

## 繰返し応力を受ける鋼材の曲線履歴型モデル その2 実験概要およびモデル化の検証

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

曲線モデル 降伏判定二次関数 Menegotto-Pinto モデル  
応力-歪関係 歪振幅依存性 静的載荷実験

### 1. はじめに

本報では、前報(その1)で提案した曲線型履歴モデルを検証するために、建築構造用鋼材(SN400B)を用いた繰返し載荷実験を行い、解析モデルによる計算値と比較検討する。また、提案した曲線型履歴モデルに用いる計算パラメータを実験結果から求める方法について述べる。

### 2. 実験概要

本研究では板厚 19mm の鋼材を切削して、材料試験用クーポン試験体と繰返し載荷試験用円柱型試験体を製作した。使用鋼材は SN400B 材である。

#### 2.1 試験体

クーポン試験体は 19mm 厚の試験体のほか、試験区間を板両面から掘り下げて 8mm 厚および 6mm 厚とした試験体を各 3 本づつ製作した。クーポン試験体の材料試験結果を表 1 に示す。

繰返し載荷試験用試験体は試験区間平行部 20mm で直径 6 の円柱型試験体を用いた。試験体形状を図 1 に示す。

#### 2.2 試験機および軸伸びの計測

試験機および軸伸びの計測を写真 1, 写真 2 に示す。荷重  $P$  (引張を正とする) は試験機と試験体の間に設置したロードセルにより計測し、軸伸びは試験体中央 10mm の区間  $l_0$  の変位 (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, 真歪 を次式により評価する。

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

$$\epsilon = \ln(l / l_0) \quad (1b)$$

#### 2.3 載荷方法

図 2 に本実験で用いた載荷履歴を示す。載荷履歴は単調引張, 一定振幅, 漸増振幅, 漸減振幅, ランダム振幅の 5 種類である。ランダム振幅以外の載荷について、載荷歪速度は 0.0001/sec. とした。ランダム振幅については、最大歪が 2.0%, 速度波形の二乗和平均が 0.0001/sec. (最大速度は 0.0007/sec.) となるように基準化した載荷履歴を用いた。

### 3. 解析モデルの計算パラメータ同定方法

降伏判定二次関数のパラメータの同定は一定振幅載荷や漸増振幅載荷の実験結果を用いる。まず振幅毎に、一

表 1 クーポン試験体引張試験結果

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏比	伸び (%)	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
19mm厚	260	418	0.62	52.5	205818
8mm厚	257	425	0.61	46.4	215435
6mm厚	260	423	0.61	41.5	215958
平均	259	422	0.61	46.8	212403

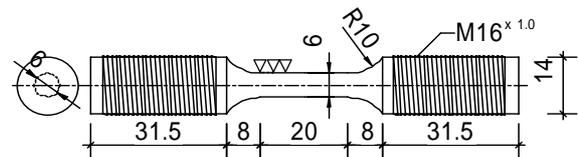


図 1 円柱型試験体形状 (単位:mm)



