

# 極低降伏点鋼パネルダンパーの歪み速度依存型履歴モデルに関する検討

東京都立大学大学院工学研究科 学 阿部 義  
 東京都立大学大学院工学研究科 正 長嶋 文雄

## 1. はじめに

極低降伏点鋼を用いたせん断型パネルダンパーのエネルギー吸収性能に関する実験的研究は、基本性能を調べる静的な実験の他に、最近ではより実際に近い状態の動的繰返し载荷実験<sup>2)</sup>も行われるようになって来ている。しかし歪み速度効果に関する検討例はまだ少なく、また有限要素フレームモデルによる動的応答解析に使う履歴曲線のモデル化に関しても静的実験によって検討されたものが殆どである。

本報告は、文献 2)の実験結果を参考にして、これを汎用有限要素動的解析プログラムである LS-DYNA を用いてシミュレーション解析し、有限要素法のフレームモデルによる動的応答解析に用いることのできるせん断型の極低降伏点鋼パネルダンパーのせん断歪み速度依存性を考慮した履歴モデルについて検討したものである。

## 2. 鋼製パネルダンパーの動的シミュレーション解析

文献 2)で用いられた、せん断型の極低降伏点鋼のリブ付きパネルダンパーを図 1 に示す。実験は単方向正弦波加振で、最大せん断変形角  $\gamma_{max}$  は 1/500~1/25rad、平均せん断歪み速度  $\dot{\gamma}_{ave}$  は 0.02~0.32(/sec)である。ここで、 $\gamma_{max}$  は図 2 に示す通りであり、 $\dot{\gamma}_{ave}$  は平均速度  $4D/T$  を高さ  $h$  で除したものとし、 $\dot{\gamma}_{ave} = 4D/Th$  と定義する。これらの条件を基に、汎用ソフトである LS-DYNA を用いた動的シミュレーション解析を行った。

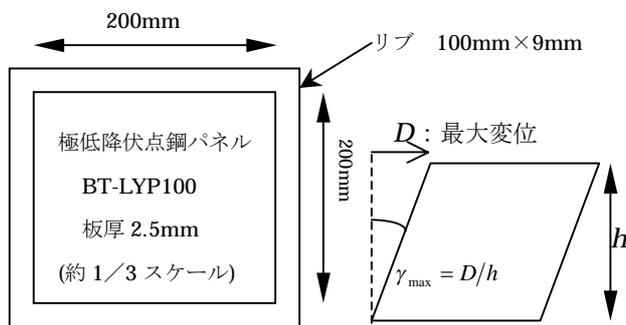


図 1 文献 2)で用いられたリブ付パネルダンパー

図 2 最大せん断変形角  $\gamma_{max}$

解析には、高速引張破断試験から得られた歪み速度効果を考慮した真応力-真歪み関係を用いた。パネルは 20×20mm のシェル要素、リブは 20×25×9mm のソリッド要素でモデル化した。尚、解析は 2 周期間行うことにした。

図 3 に実験結果と解析結果の比較を示す。解析結果の 2 周期目はパネルの塑性化の進行により、せん断変形角  $\gamma$  が零付近で面外座屈の発生位置が入れ替わる事による応力の低下が見られた。これは文献 1)、2)でも観察されており、载荷速度が増すにつれて目立たなくなる事が確認されている。

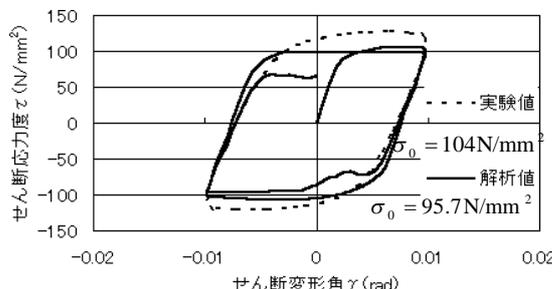


図 3 実験値と解析値の比較(D: 2mm, T: 1sec)

実験と解析の引張降伏応力  $\sigma_0$  の違いを考慮すると、両者は非常に良く似ている。

次に、静的降伏せん断応力度 ( $\tau_0 = \sigma_0 / \sqrt{3}$ ) を基準として、最大せん断応力度に関する動的応答倍率 ( $\tau_{max} / \tau_0$ )

