

1. まえがき

地震力等の繰り返し作用を受けた場合の鋼構造物の安全性を確保するといった観点から、鋼構造物の塑性変形挙動を把握することが重要となり、鋼材の繰り返し塑性履歴特性を精度良く表現できる構成式が必要となる。そこで、本研究においては単調載荷曲線を基にした構成式を開発し、実験データや既往の研究との比較によりその妥当性を検証した。

2. 構成式の概要

単調載荷曲線を基にした構成式の概要を以下に示す。図-1(a)、(b)はそれぞれ塑性ひずみ-真応力で表現した一軸状態での単調載荷曲線、塑性履歴曲線を示しており、これら2つの図の点0～8はそれぞれ応力レベルが等しく対応したものとなっている(ただし4, 7は除く)。今回の構成式では、塑性履歴曲線を0-1の初期弾性域、単調載荷曲線の1-3, 5-6, 8以降の部分で表現される1-3, 5-6, 8以降の単調載荷曲線の一部をなす領域、3-5, 6-8の遷移領域にわけ、さらに単調載荷曲線の一部をなす領域を1-2の降伏棚と2-3, 5-6, 8以降のひずみ硬化に、遷移領域を3-4, 6-7の弾性遷移領域と4-5, 7-8の非線形遷移領域にわけて表現することとした。単調載荷曲線の一部をなす領域と遷移領域の領域分けをするため、単調載荷曲線上のある応力まで塑性履歴を受けた後、荷重を反転させたときに現れる遷移領域の塑性ひずみの大きさ $\Delta \varepsilon^p$ をその応力に対応する単調載荷曲線上の塑性ひずみ ε_{mon}^p の関数として以下の式で表現することとした。

$$\Delta \varepsilon^p = \frac{e}{d} \sqrt{(\varepsilon_{mon}^p)^2 + 2d\varepsilon_{mon}^p} \quad (1)$$

ここに、 d, e : 鋼材によって決まる定数

単調載荷曲線を基にした構成式で各領域の塑性履歴曲線を表現するために行った定式化については文献[1]で述べたが、文献[1]では単調載荷曲線の一部をなす領域で荷重の反転が起こった場合の定式化を行ったものであり、非線形遷移領域で荷重の反転が起こった場合については定式化されていない。非線形遷移領域で荷重の反転が起こると、その際得られる塑性履歴曲線は図-2に示すように真応力で評価した平均応力の方向に進行性の塑性ひずみが生じる点3-R-3'のような曲線になるといわれている²⁾。そこで非線形遷移領域で荷重の反転がおこった場合、荷重の反転点から再び単調載荷曲線の一部をなす領域に達するまでの塑性ひずみ(遷移領域の塑性ひずみの大きさ) $\Delta \varepsilon_n^p$ を以下の式で表現することとした。

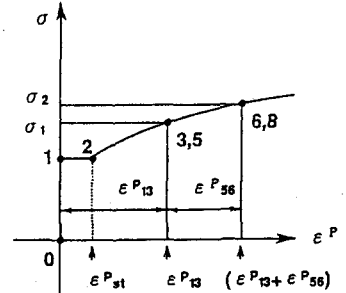


図-1(a)

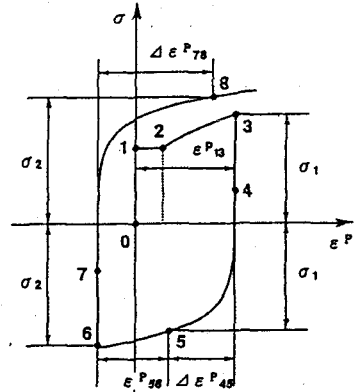


図-1(b)

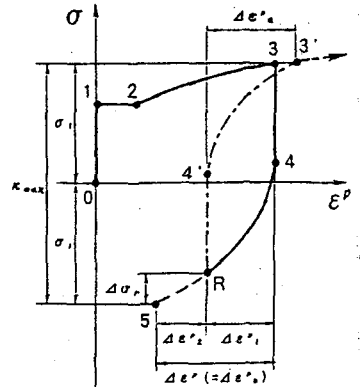


図-2

$$\Delta \varepsilon^p_a = \Delta \varepsilon^p - \Delta \varepsilon^p_2 + \Delta \varepsilon^p_1 \frac{\Delta \sigma}{K_{max}} \quad (2)$$

