

名古屋大学工学部 学生員 〇田中良仁
 名古屋大学工学部 正員 水野英二
 名古屋大学工学部 正員 宇佐美勉

1. はじめに 繰り返し外力を受ける各種構造物あるいは構造部材の履歴挙動を有限要素法などにより扱う場合に、繰り返し応力-ひずみ関係をうまく表現できる弾塑性モデルが重要となる。特に、繰り返し外力の下での薄板の局部座屈解析においては、ひずみのオーダーが 10^{-2} 以下の降伏棚域からひずみ硬化域へ移動するときの鋼材の繰り返し挙動の検討が重要となる。本研究では二曲面理論¹⁾に基づいて開発した弾塑性モデル²⁾を上記の領域での挙動を合理的に表現するため、更に改良、修正を行ったモデルを提案する。

2. 二曲面モデルの概要 図-1は、二曲面モデルの概念図である。応力-ひずみ挙動は、DFなどの非線形部分における接線塑性係数 E^P を定式化することで表現できる。二曲面モデルでは、 E^P を次式で定義している。

$$E^P = E_0^P + h \frac{\delta}{\delta_{in} - \delta} \quad (1)$$

ここで、 E_0^P は境界線の定常勾配、 δ_{in} は塑性域にはいる点から境界線までの距離、 h は形状パラメータ、 δ は任意点から境界線までの距離を示す。形状パラメータは δ_{in} の関数であり、一つの曲線において一定値である。また、その関数のパラメータは各鋼材によって固有である。比較的ひずみの大きい硬化域における二曲面モデルを実験値と比較した結果、以下のような修正をおこなった。(修正モデルI)

- ①形状パラメータを δ の関数とする。
- ②圧縮側と引張側の境界線を区別する。
- ③弾性域の低減を和塑性ひずみ(塑性ひずみの絶対値の単純総和)の関数とする。

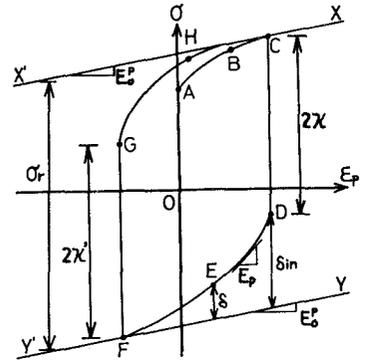


図-1 二曲面モデルの概念図

3. 降伏棚内の繰り返し挙動を表現できる二曲面モデルの提案 この修正モデルを降伏棚内の繰り返し挙動にも対応できるように修正を行った。ここで過去最大の塑性ひずみ幅を越えたひずみの合計とした累積塑性ひずみを定義する。図-2に、SS41材の様々な実験結果による硬化挙動を示し始めたときの和塑性ひずみと累積相当塑性ひずみの関係を示す。従来は、累積相当塑性ひずみが硬化挙動に影響を及ぼすと考えられていたが、和塑性ひずみもこれに関与し、それらには線形関係があると思われる。応力が σ_r になったときに、和塑性ひずみと累積相当塑性ひずみの関係より硬化挙動を示すか否かを判定し、そのとき硬化すると判定したならばそのまま境界線に漸近し、そうでないならば降伏棚にのる挙動をすると修正した(修正モデルII)。このように修正することにより、降伏棚内の挙動から硬化する挙動までうまく表現できるようになった。

次に、ランダムな繰り返し挙動について、SS41材と同様な降伏棚をもつS35C材を用いて調べた。図-3に実験結果を、図-4に修正モデルIIを用いた結果を示す。問題点としては、一つの曲線の後半で境界線に漸近しようとするために、実験値より曲がり具合が早くなっている。原因としてこのタイプの繰り返し載荷は、荷重の分岐点が漸近しようとする境界線に近いいため早く曲がるものと思われる。