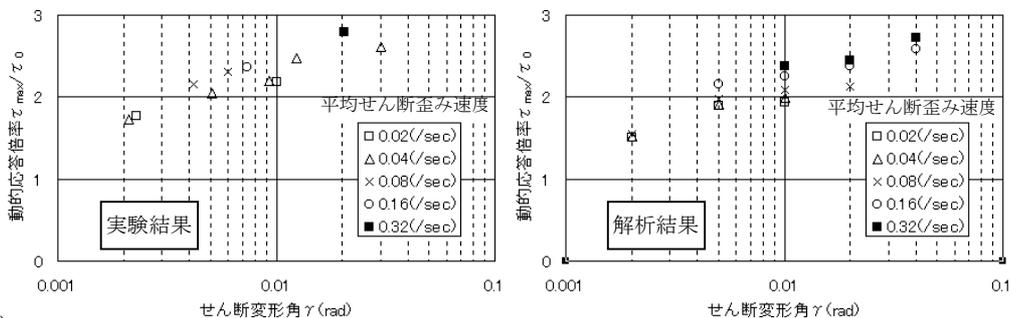


図 4 動的応答倍率とせん断変形角の関係

を求めた。実験結果と解析結果の比較をしたものが図 4 である。せん断変形角が大きくなるにつれて、また、平均せん断歪み速度が大きくなるにつれて動的応答倍率が上昇するが、その上昇傾向はよく合致している。以上のシミュレーション解析によって、ここで用いた解析手法・パラメータ・境界条件などの妥当性を確認することができた。

キーワード：極低降伏点鋼、歪み速度効果、せん断パネル、履歴型ダンパー、履歴曲線

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL:0426-77-1111 内(4531) FAX:0426-77-2772

### 3. 歪み速度効果を考慮した Ramberg-Osgood 型モデル

Ramberg-Osgood 型履歴曲線モデルの骨曲線は式(1)で、また履歴曲線は式(2),(3)で与えられる (表 1 参照)。

$$\frac{\gamma}{\gamma_y} = \frac{\tau}{\tau_y} + \alpha \left( \frac{\tau}{\tau_y} \right)^r \dots \text{式(1)}$$

$$\frac{\gamma + \gamma_{\max}}{2\gamma_y} = \frac{\tau + \tau_{\max}}{2\tau_y} + \alpha \left( \frac{\tau + \tau_{\max}}{2\tau_y} \right)^r \dots \text{式(2)}$$

$$\frac{\gamma - \gamma_{\max}}{2\gamma_y} = \frac{\tau - \tau}{2\tau_y} + \alpha \left( \frac{\tau - \tau}{2\tau_y} \right)^r \dots \text{式(3)}$$

係数  $\alpha$  と Ramberg 指数  $r$  がパラメータであり、これらを定める必要がある。何回かの試行の後、まず  $r$  を 14 と定めた。次に解析の  $\gamma - \tau$  関係の初期勾配から等価せん断弾性係数  $G_{eq}$  を求めた。さらに平均せん断歪み速度  $\dot{\gamma}_{ave}$  と降伏せん断応力度の相関式を求めた(図 5)。

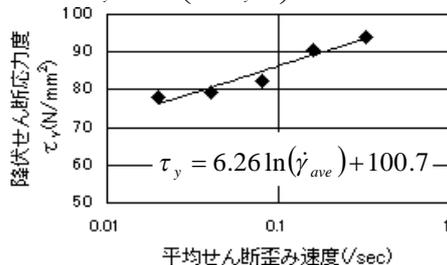


図 5 降伏せん断応力度を求める式

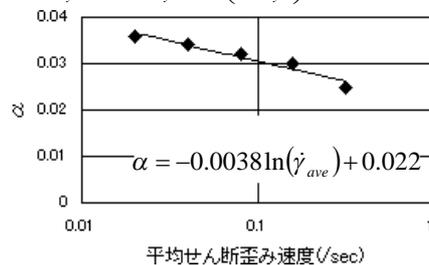


図 6 αを求める式

$\gamma_y$  は  $\tau_y$  と  $G_{eq}$  から求められる。最後に図 6 に示すように  $\dot{\gamma}_{ave}$  と  $\alpha$  の相関式を得た。

図 7 は 3 種類の平均せん断歪み速度について骨曲線を描いたものである。図 8 は、解析値と Ramberg-Osgood 型モデルの比較である。

表 1 Ramberg-Osgood 型モデル

$\frac{\gamma}{\gamma_y} = \frac{\tau}{\tau_y} + \alpha \left( \frac{\tau}{\tau_y} \right)^r$	$\gamma_y$ : 降伏せん断変形角(rad)
$\tau_y = 6.26 \ln(\dot{\gamma}_{ave}) + 100.7$	$\tau_y$ : 降伏せん断応力度(N/mm <sup>2</sup> )
$\alpha = -0.0038 \ln(\dot{\gamma}_{ave}) + 0.022$	$\dot{\gamma}_{ave}$ : 平均せん断歪み速度(1/sec)
$r = 14$	$D$ : 最大変位(mm)
$\dot{\gamma}_{ave} = \frac{4D}{Th}$	$T$ : 周期(Hz)
$\gamma_y = \tau_y / G_{eq}$	$h$ : パネルの高さ(mm)
	$G_{eq}$ : 等価せん断弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )

