

降伏棚を有する鋼材の繰り返し挙動

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、ひずみが 10^{-2} のオーダー以下の降伏棚内における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⁾を降伏棚内の繰り返し挙動を合理的に表現するため、更に改良、修正した。

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、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。

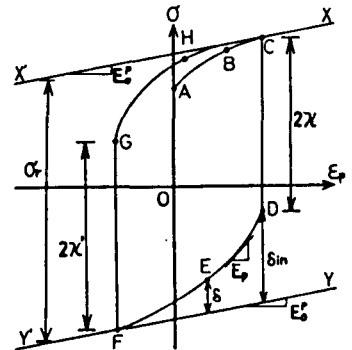


図-1 二曲面モデルの概念図

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。図-2はSS41材の同一ひずみのところで繰り返し実験をおこなった結果で、3ループ目で硬化した挙動を示している。これによると、硬化挙動を示す条件は和塑性ひずみによるものでないことが分かる。図-3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(過去最大の塑性ひずみ幅を越えた量の総和)の関係を示す。これらには線形関係があり、応力が σ_y 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する。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)。図-4にこの修正モデルを用いた結果を示す。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、S35C材を用いて調べた。図-5に実験結果を、図-6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載荷は全実験のタイプとは違い、荷重の分岐点が漸近しようとする境界線に近いから早く曲がるものと思われる。この点を改良するために、仮想に境界線を設定しそれに漸近すると仮定した。仮想の境界線は、分岐点から、分岐点にいく前に漸近しようとしていた反対側の境界線までの距離だけ外側にシフトした位置に設定される。すなわち境界線間とは同じ幅をもち分岐点によって境界線が移動する、と考えたものである。このような修正(修正モデルⅢ)を行った結果を図-7に示す。このように修正することにより、前述の問題点を解消することができた。

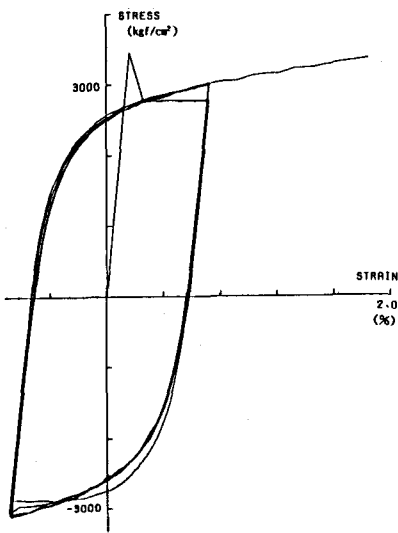


図-2 SS41材の実験結果

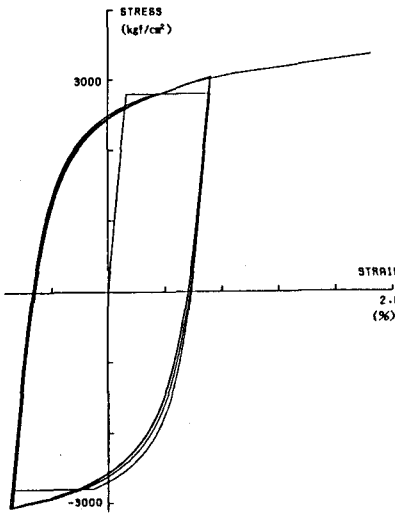


図-4 SS41材の修正モデルIIによる結果

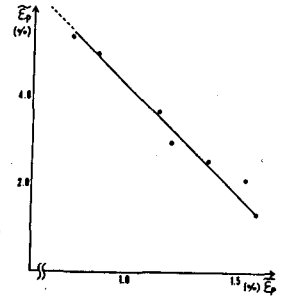
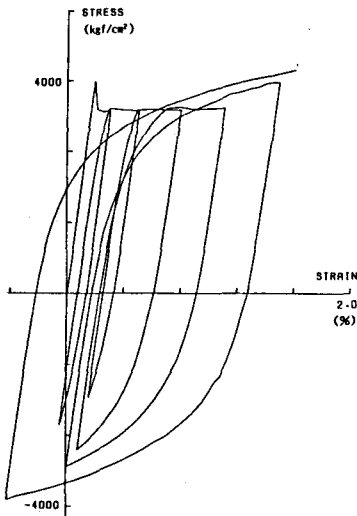
図-3 和塑性ひずみと
累積塑性ひずみとの関係

図-5 S35C材の実験結果

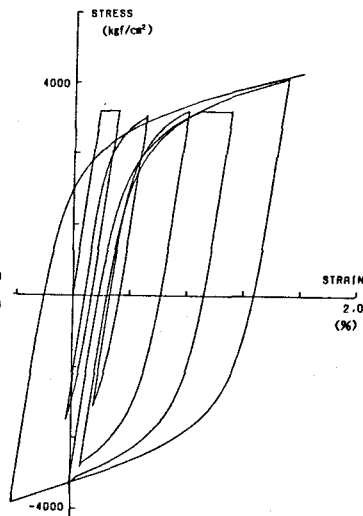


図-6 S35C材の修正モデルII

による結果

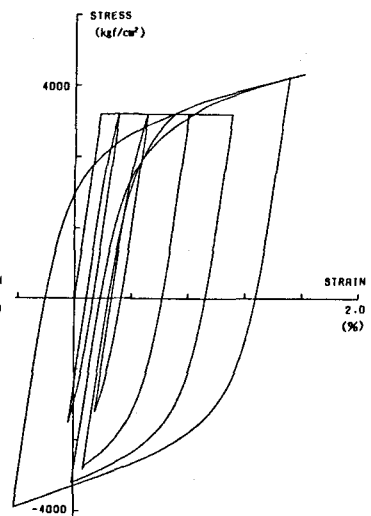


図-7 S35C材の修正モデルIII

による結果

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。

《参考文献》 1) Dafalias, Y.F. and Popov, E.P.: Plastic Internal Variables Formalism, Trans. AS
ME 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, pp. 248-249, 1989.