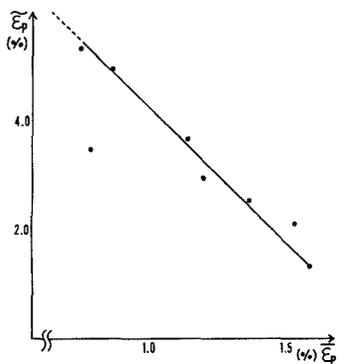


図-2 和塑性ひずみと累積塑性ひずみの関係

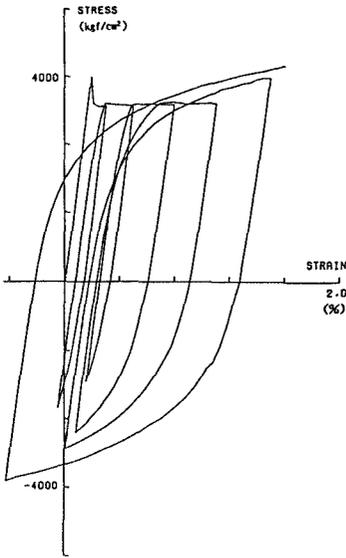


図-3 S35C材の実験結果

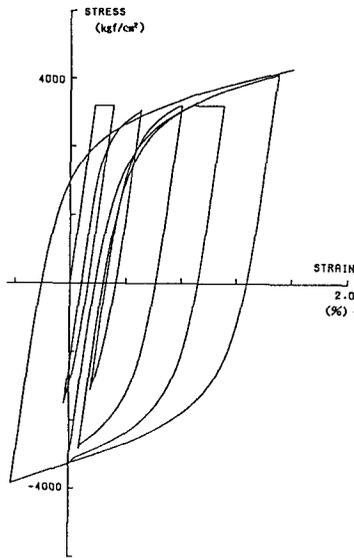


図-4 S35C材の修正モデルⅡによる結果

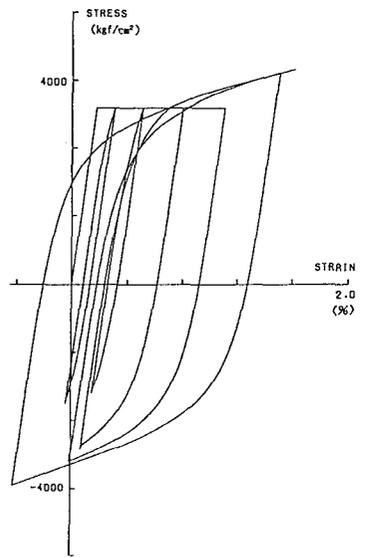


図-6 S35C材の修正モデルⅢによる結果

4. 仮想境界線の概念を用いた二曲面モデルの提案

前述の問題点を改良するために、仮定の境界線を設定した。図-5に仮想境界線の概念図を示す。

圧縮から引張になる分岐点(A)を考える。引張側の仮想境界線(m')は分岐点にいく前に漸近しようとしていた圧縮側の境界線(l)までの距離分(h)だけ実際の引張側の境界線(m)より外側にシフトした位置に設定される。このとき圧縮側の仮想境界線はA点を通る位置に移動する。すなわち境界線間と同じ幅($2k$)をもち分岐点によって境界線を平行移動した位置に仮想境界線を設定する、と考えたものである。

A点から反転した後の挙動は破線BCで示したような仮定の境界線に接するような挙動をするが、実際の境界線にぶつかると(B点)それにのる挙動をする。また、D点のように分岐点が境界線にあるときには h は0になり仮想境界線は実際の境界線と同じになる。

このような修正を行ったモデル(修正モデルⅢ)を用いた結果を図-6に示す。仮想境界線を導入することにより、曲線が早く曲がるという問題点を解消することができた。

4. あとがき 修正した二曲面モデルに和塑性ひずみと累積相当塑性ひずみの関係および、仮定の境界線の概念を導入することにより、様々なタイプの繰返し挙動を表現できるようになった。また、このように修正を行った二曲面モデルを、一般応力状態である3次元状態のモデルに拡張することが今後の課題である。

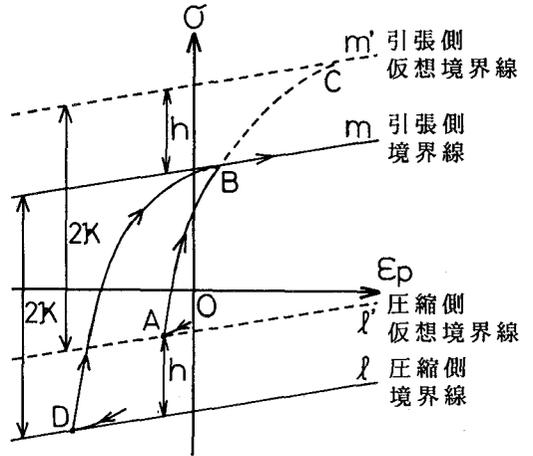


図-5 仮想境界線の概念図

《参考文献》 1) Dafalias, Y.F. and Popov, E.P.: Plastic Internal Variables Formalism, Trans. ASME J. Appl. Mech., (1975), pp.645-651. 2) 田中良仁, 水野英二, 宇佐美勉: 繰返し引張・圧縮を受ける鋼素材の挙動, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集, 第1部, pp248-249, 1989.