

○名古屋大学工学部 学生会員 尼子 元久

名古屋大学工学部 正会員 水野 英二

名古屋大学工学部 正会員 福本 湧士

1. はじめに 近年、鋼材の塑性域にまで及ぶ範囲で繰り返し载荷を受ける構造部材、構造物の非線形挙動に関する研究は、構造工学の重要な課題の1つとなって来ている。昨年の本大会で著者ら<sup>1)</sup>は、繰り返し载荷での塑性性状をうまく取り入れることのできるMulti-Surfaces Model<sup>2)</sup>(以下に、MSMと称す)を用いて、構造部材、橋梁主塔を対象とした有限要素法非線形解析を行なった。この解析によれば、構造物の繰り返し挙動をかなりよく追従できる一方で、構成則に関して、数値計算上多大な記憶領域を必要とし、かつ、かなりの数値計算時間を必要とする難点がある。それ故、本研究では、それらの難点を克服するため、まず、繰り返し载荷状態での構造部材断面のM-P- $\phi$ 関係をモデル化する。

2. 繰り返し载荷状態でのM-P- $\phi$ 曲線作成のための特性曲線 本研究では、一定軸方向力Pのもとで繰り返し一軸曲げにより塑性変形を生じる断面の塑性曲率の蓄積量 $\bar{\phi}_p$ を変量として、M-P- $\phi$ 曲線作成に必要な $\kappa a(\bar{\phi}_p)$ 、 $\kappa b(\bar{\phi}_p)$ 、 $W(\bar{\phi}_p)$ を提案する。ここに、 $\kappa a(\bar{\phi}_p)$ は、M- $\phi$  pの処女曲線、 $\kappa b(\bar{\phi}_p)$ は、 $\bar{\phi}_p$ がかなり大きくなり定常状態に至ったときの载荷曲線、また、重み特性曲線 $W(\bar{\phi}_p)$ は、 $\kappa a(\bar{\phi}_p)$ から $\kappa b(\bar{\phi}_p)$ へ至るまでの補間曲線(1から0の値を取る)である。一例として、I形断面(I-200\*200\*8\*10,SS41)が、一定軸方向力 $P=0.6P_y$ ( $P_y$ :降伏荷重)を受ける強軸曲げの場合の三つの特性曲線を以下に示す。

$\kappa a(\bar{\phi}_p)$ については、MSMによる応力-ひずみ関係を用いて、単調载荷のもとで得られるM- $\phi$  p関係を $\kappa a$ とし(Fig.1-a)、また、 $\kappa b(\bar{\phi}_p)$ については、十分な塑性変形が起こるまで任意の繰り返し载荷-除荷を数回行ない、一定ループを描くようになった時点での最終ループから作図法<sup>2)</sup>によって決定した(Fig.1-b)。Fig.1-aとFig.1-bに示すように、 $\kappa a$ 、 $\kappa b$ 曲線を離散化された区間線形として表現するため、内挿点として、ここでは $\bar{\phi}_{p0} \sim \bar{\phi}_{p8}$ (各 $\bar{\phi}_{pi}$ は一定値)までの9個の点を選んである。一方、重み特性曲線 $W(\bar{\phi}_p)$ は、一般に、9個の離散点 $\bar{\phi}_{pi}$ ( $i=1 \sim 9$ )に対応するモーメント $M(=\kappa_i)$ に対して、それぞれ検討するのが妥当であるが、ここでは、代表的な $\bar{\phi}_{p5}$ に対する $\kappa_5$ (降伏棚始点)、 $\bar{\phi}_{p6}$ に対する $\kappa_6$ (硬化域始点)、 $\bar{\phi}_{p7}$ に対する $\kappa_7$ (硬化域終点)のモーメント $M(=\kappa)$ の大きさの変化に着目した。そして、各種のM-P- $\phi$ ループより、種々の $\bar{\phi}_p$ に対する $\kappa_5$ 、 $\kappa_6$ 、 $\kappa_7$ の大きさを求め、次式により $W(\bar{\phi}_p)$ の値を決定した。

$$W(\bar{\phi}_p) = \frac{\kappa_i - \kappa_{bi}}{\kappa_{ai} - \kappa_{bi}} \quad \text{-----(1)}$$

その $W(\bar{\phi}_p)$ の値をプロットした結果が、Fig.2に示してある。Fig.2より分かるように、 $\bar{\phi}_p$

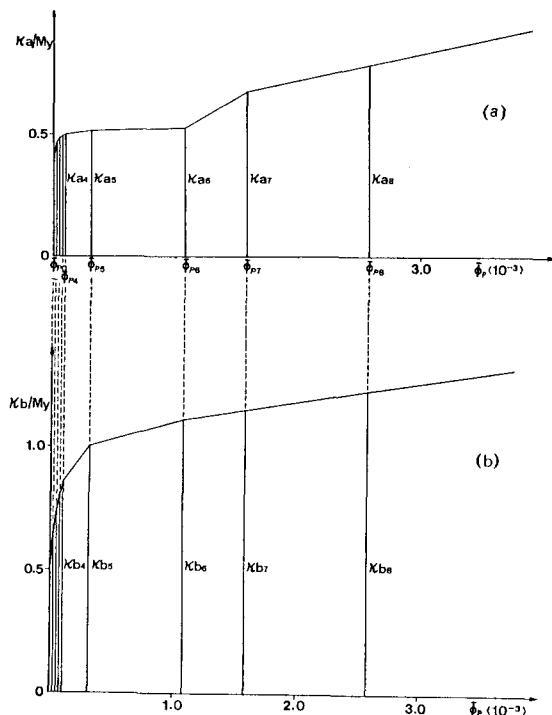


Fig.1  $\kappa a$ -Curve and  $\kappa b$ -Curve.