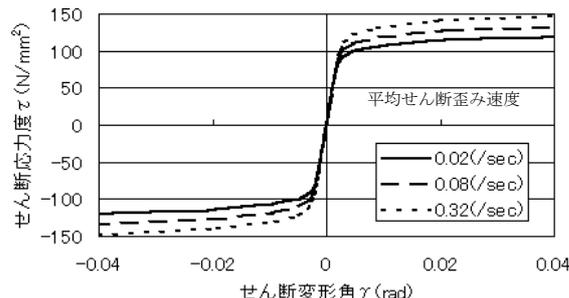


図 7 平均せん断歪み速度の違いによる骨曲線の変化

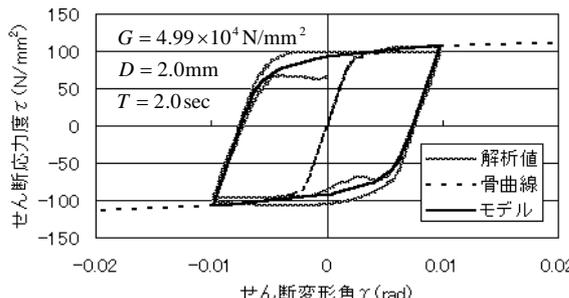


図 8 Ramberg-Osgood によるモデル

### 4. パネルダンパーの形状効果に関する検討

幅厚比 80、200×200mm の正方形リブ付きパネルダンパーを基本形とし、形状効果に関する検討を解析的に行った。板厚を 2 倍にしたところ  $\gamma - \tau$  関係はほとんど変わらなかったため、せん断力-変位関係は板厚と線形関係にあると考えてよい。図 9 に示すようにパネルを組み合わせる解析を行った結果が図 10、11 である。図 10 のように、縦長になると吸収エネルギーは漸減し、履歴は紡錘形に近づく。これは、曲げの影響であると思われる。一方、図 11 は、縦/横=1.5 以下の組み合わせであるが、ほぼ同じ履歴曲線を示している。したがって、パネルの組み合わせは、横長にするか、縦長の場合でも縦/横=1.5 以下とすると効率が良い。

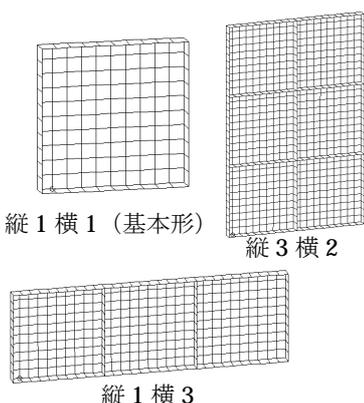


図 9 パネルの組み合わせ

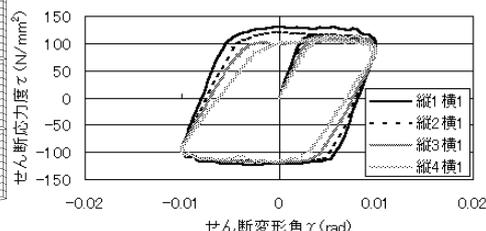


図 10 組み合わせによる  $\gamma - \tau$  関係 1

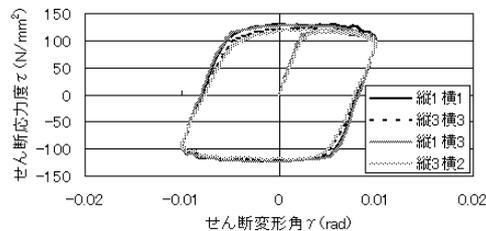


図 11 組み合わせによる  $\gamma - \tau$  関係 2

5. まとめ 極低降伏点鋼せん断型ダンパーの歪み速度依存型数値解析モデルについて解析的な検討を行い、橋梁等のフレームモデルによる動的応答解析に使用可能な履歴型の数値解析モデルを提案した。今後は、繰返し載荷時の減衰性能の劣化特性についても詳しく検討し、これらの影響を考慮した数値モデルを完成させるつもりである。

[参考文献] 1) 例えば、田中・佐々木：極低降伏点鋼を用いた制震パネルダンパーの静的履歴減衰性能に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 509 号、1998. 2) 佐藤・和田他：低降伏点鋼せん断パネルの動的加力実験、建築学会大会概要集、1999.