

I-42 多降伏曲面M-P- ϕ モデルの開発

○ 川崎重工 K.K. 正会員 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 晴士

1.はじめに 構造部材の非弾性挙動を経済的に評価する一つ的手段として、部材断面のM-P- ϕ 関係を用いる方法がある。昨年の本大会で著者らは、一定軸力の下で一軸曲げ繰返し荷重を受ける部材断面のM-P- ϕ 関係のモデル化、及び、このモデルを用いた有限積分法(F.I.M.)による構造部材の弾塑性挙動に関する報告を行なった¹⁾。本研究では、三次元的繰返し荷重を受ける部材断面の複雑な塑性挙動を把握するため、前回のM-P- ϕ モデルをさらに拡張した。すなわち、降伏関数、流れ則、移動則を基礎として、任意の載荷経路による降伏曲面の移動、大きさ、形状の変化を考慮した多降伏曲面M-P- ϕ モデルの開発を試みた。

2.多降伏曲面M-P- ϕ モデル 本研究で提案する多降伏曲面モデルは、Popov²⁾らの提案した構成モデル(Multi-Surfaces Model ;M.S.M.)の概念を、(Mx-My-P)空間(ここに、Mx; x軸回りのモーメント、My; y軸回りのモーメント、P;軸力)に適用するものである。すなわち、Fig.1に示すように(Mx-My-P)空間において、断面特性の変化を表す一つのパラメータに関する等ポテンシャル曲面群を考え、断面の塑性履歴に従って、これらの曲面群が移動、形状変化、さらに大きさの変化を起こしていくと仮定するものである。しかし、(Mx-My-P)空間での曲面群の定式化は複雑であることが予想され、本研究では、この曲面群を各々の軸力Pに対する(Mx-My)平面での曲面群の集合体として考え、曲面群の移動、形状変化、大きさの変化は、P=一定の状態それぞれ定義していくことにする。この場合、断面特性の変化を表すパラメータは、x軸回りの塑性曲率増分 $d\phi_x^p$ 、y軸回りの塑性曲率増分 $d\phi_y^p$ の2変量を用いた相当塑性曲率増分 $d\bar{\phi}_p$ の蓄積量 $\bar{\phi}_p$ としておけると仮定する。なお、 $d\bar{\phi}_p$ は次式で定義する。

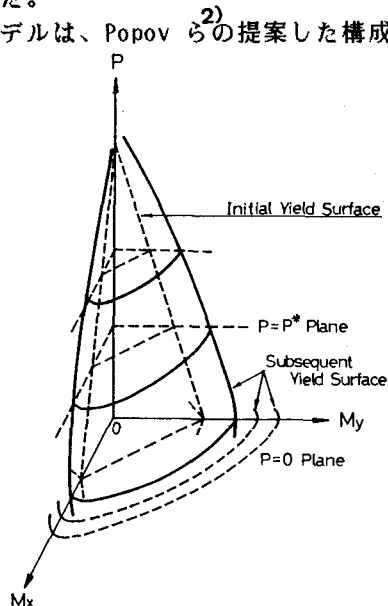


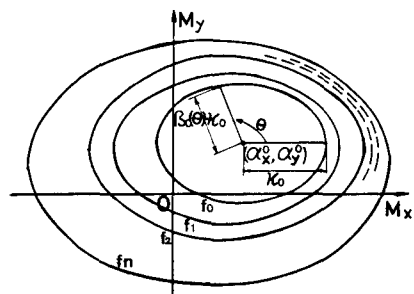
Fig.1 Multi-Surfaces Model in Mx-My-P Space

$$d\bar{\phi}_p = \sqrt{(d\phi_x^p)^2 + (d\phi_y^p)^2} \quad (1)$$

本モデルは、塑性論の3つの概念を用いる。すなわち、

a)降伏関数(Yield Function), b)流れ則(Flow Rule), c)硬化則(Hardening Rule)

a)多降伏曲面群及び降伏関数 Fig.2は、(Mx-My)空間($P=\text{const.}$)での $\bar{\phi}_p$ に関する等ポテンシャル曲面群 $f_0(\bar{\phi}_{p0}), \dots, f_n(\bar{\phi}_{pn})$ を概略的に示している。本研究では、この等ポテンシャル曲面群を降伏曲面群として用いる。そして、降伏関数Fは最内曲面 f_0 で与えられ、次のように表現できると仮定する。

Fig.2 Multi-Surfaces Model in Mx-My Space ($P=\text{const.}$)

$$F = F[M_x, M_y, \kappa_0(\bar{\phi}_p), \beta_0(\bar{\phi}_p), \alpha_x^0(\bar{\phi}_p), \alpha_y^0(\bar{\phi}_p)] = 0 \quad (2)$$

