

## 繰返し応力を受ける鋼材の曲線履歴型モデル その 4 実験概要および材料特性値の同定

正会員 ○貞末 和史\*<sup>1</sup> 同 笠井 和彦\*<sup>2</sup>  
同 山崎 久雄\*<sup>3</sup> 同 小野 喜信\*<sup>4</sup>  
同 金子 洋文\*<sup>5</sup>

曲線モデル 降伏判定関数 Menegotto-Pinto モデル  
応力-歪関係 歪振幅依存性

### 1. はじめに

本報では、前報(その 3)で提案した曲線型履歴モデルの解析精度を検証するために行った実験の概要について報告する。また、得られた実験結果を用いて、提案した構成則モデルに用いる計算パラメータ(材料特性値)を同定する方法について述べる。

### 2. 実験概要

本研究では、建築構造用鋼(SN400B, SN490B)と低降伏点鋼(LY100, LY225)の計 4 種について載荷実験を行い、様々な載荷履歴に対する応力-歪関係を確認する。

#### 2.1 試験片

試験片製作に用いる材料は、SN400B, SN490B, LY225 については板厚 19mm, LY100 については板厚 25mm の鋼板を用い、所定の形状に試験片を切り出した。なお、SN400B と SN490B については、試験区間平行部 17mm (6φ), LY100 と LY225 については試験区間平行部 17mm (8φ) の円柱型試験片とした。試験片形状を図 1 に示す。

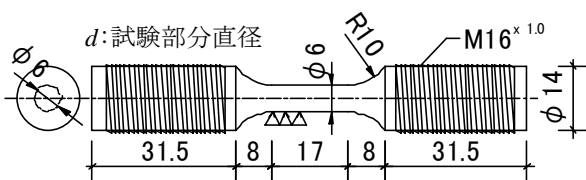


図 1 円柱型試験片形状 (単位:mm)

#### 2.2 試験機および軸伸びの計測

試験機は最大荷重 20kN の油圧サーボ式疲労試験機を用い、荷重  $P$  (引張を正とする) は試験機と試験片の間に設置したロードセルにより計測した。軸伸びは試験片中央 6mm の区間  $l_0$  の変位  $\delta$  (伸びを正とする) を軸伸び計によって計測した。以後、真応力  $\sigma$ 、真歪  $\varepsilon$  を次式で算出する。

$$\sigma = 4P / (\pi d^2) \cdot \delta / l_0 \quad (1a)$$

$$\varepsilon = \ln(\delta / l_0) \quad (1b)$$

#### 2.3 載荷方法

図 2 に本実験で用いた載荷履歴を示す。載荷履歴は、一定振幅 ( $\pm 0.2\%$ ,  $\pm 1.0\%$ ,  $\pm 3.0\%$ )、漸増振幅、漸減振幅、シフト波形振幅 (3 種類)、ランダム波形振幅の 9 種類

である。なお、提案する構成則モデルは最大歪  $\pm 3.0\%$  を適用範囲と設定しているため、本実験で行う最大の歪振幅は  $\pm 3.0\%$  とする。

ランダム波形振幅以外の載荷について、載荷歪速度は  $0.0001/\text{sec}$  とした。ランダム波形振幅については、最大歪が  $3.0\%$ 、速度波形の二乗和平均が  $0.0001/\text{sec}$  となるように基準化した載荷履歴を用いた。

