軸力, M : 軸力を考慮した塑性モーメント, Z : 塑性断面係数, A : 断面積, M_p : 全塑性モーメント, および, N_p : 全塑性軸力 である。

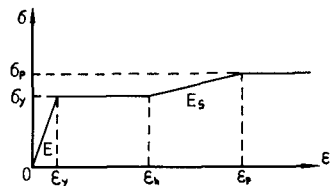


図-1

2) 作表方法 図-2に示すような非弾性断面に相当する領域(横線の部分)の断面力について、順次、以下のような操作を施す。(i) $N = 0 \sim N_p$ までを n 等分して得られる $(n+1)$ 個の軸力のそれぞれについて、降伏モーメント M_y 、及び、塑性モーメント M_p を求め、さらに、 $M_y \sim M_p$ 間を m 等分し、それぞれの軸力に対して、 $(m+1)$ 通りのモーメントの値を求める。(ii) (i)の操作によって求めた $(n+1) \times (m+1)$ 個の断面力の組合せに対応する断面変形を、周知の数値積分法により求める。(iii) (ii)で求めた $(n+1) \times (m+1)$ 個の断面変形をそれぞれの断面力に対応させて、計算機に記憶させる。図-3は、図-2の横線部分をモデル化したものである。格子の交差点が、それぞれ(i)で求めた $(n+1) \times (m+1)$ 通りの断面力の組合せに相当し、それに対応する箇所に、(ii)で求めた断面変形を格納するのである。

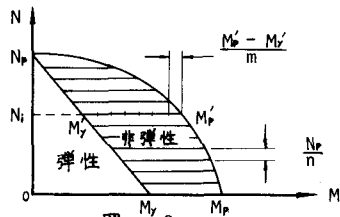


図-2

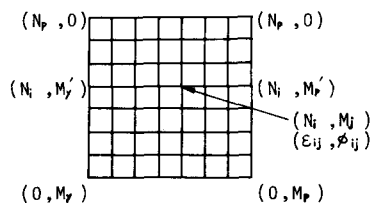


図-3

3) 任意の断面力に対する断面変形を表より求める手順 2)で作成された表を用いて、任意の組合せの断面力に対する断面変形を以下に示すような比例配分法により求める。任意の断面力 M_0 , N_0 が与えられた場合、表

中の断面力 N_i, M_j との比較により, $N_i < N_0 < N_{i+1}, M_j < M_0 < M_{j+1}$ となる N_i, N_{i+1} 及び, M_j, M_{j+1} を探し, 図-4 のような $(N_i, M_j), (N_i, M_{j+1}), (N_{i+1}, M_j), (N_{i+1}, M_{j+1})$ に対応する $\phi_{ij}, \phi_{i,j+1}, \phi_{i+1,j}, \phi_{i+1,j+1}$ を表より求める。次に、これらの値を用いて, 図-4 に示すような $\phi_{i,0}, \phi_{i+1,0}$ の値を, $\phi_{i,0} = \phi_{ij} + (M_0 - M_j)(\phi_{i,j+1} - \phi_{ij}) / (M_{j+1} - M_j)$ —④, $\phi_{i+1,0} = \phi_{i+1,j} + (M_0 - M_j)(\phi_{i+1,j+1} - \phi_{i+1,j}) / (M_{j+1} - M_j)$ —⑤ として求める。さらに、これらの $\phi_{i,0}$ 及び, $\phi_{i+1,0}$ を用いて、断面力 M_0, N_0 に対する曲率の近似値 ϕ_0 を次式より求める。 $\phi_0 = \phi_{i,0} + (N_0 - N_i)(\phi_{i+1,0} - \phi_{i,0}) / (N_{i+1} - N_i)$ —⑥ 以上は、任意の断面力に対する曲率の求め方を示したが、軸歪についても同様にすれば求まる。

4) 実際の解析に用いる表 実際の構造解析に際しては、上で述べた表をそのまま用いるのではなく、不必要と思われる軸力に関する部分をカットし、また、強い非線形性を示し、比例配分による誤差が著しいと思われる高軸力、高モーメント領域を、さらに細分することにより作成された図-5 のような表を用いる。ここに、 N_{max} : 軸力の上限值, N_{min} : 軸力の下限値, M_{p1}, M_{p2} : N_{min} に対する降伏モーメント, 塑性モーメント, および, M_{y2}, M_{p2} : N_{max} に対する降伏モーメント, 塑性モーメントである。

3. 解析上の仮定, 基本式 および、解析手順

これらに関しては、講演番号 219 を、参照していただきたい。

4. 計算例

本研究では、まず、数値積分法により断面力—断面変形関係を求める場合の、断面分割数と精度との相関性について調べ、ついで、作成された表より比例配分で求めた断面力—断面変形関係の精度とそれに要した演算時間について、断面形状、降伏応力の相違及び、歪硬化、残留応力の有無などを考慮し、数値積分法による場合を基準として比較するとともに、表の作り方についても検討した。また、表を用いて断面力—断面変形関係を求めた構造解析を行なった場合の解析結果と演算時間について、従来の数値積分法を用いた場合との比較検討も行なった。以上の計算結果については、講演当日 O.H.P. を用いて紹介する。

5. むすび

本研究で得られた結果を列挙すれば、以下のようである。1) 数値積分法により断面力—断面変形関係を求める場合、断面分割数を増やせば、その精度は上がるが、演算時間が長くなるので、必要以上に増やすのは不利である。2) 作表する場合、断面力の分割数を増せば、一般に解の精度は上がるが、ある程度以上の分割数になると、解の精度はほとんど変わらない。また、断面力が、塑性モーメント及び全塑性軸力に近づくにつれて、細かく分割するようにし、モーメントよりも軸力の方が分割数を増やした方が精度はよくなる。3) 軸力の値によって多少の差はあるが、一般に、塑性モーメントの近くで、また、歪硬化を考慮した場合には、歪硬化が生じる前後において、精度が悪くなるが、2) で述べたような分割を行なえば、分割数とあまり大きくしなくても、最大誤差 5% 以内の精度となり、比較的精度のよい近似となる。4) 比例配分により、断面力—断面変形関係を求めるのに要する演算時間は、数値積分法で求めるのに要する時間の約 1/4 である。5) 図-3 のように、0 から N_k までのすべての軸力に対して表を作成するよりも、図-5 のように、解析中に必要となる軸力の範囲によって、いくつかの部分的な表を作成する方が、精度の良い表を作成することができる。6) 断面力—断面変形関係の表を用いて、構造解析を行なった結果、従来の数値積分法を用いて解析した場合と、その解析結果にはほとんど差違は、見られず、演算時間の面では、かなり有利であることがわかった。

6. 参考文献

- 1) 木原 博・藤田 譲・楠田 忠雄・川井 忠彦: “塑性設計法” 森北出版

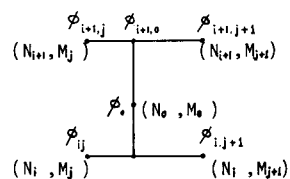


図 - 4

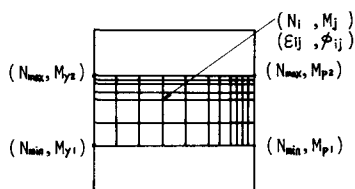


図 - 5