ここに、 (α_x^0, α_y^0) は、曲面の中心であり移動則によって定まる。 κ_0 は、Mx軸方向の曲面の大きさで三つの特性関数により定まる。また、 $\beta_0(\theta)$ は、曲面の形状を表わす関数であり $\bar{\phi}_p$ の関数として与える。

b) 流れ則 塑性流れ則としては、垂直性の仮定に基づいて次式で表せる関連流れ則を仮定した。

$$(d\phi^P) = d\lambda \left(\frac{\partial F}{\partial (M)} \right) \quad (3)$$

c) 移動則 本研究ではPopov²⁾の移動則を修正した移動則を用いる。ここでは、中心の平行移動のみを仮定し、曲面の回転は起こらないものと仮定している。そしてまた、各曲面群が交差し合わないよう制限されている。Fig.3 に、移動則の概念図を示した。

今、塑性変形により $d\phi_p$ なる塑性曲率増分に対する降伏曲面の移動を考えてみる。曲面 s は、点 S が曲面 p 上の同じ中心角 θ を持つ点 R に一致するように移動する。このとき、曲面 s は、曲面 p と相似形の曲面 s' となり点 R で曲面 p に接する。そして、モーメント点は曲面 s' 上のある点 S' に存在すると仮定する。

3. 数値計算例 本研究では、材料特性として M.S.M. を仮定した場合の部材断面に対して本モデルを設定した。そして、次の4つの仮定の下、F.I.M. により解析を行なった。

<仮定> 初期不整、軸方向変位、局部座屈、ねじりは考慮しない。

3.1 一軸曲げ問題 Fig.4 に示すような、一定横荷重 Q_c の下、軸力 P が繰り返し載荷される両端固定ばりについて、M.S.M. を採り入れた F.E.M. による解析結果と比較検討した。この結果、平面問題では本手法が F.E.M. とほぼ同程度の精度を持つことが分かった。また、計算時間は 1/20 であった。

3.2 二軸曲げ問題 ここでは、本手法の任意の負荷径路に対する適応性を確かめ、同時に、塑性挙動の特徴である径路依存性を確認した。Fig.5 に、軸力と繰り返し等二軸曲げを受ける単純ばりの z - x 平面、 z - y 平面での荷重-変形特性を示す。なお、両軸はそれぞれ降伏モーメントで無次元化してある。これより、負荷径路の違いによる残留変形の差が明らかに分かる。また、計算時間は、2 分程度であった。

4. おわりに 本モデルを適用することにより任意の繰り返し曲げを受ける構造部材の弾塑性解析を経済的に行なうことができた。一軸曲げ問題での精度については、F.E.M. の結果との比較で確認されたが、二軸曲げ問題での精度については今後の課題である。

参考文献

- 1) 尼子元久、水野英二、福本啓士、繰り返し一軸曲げを受ける構造部材断面の M - P - ϕ 曲線、土木学会第40回年次学術講演会概要集、1985, pp.59-60.
- 2) Popov, E.P. and Petersson, H.: Cyclic Metal Plasticity; Experiments and Theory, Proc. 14257 of ASCE, Vol. 104, No. EM.6 (1978), pp.1371-1387.

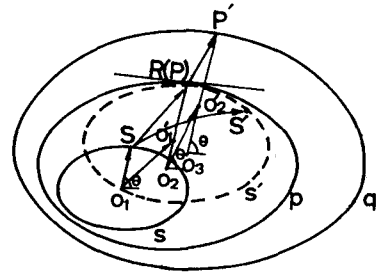


Fig.3 Hardening Rule

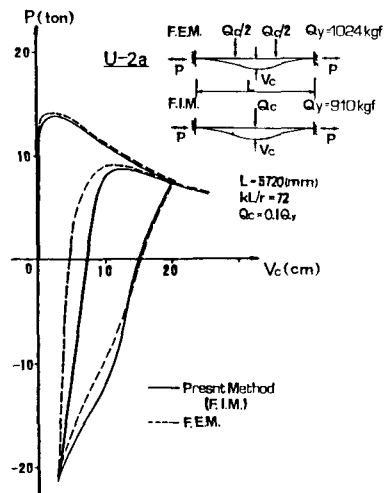


Fig.4 Analytical Result for Uniaxial Bending Model

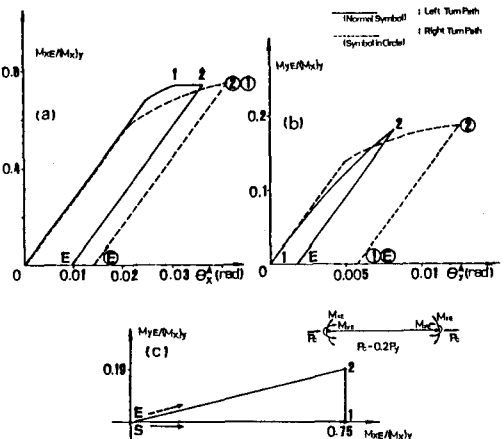


Fig.5 Analytical Result for Biaxial Bending Model