

繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式

大阪大学大学院 学生員 小野 潔

大阪大学大学院 学生員 池内智行

大阪大学工学部 正 員 西村宣男

1. はじめに

鋼構造物が地震力など繰り返し作用を受け大きな塑性変形を生じる場合の塑性変形挙動を把握するためには、鋼材の繰り返し塑性履歴を精度良く表現できる構成式が必要となってくる。本研究においては鋼材の繰り返し引張・圧縮試験を行い鋼材の繰り返し履歴特性を把握し、その実験結果をもとに一軸状態での鋼材の精度の良い構成式の開発を試みた。

2. 繰り返し引張圧縮試験

鋼材の繰り返し塑性履歴特性を調べるため、ひずみの履歴を数々変えて繰り返し引張・圧縮試験を行った。その一例として、一定ひずみ振幅を与えた場合の真応力-塑性ひずみの測定値を図-1に示す。

3. 構成式弾性域の減少

鋼材が繰り返し塑性履歴を受けると塑性ひずみの振幅が増大すると共に弾性域は減少と言われている。最大塑性ひずみ振幅とその時の弾性域の大きさ κ を初期の弾性域の大きさ κ_0 ($=2\sigma_y$) で除して無次元化したものの関係を調べてみたところ図-2の様になった。図-2からもわかるように弾性域は最大塑性ひずみ振幅が1%ぐらいまでのうちに急激に減少し一定値に近づくことがわかる。そこで繰り返し塑性履歴に伴う弾性域の減少を以下のような式によって考慮することとした。

$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{1-b}{(1+\Delta\varepsilon^p_{\max})^m} + b \quad (3.1)$$

ここで $\Delta\varepsilon^p_{\max}$ は最大塑性ひずみ振幅

降伏棚の挙動

図-3の様に降伏棚上で荷重を反転させた場合、反転させたループにおいても降伏棚が現れる。降伏棚上で荷重を反転させない単調載荷時の降伏棚の長さ a と降伏棚上で荷重を反転させたときに現れる降伏棚を合計した長さ $(a+b)$ を比較したところほぼ等しくなった。そこで降伏棚上で荷重を反転させても、それらの降伏棚の合計の長さが単調載荷時の降伏棚の長さ a に達するまで降伏棚の挙動をすることとした。