の値が極小さい領域を除いて、離散点  $\bar{\phi}_{p5}$ ,  $\bar{\phi}_{p6}$ ,  $\bar{\phi}_{p7}$  に対応する  $W(\bar{\phi}_p)$  は、除荷側、再載荷側に関係なくその変動は小さい。 $W(\bar{\phi}_p)$  の取り扱い方としては、1つの曲線 (Type-1) で代表することが望ましいが、ここでは、 $\kappa_6$  に対するもの (Type-2の実線) と、他の8個の点に対するもの (Type-2の一点鎖線) の2種類を仮定した。この仮定は、MSMによる結果との整合性から得た。

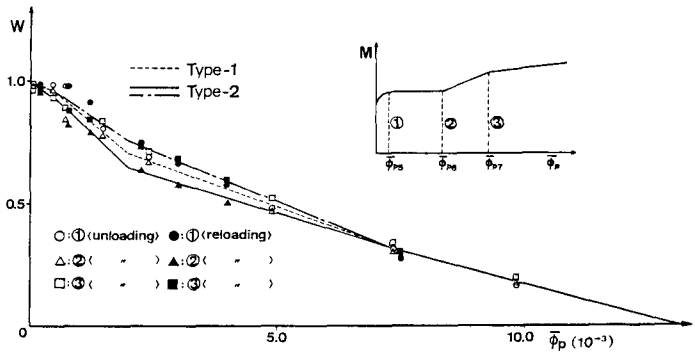


Fig.2  $W-\bar{\phi}_p$  Curve.

3.  $M-P-\phi$  曲線の作成法 この作成法は、文献2)における  $\sigma-\varepsilon$  関係での経路決定法を、 $M-\phi$  関係に応用した。

- (1) 初期単調載荷 特性曲線の一つである  $\kappa_a(\bar{\phi}_p)$  そのものが  $M-P-\phi$  曲線となる。
- (2) 除荷 除荷時点までに蓄積された塑性曲率  $\bar{\phi}_p$  を用いて重み特性曲線より  $W(\bar{\phi}_p)$  を求め、次式により、各々の  $\kappa_i(\bar{\phi}_p)$  ( $i=1 \sim 9$ ) の大きさを計算する。

$$\kappa_i = \kappa_{bi} + W(\bar{\phi}_p)(\kappa_{ai} - \kappa_{bi}) \quad \text{-----}(2)$$

次に、除荷点から、初期単調載荷曲線の延長上に  $\bar{\phi}_{p1} \sim \bar{\phi}_{p8}$  の点を取り、それら9点を基準として、下方向にそれぞれ  $2\kappa_i$  だけ離れた点を取る。さらに、直線  $A-A'$  を軸として、各点の対称点を取り、これら9点を結んだ線を除荷側の  $M-\phi_p$  曲線とする。(Fig.3)

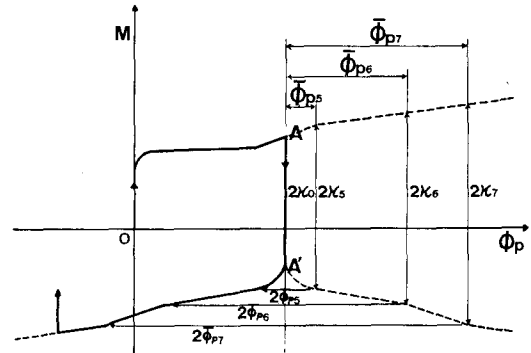


Fig.3 Method for  $M-P-\phi$  Curve.

4. 本手法による  $M-P-\phi$  曲線の妥当性 MSMによる  $M-P-\phi$  曲線と本手法による曲線との比較をFig.4に示す。この図より  $P=0.6P_y$  のとき、 $M-\phi$  関係が非線形となる領域に多少の差異が認められるが、これは、重み特性曲線  $W(\bar{\phi}_p)$  の決定において、より簡単化のためその領域の内挿点について考慮していないためである。しかし、この部分を除いては、かなりよく追従していることが分かる。

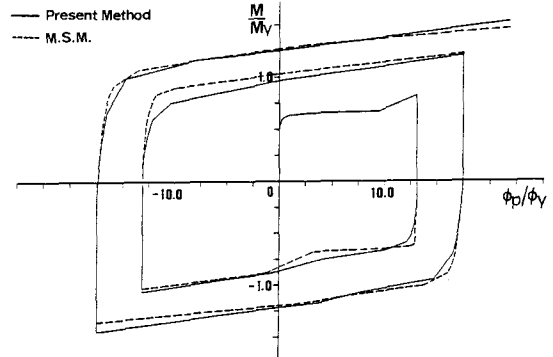


Fig.4 Comparison of Curve by Proposed Method with that by MSM.

5. おわりに 材料の応力-ひずみ関係に MSMを仮定して求めた  $M-P-\phi$  曲線と、本報で紹介した  $M-\phi$  に対する  $\kappa_a, \kappa_b, W$  の3つの特性曲線をもとに求めた  $M-P-\phi$  曲線との比較を行ない、本手法による等価な  $M-P-\phi$  曲線は、短い計算時間で、かなり精度よく得ることができた。今後、この手法を応用して、繰返し曲げを受ける構造部材、さらには、骨組構造物の荷重-変形挙動を求める。

6. 参考文献 1) 加藤、水野、福本：多曲面塑性モデル理論による骨組構造物の荷重-変形履歴特性について；土木学会第39回年次学術講演会講演概要集、1984。2) Popov, E.P. and Petersson, H.: Cyclic Metal Plasticity; Experiment and Theory, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 104, No. EM6, Proc. Paper 14257, Dec, 1978, pp. 1371-1387.