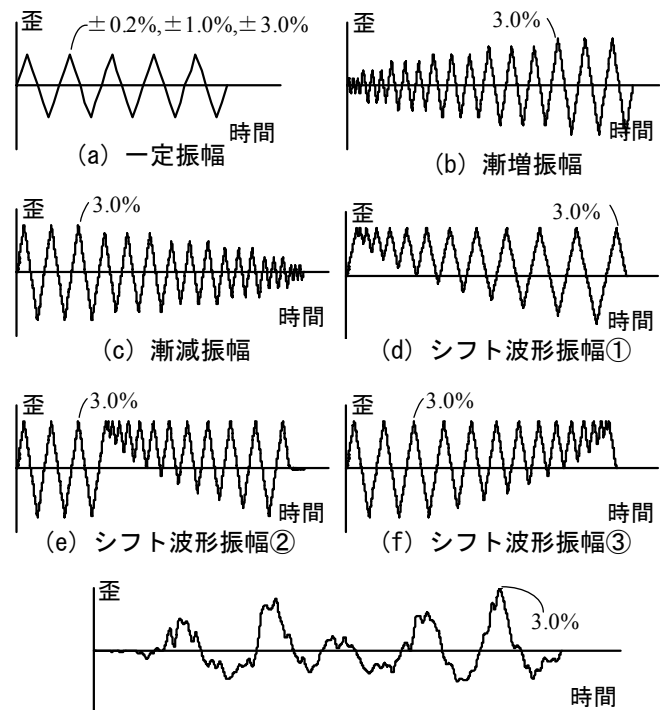


図 2 載荷履歴

### 3. 提案モデルの材料特性値同定方法

提案する構成則モデルを用いて、鋼材の応力-歪関係を計算するには、前報(その 3)で示した、①降伏判定双曲線関数と、②Menegotto-Pinto モデル、に用いる材料特性値を定める必要がある。以下に材料特性値の同定方法を述べる。

#### 3.1 降伏判定点と降伏判定双曲線関数

降伏判定双曲線は漸増載荷の実験値を用いて構築する。降伏判定点は、漸増載荷における各振幅 3 サイクル目の

ループを用いて、正歪領域での反転点を通り 2 次剛性の傾きを有する直線と、負歪領域での反転点を通り 1 次剛性の傾きを有する直線の交点として算定する。ここで、 $\pm 0.5\% \sim \pm 3.0\%$  の各振幅について降伏判定点が得られるが、この降伏判定点を結ぶ曲線を前報 (その 3) の (5b) 式で近似したものが降伏判定双曲線関数となる。なお、いずれの振幅とも 1 次剛性は処女載荷時の弾性剛性、2 次剛性は  $\pm 3.0\%$  振幅時の 2 時剛性を用い、2 次剛性は文献<sup>1)</sup>の方法を用いて算定できる。

### 3.2 Menegotto-Pinto モデル

Menegotto-Pinto モデルのパラメータ  $R_0, a_1, a_2$  の同定は、まず、各振幅で  $R$  を求めるが、これは前報 (その 3) の (1) 式に適当な数値を入れ、モデルと実験結果の履歴形状を比較しながらの試行錯誤か、最小二乗法を用いる。特に  $R_0$  は、材料が最初に降伏する際の  $R$  に相当する。振幅毎に  $R$  が求められたなら、反転点から経験点までの塑性変形量である  $\xi$  も得られる。一定振幅載荷であれば、 $\xi$  はある振幅範囲での塑性変形量である。前報 (その 3) の (4) 式より、 $\xi$  が十分大きい場合  $R = R_0 - a_1$  とみなせるため、最も大きな振幅範囲での実験結果を参照して、 $a_1 = R_0 - R$  である。さらに  $\xi = a_2$  である場合、(4) 式より  $R = R_0 - a_1/2$  であるから、各振幅での実験から  $R = R_0 - a_1/2$  を満たす  $\xi (= a_2)$  を同定する。

### 3.3 同定した材料特性値

図 3 に降伏判定双曲線の一例、表 1 に 4 種材料の材料特性値一覧を示す。実験から得られる降伏判定点は材料種別によって大きく異なるが、上述した方法で同定した材料特性値  $\sigma_d, S, Q$  を用いることで適切な降伏判定双曲線を構築することができる。