ここに、 K_{max} : 遷移領域の真応力の大きさ

$\Delta \varepsilon^p$: 式(1)によって求まる遷移領域の塑性ひずみの大きさ

$\Delta \varepsilon^p_1$: 荷重の反転したループの塑性ひずみ振幅

$\Delta \varepsilon^p_2$: 荷重の反転点から単調載荷曲線の一部をなす領域までの塑性ひずみ

$\Delta \varepsilon^p_b$: 荷重を反転させたループの遷移領域の塑性ひずみの大きさ

$\Delta \sigma$: 荷重の反転点から単調載荷曲線の一部をなす領域までの応力

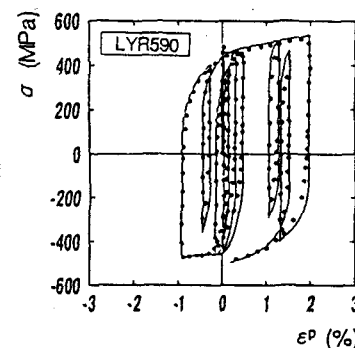
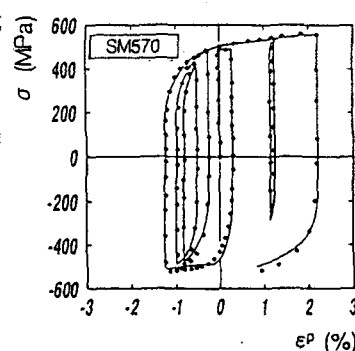
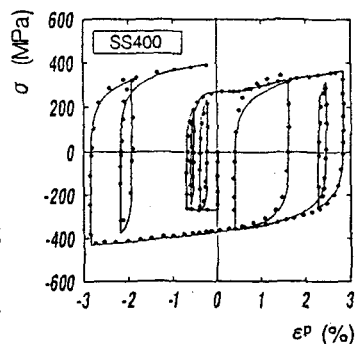


図-3

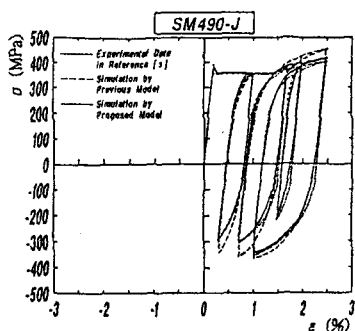


図-4

そして式(2)によって求まった $\Delta \varepsilon^p_a$ を非線形遷移領域の塑性履歴曲線を表現する以下の式の $\Delta \varepsilon^p$ の代わりに代入した式により非線形遷移領域で荷重の反転が起こった時の塑性履歴曲線を表現することとした。

$$y = E'_0 x + (\Delta \varepsilon^p E'_0 - \Delta \sigma) \left(\frac{x}{\Delta \varepsilon^p} \right)^{m+1} \cdot \left\{ (1+m) \ln \left(\frac{x}{\Delta \varepsilon^p} \right) - 1 \right\} \quad (3)$$

3. 構成式の妥当性の検証

今回提案した構成式の妥当性を検証するため、構成式による数値シミュレーションとSS400, SM570, LYR590の実験データや既往の構成式との比較を行った。図-3に実験データとの比較を、図-4に既往の構成式との比較を行った結果を示す。既往の構成式としてShen・水野らの修正二曲面モデル³⁾をとりあげた。図-3より今回提案した構成式が実験データを精度良く再現していることが、図-4より中程度のひずみの領域で応力を過大に評価してしまうという二曲面モデルの問題点を解決できていることが明かである。

4. 結論

単調載荷曲線を基にした構成式を開発し、実験データや既往の構成式との比較を行い、その妥当性を検証した。

【参考文献】

- [1] 西村宣男ら：各種鋼材の繰返し塑性履歴特性に関する実験的研究，鋼構造論文集，Vol. 1，1994年3月
- [2] 日本機械学会：金属材料疲労強度の資料IV，低サイクル疲労強度
- [3] Shen et al: Development of Cyclic Two-surface Model for Structural Steels with Yield Plateau, NUCE Reserch Report, No. 9302, March, 1993.