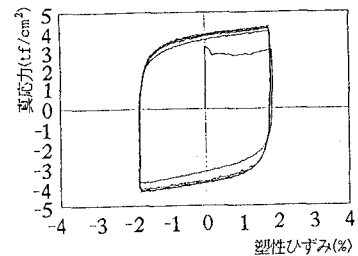
ひずみ硬化以降の構成式

図-1 実験結果

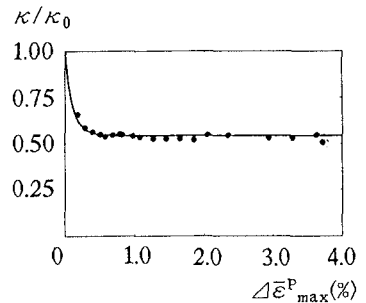


図-2 弾性域の減少

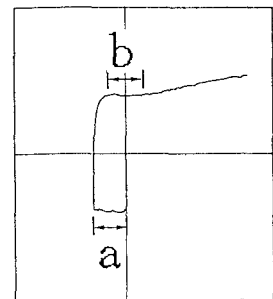


図-3 降伏棚の挙動

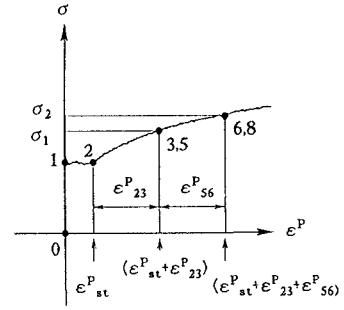
著者らは、今までDafalias-Popovや水野らの二曲面モデルを基に繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式の開発を試みてきた。その過程で、ひずみ硬化開始点から境界線に達するまでのひずみの小さい領域で応力が高くなりすぎてしまうこと、境界線の決定の仕方が一意的でなく境界線の決定の仕方によって境界線の傾きや切片の値がかなりばらついてくることがわかった。そこで、単調載荷時の曲線自体を境界線と考えた構成式の開発を試みた。図-4(a),(b)にその概念を示す。図-4(b)における点0~8は図-4(a)の点0~8に対応している(4,7は除く)。図-4(b)において、一軸状態における真応力-塑性ひずみ関係を0-1の様な弾性域、1-2の様な降伏棚、ひずみ硬化以降については2-3,5-6,8以降の様な単調載荷時の曲線に準ずる領域、3-5,6-8の様な遷移領域領域に分け、更に遷移領域を3-4,6-7の様な弾性域と4-5,7-8の様な非線形領域に分ける。例えば点3で除荷したとする。除荷が進み点5で応力の大きさが点3の応力(σ_1)に達すると、それ以降は図-4(a)の点5以降を進む様な挙動を示し再載荷が起こるまでの5-6は図-4(a)の5-6と等価であるとし、点5における接線の傾きが点3の傾きと等しいと仮定した。ここで、ある応力で荷重を反転させた時に再びその応力に達するまでの塑性ひずみの返し量を把握する必要がある。ある応力に対応するひずみ硬化開始点を原点としたときの塑性ひずみ $\bar{\epsilon}^p$ (σ_2 なら $\epsilon^{p_{23}} + \epsilon^{p_{56}}$)と、その時の塑性ひずみの返し量($\Delta \epsilon^{p_{78}}$)の関係を調べたところ図-5の様な線形の関係がみられた。そこで、この関係と実験データから求めた単調載荷曲線を使い単調載荷曲線に準ずる領域のシミュレーションを行い実験結果と比較したところ、図-6のように良好な対応が得られた。

4. 結論

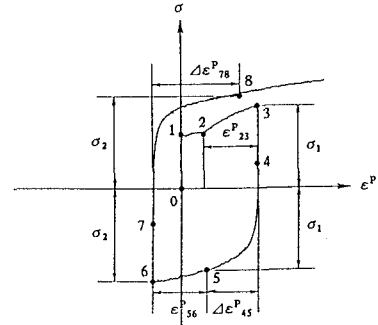
繰り返し引張・載荷試験を行い、弾性域の減少、降伏棚の挙動を調べ、ひずみ硬化以降の領域について単調載荷曲線を境界線として定義した構成式を仮定し、その妥当性を示した。

《参考文献》

- 1) Dafalias, Y. F. and Popov, E. P. : Plastic internal variables formalism of cyclic plasticity, Journal of Applied Mechanics, ASME, Dec, 1976
- 2) Shen, C., Mizumo, E. and Usami, T. : Further study on two-surface model for structural steels under uniaxial cyclic loading, Structural Eng/Earthquake Eng., Vol.9, No.4, pp257-260, January 1993.



(a)



(b)

図-4 モデルの概略図

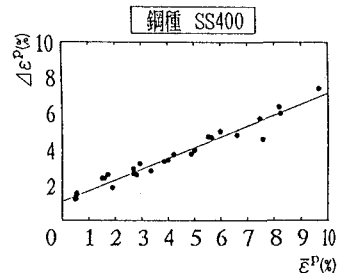


図-5 $\bar{\epsilon}^p$ と $\Delta \epsilon^p$ との関係

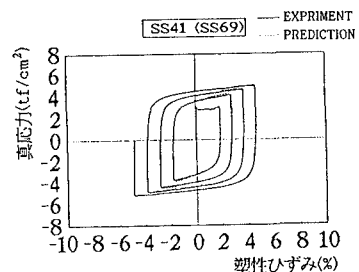


図-6 実験結果との比較