

大阪大学大学院 学生員○市村賢太郎

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

我国は、環太平洋地震帯に属し世界の中でも地震の頻発する地域である。本年1月17日に発生した兵庫県南部地震においては、阪神地域に大災害をもたらした。このような状況下において土木構造物の制振構造化の研究が至急の課題となっている。本研究においては、地震による履歴型の振動エネルギーを降伏点が低く塑性変形能力の高い極低降伏点鋼に吸収させる吸振装置を開発するにあたり、その材料特性を把握するために鋼材の繰り返し塑性履歴実験を行い、先に本研究室で開発した鋼材の構成式¹⁾の材料定数を定めることを目的とする。

2. 構成式の概要

本研究室で開発した構成式は単調載荷曲線に準ずる部分、弾性遷移領域、非線形遷移領域から成っている(図-1)。

単調載荷部分

$$\sigma = \ln \left(\frac{\varepsilon^{p*mon}}{b} + 1 \right) + \left(E^{p,1} - \frac{a}{b} \right) \varepsilon^{p*mon} + \sigma_y \quad \dots (1)$$

ここに、 ε^{p*mon} : ひずみ硬化開始点を原点とした

単調載荷曲線上の塑性ひずみ

$E^{p,1}$: ひずみ硬化勾配

σ_y : 降伏点応力度

弾性遷移領域

$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{1-c}{(\Delta \varepsilon^{pmax} + 1)^n} + c \quad \dots (2)$$

ここに、 κ : 弾性域の大きさ

κ_0 : 初期弾性域の大きさ

$\Delta \varepsilon^{pmax}$: 最大塑性ひずみ振幅

非線形遷移領域

$$\Delta \varepsilon^p = \frac{e}{d} \sqrt{(\varepsilon^{pmon})^2 + 2d\varepsilon^{pmon}} \quad \dots (3)$$

$$m = \frac{f}{\varepsilon^{pmon} + \{1 + \exp(g)\}f} - 1 \quad \dots (4)$$

ここに、 $\Delta \varepsilon^p$: 遷移領域の塑性ひずみの大きさ

ε^{pmon} : 単調載荷曲線上の塑性ひずみ

m : 非線形遷移領域の曲率

3. 極低降伏点鋼の材料定数の決定

式(1)～(4)に含まれる材料定数を決定するために単調載荷実験、バウシinger効果による弾性域の減少を調べる実験、非線形遷移領域に関する両振り実験¹⁾を行った。単調載荷実験から得られたデータに式(1)を回帰したものを用いて図-2に示す。また、弾性域

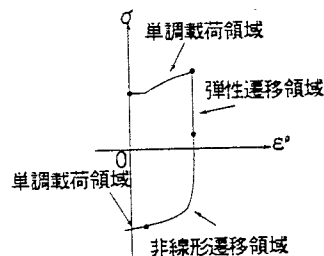


図-1 構成式の概要

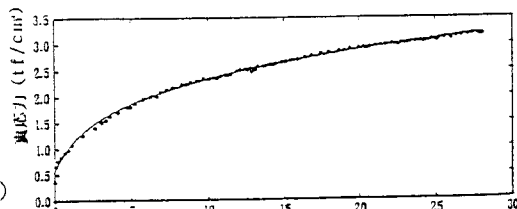


図-2 単調載荷曲線 塑性ひずみ (%)

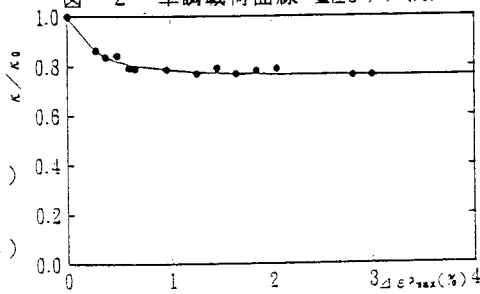


図-3 Δε^pmaxとκ/κ0の関係

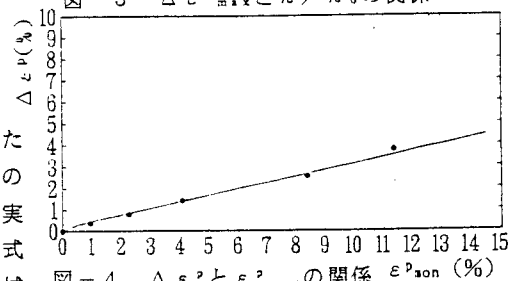


図-4 Δε^pとε^pmonの関係 ε^pmon (%)