### 4. 提案する曲線履歴型モデルの検証

図 4 に漸増振幅の載荷履歴による実験値 (点線) と提案した構成則モデルによる計算値 (実線) の比較を示す。実験

と解析を比較してわかるように、提案した構成則モデルの解析精度は極めて良好であることがわかる。

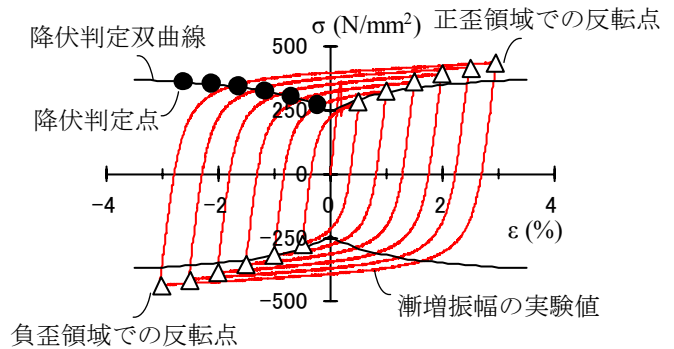


図 3 降伏判定点と降伏判定双曲線 (SN400B)

表 1 材料特性値一覧

|                                 | SN400B | SN490B | LY100  | LY225  |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $E_1$ (N/mm <sup>2</sup> )      | 205000 | 205000 | 205000 | 205000 |
| $\nu$                           | 0.0068 | 0.0093 | 0.0012 | 0.0010 |
| $S$ (N/mm <sup>2</sup> )        | 13000  | 10500  | 36000  | 7000   |
| $\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 245    | 320    | 50     | 190    |
| $Q$ (N/mm <sup>2</sup> )        | 150    | 165    | 235    | 190    |
| $R_0$                           | 40     | 40     | 17     | 40     |
| $a_1$                           | 38.1   | 38.1   | 15.2   | 38.1   |
| $a_2$                           | 0.005  | 0.0075 | 0.0075 | 0.007  |

### 5. まとめ

提案した曲線履歴型モデルを用いて、鋼材の応力-歪関係を計算するために必要な材料特性値を同定し、漸増載荷の載荷履歴に対する解析精度を示した。次報 (その 5) にて、さらに、様々な載荷履歴に対する提案モデルの解析精度を検証する。

#### 【参考文献】

- 1) 笠井和彦, 除養会: Experimental Parameter Study on Cyclic Inelastic Behavior of Bolted Angle Connections, 日本建築学会構造系論文集, 第 560 号, pp.169-179, 2002.10

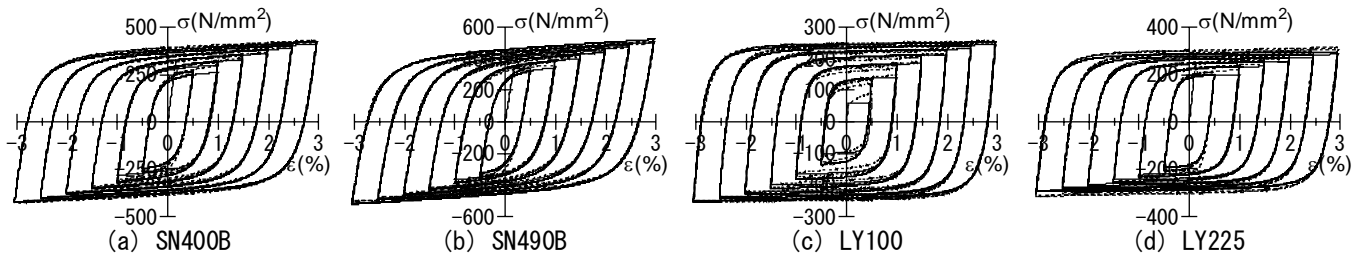


図 4 実験と解析の比較 (漸増振幅)

\*<sup>1</sup> 東京工業大学都市地震工学研究センター 研究員・博士(工学)

\*<sup>2</sup> 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph. D.

\*<sup>3</sup> ユニオンシステム(株) 振動解析プロダクト

\*<sup>4</sup> (株)竹中工務店技術研究所 工修

\*<sup>5</sup> (株)竹中工務店技術研究所 工博

\*<sup>1</sup> Post-Doctoral Research Fellow, CUEE, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

\*<sup>2</sup> Professor, Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph. D.

\*<sup>3</sup> Dynamic Analysis Research Complex, Union System Inc.

\*<sup>4</sup> Research & Development Institute, Takenaka Corp., Dr. Eng.

\*<sup>5</sup> Research & Development Institute, Takenaka Corp., M. Eng.