写真 1 試験装置



写真 2 軸伸びの計測

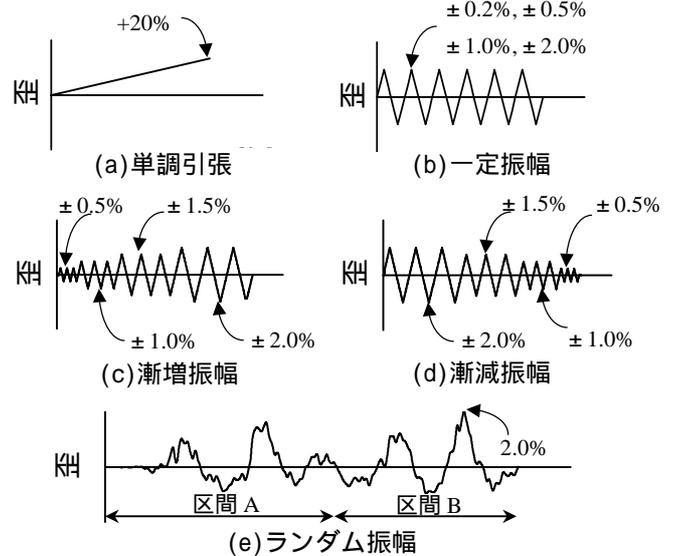


図 2 載荷履歴

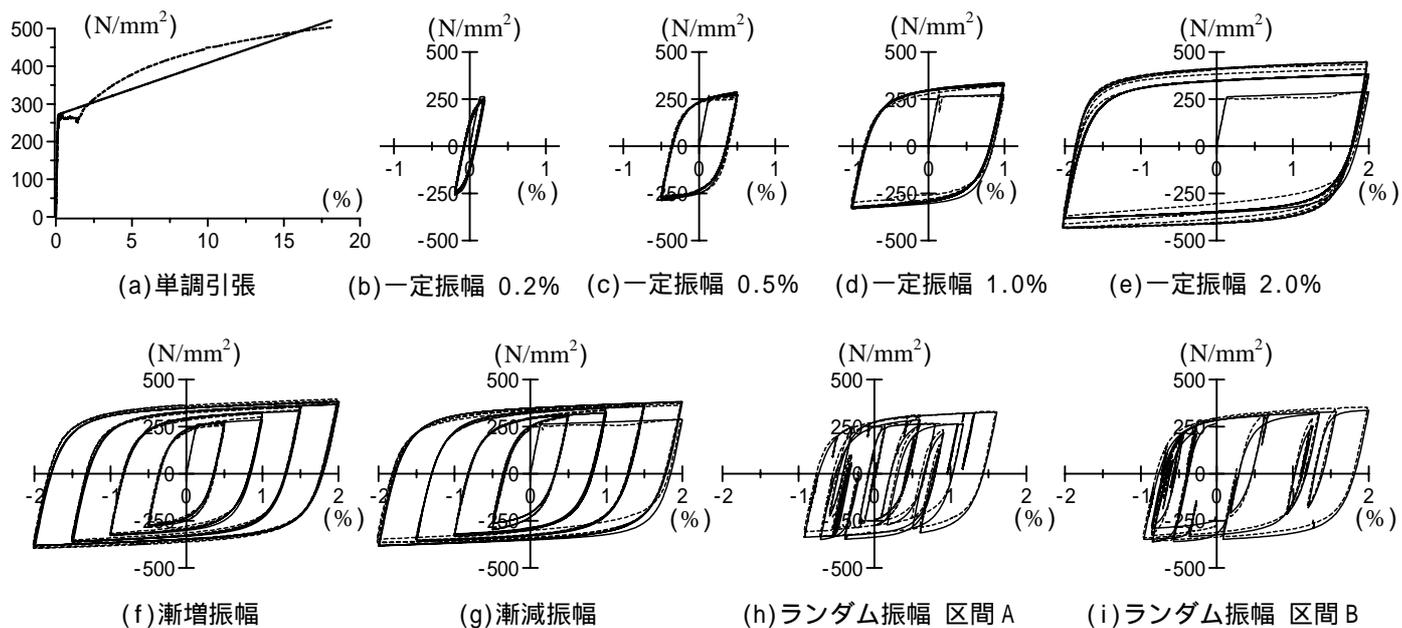


図3 実験と解析の比較 (真応力-真歪関係)

次剛性および履歴曲線が漸近するように二次剛性を決定する。また、入力として用いる二次剛性  $E_t$  は、最も大きな振幅範囲での実験結果を参照して設定する。一次剛性、二次剛性を表す 2 つの直線の交点が、各振幅での降伏点となる。これら折れ点 (降伏点) から、最小二乗法を用いてパラメータ  $a_2$ ,  $a_1$ ,  $a_y$  が同定できる。

曲線形状係数のパラメータ  $R_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  の同定は、まず、各振幅で  $R$  (前報(その 1)の式(2)) を求めるが、これは式(2)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こととなる。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  $R$  が求められたならば、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。一定振幅荷重であれば、 $\xi$  はある振幅範囲での塑性変形量である。

前報(その 1)の式(5)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、式(5)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。

以上に述べた方法を用いて、SN400B 材に関する解析モデルの計算パラメータを以下の値とした。

$$E_c=205000(\text{N/mm}^2), E_t=1390(\text{N/mm}^2), a_2=-0.4, a_1=50$$

$$a_y=250(\text{N/mm}^2), R_0=40, a_1=38, a_2=0.009$$

#### 4. 提案する曲線履歴型モデルの検証

図 3 に載荷実験の結果(点線)と提案したモデルによる解析値(実線)との比較を示す。実験と解析の対応は良好だが、一定歪振幅 2.0%での 4 サイクル目以降やランダム載荷時など、実験と解析がやや一致していないことも認められる。

#### 5. まとめ

繰返し応力を受ける鋼材の構成則として提案した曲線履歴型モデルを検証するために、SN400B 材を用いた載荷実験を行い、さらにモデルにおける入力パラメータの同定方法について述べ、提案したモデルの精度を示した。

#### 【参考文献】

- 1) 小野 他：鋼材ダンパーの解析アルゴリズムとサブルーチン，パッシブ制振構造シンポジウム 2001, pp.163 - 170, 2001.12
- 2) 山崎 他：制振構造の応答性状に及ぼすダンパーモデルの影響 その 1，パッシブ制振構造シンポジウム 2002, pp.151 - 155, 2002.12
- 3) 山田 他：動的繰返し載荷実験結果に基づくダンパー用鋼材の履歴特性の評価，日本建築学会構造系論文集，第 553 号，pp.121-128, 2002.3
- 4) 金子 他：幅厚比の小さい極低降伏点鋼せん断パネルの力学特性，日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造，pp.743-746, 1997.9
- 5) F.C. Filippou 他：Effects of Bound Deterioration on Hysteretic Behavior of Reinforced Concrete Joints, Report No. UCB/EERC-83/19, University of California, Berkeley, 1983.8
- 6) Kasai K. 他：A Study of Seismically Resistant Eccentrically Braced Steel Frame Systems, Report No. UCB/EERC-86/01, University of California, Berkeley

\*1 東京工業大学 VBL 研究員・博士(工学)

\*2 東京工業大学 建築物理研究センター 教授・Ph. D.

\*3 (株)竹中工務店 技術研究所 工修

\*4 (株)竹中工務店 技術研究所 工博

\*5 ユニオンシステム(株) 振動解析プロダクト

\*1 Researcher, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

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

\*3 Research & Development Institute, Takenaka Corp., Dr. Eng.

\*4 Research & Development Institute, Takenaka Corp., M. Eng.

\*5 Dynamic Analysis Research Complex, Union System Inc.