Kentaro ICHIMURA, Tomoyuki IKEUCHI, Nobuo NISHIMURA

の減少を調べる実験から得られた最大塑性ひずみ $\Delta \varepsilon^p_{max}$ と弾性域の大きさ κ に式(2)を回帰したものを図-3に示す。さらに両振り実験から得られた遷移領域の大きさ $\Delta \varepsilon^p$ と単調載荷曲線上の塑性ひずみ ε^p_{mon} に式(3)を回帰したものを図-4に、ひずみ硬化開始後の各ループの ε^p_{mon} と非線形遷移領域の曲率 m に式(4)を回帰したものを図-5に示す。以上の回帰により得られた定数を表-1に示す。

次に、実験結果からみる極低降伏点鋼の材料特性を示す。

- 1) 単調載荷曲線において降伏応力度が極めて低く降伏後のひずみ硬化が非常に大きいためエネルギー吸収に優れた安定した繰返し塑性履歴曲線を描く。また、破断までに50%以上の伸びを示す。
- 2) 他の鋼材に比べて e/d が小さいのである応力まで達して荷重を反転させた時、より少ない塑性ひずみの変化量で再びその応力に達し、塑性履歴に伴い応力が上昇しやすい。
- 3) 非線形遷移領域の曲率は他の鋼材に比べて大きい。

4. 極低降伏点鋼の繰返し塑性履歴実験

単調載荷実験、弾性域の大きさを調べる実験、両振り実験の3種類の実験だけから得られた定数を用いて極低降伏点鋼のその他の一般的な塑性履歴特性を精度良く再現できることを確認するために載荷パターンを変えて数種類の繰返し塑性履歴実験を行った。繰返し塑性履歴実験の載荷パターンとして原点を中心として正負のひずみを一定にして除荷載荷を繰返す1%の定ひずみ振幅実験、荷重をランダムに載荷するランダム載荷実験(図-6)を行った。これらの実験に見られる通り、極低降伏点鋼では、繰返し塑性履歴とともに応力の大きさが上昇していく繰返し硬化が顕著に現れており、エネルギー吸収に優れた鋼材であることが分かる。

図-6に定ひずみ振幅実験、ランダム載荷実験、両振り実験の構成式による数値シミュレーションを実線で示している。いずれの塑性履歴に対しても本研究の構成式によるシミュレーション結果が実験データを精度良く再現していることが分かる。

5. 結論

本研究では、材料定数を定めるための実験及び定ひずみ振幅実験、ランダム載荷実験を行うことにより、極低降伏点鋼がエネルギー吸収能力に優れた、制振材として活用するにふさわしい鋼材であることを明らかにすると同時に、本研究の構成式のこの鋼材への適用性を示した。

参考文献

- 1) 西村宣男, 小野潔, 池内智行, 新家 徹: 各種鋼材の繰返し塑性履歴に関する実験的研究 構造工学論文集, No 1, 1994

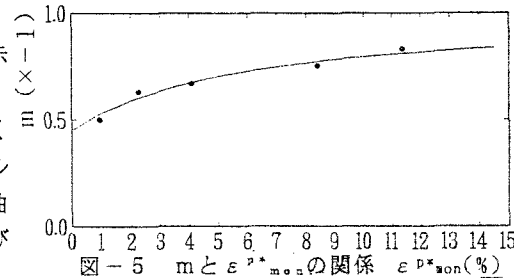


図-5 m と ε^p_{mon} の関係 $\varepsilon^p_{mon}(\%)$

$a, f/c, m^2$	b	c	n
0.638	0.901	0.763	3.50
d	e	f	g
0.822	0.239	3.252	-0.202

表-1 極低降伏点鋼の材料定数

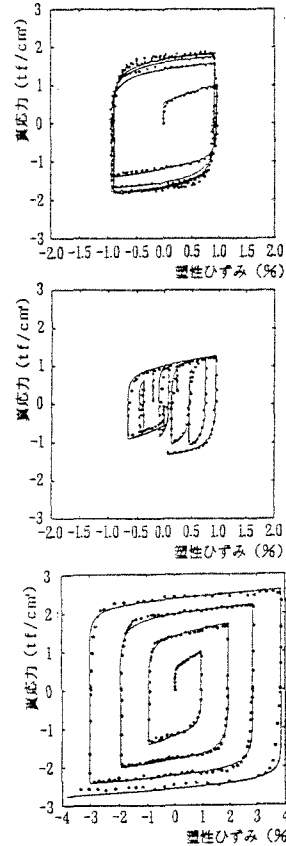


図-6 各種繰返し塑性履歴実験