

## 摩擦体を用いた新しい地震エネルギー吸収部材の開発とその有効性の検討

社会環境工学科 山尾 敏孝

### 1. はじめに

建造物の振動を低減するための減衰装置として、粘性型、摩擦型、塑性型があり、多くの製品が開発されている。ここで開発する減衰装置は安価で容易に製作できること、従来の減衰装置に比べて小型でエネルギー吸収が大きな減衰装置であることを特徴としている。本研究では、提案する変位比例の摩擦力型の減衰装置の基本性能について実験により確認することを主目的とした。既存の試験機を用いて、繰り返し荷重载荷が可能な試験装置を製作して減衰装置を取り付け、繰り返し载荷実験を行い、減衰装置の基本性能を確認する。また、実験結果より装置の形状などを検討し実験を繰り返し行うことで制震装置としての有効性や実用性を検討した。

### 2. 変位比例摩擦力型減衰装置の概要

開発する変位比例摩擦力型減衰装置は、図1に示すように、左右対称な傾斜を有するシリンダ内部と摩擦体を有するピストンから構成される。左右の摩擦体はロッドで連結されており、左右の摩擦体の間にはカラーを入れている。減衰装置の荷重と変位の関係より、図2に示すような荷重—変位履歴曲線を描くことができる。つまり、シリンダと摩擦体の形状・材料を以下のように定義する。摩擦体がシリンダの中央から右側に距離  $u$  だけ移動した状態を考えると、シリンダ内径  $b$ 、摩擦体の内径  $a$  の等厚肉シェルと考え、摩擦体のヤング率とポアソン比をそれぞれ  $E$  と  $\nu$  とすると、ピストンに作用する荷重  $F$  と変位  $u$  の関係は次式で求まる。

$$F = i\mu kAu \quad (1)$$

$$k = \frac{E}{b(1-\nu^2)} \left( \frac{a^2+b^2}{b^2-a^2} + \nu \right) \quad (2)$$

勾配、 $A$  はピストン外周部の面積  $A = 2\pi bd$ 、 $\mu$  は摩擦体の摩擦係数である。

### 3. 繰り返し载荷実験

本研究の減衰装置に使用した摩擦体は、産業機械用のライニングやプレス用のブレーキに使用されるゴムを素材としたものを選択した。この材料は摩擦係数が0.33であり、繰り返しの摩擦に強く摩擦体としての形状安定性を確保できるものである。図3は今回使用した摩擦体の加工概略図である。摩擦体の圧縮試験を行った結果より、ヤング率は  $0.0054 \times 10^6 \text{ kg/mm}$  であった。

本研究で開発する変位比例摩擦力型減衰装置は、図

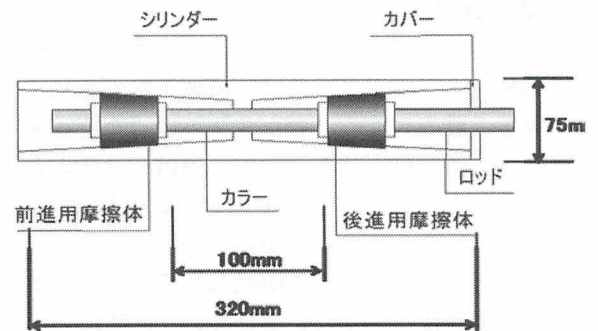


図1 変位比例摩擦力型の減衰装置

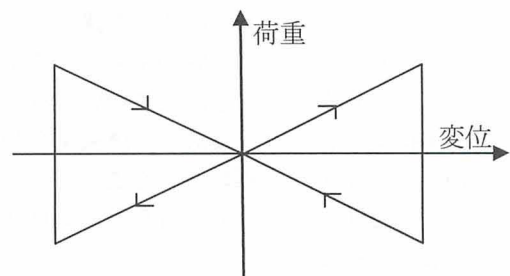


図2 荷重—変位履歴曲線

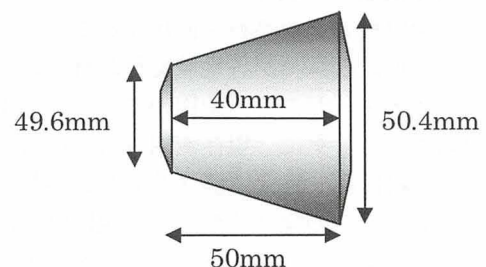


図3 摩擦体の概略断面

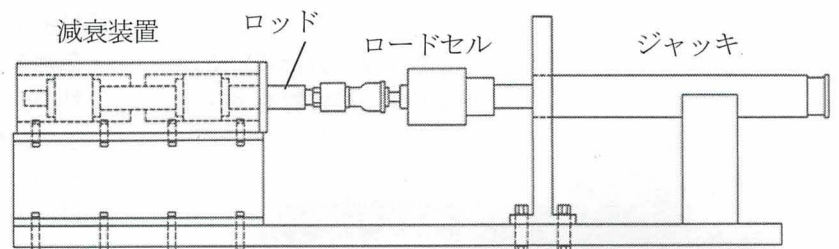


図4 減衰装置を取り付けた载荷試験機

1に示すように、左右対称な傾斜を有するシリンダ内部と摩擦体を有するピストンから構成される。左右の摩擦体はロッドで連結されており、シリンダ内部、摩擦体はシリンダ中央に向かって狭くなるように傾いている。このロッドが右側に引張られると前進用摩擦体、左側に押されると後進用摩擦体にシリンダからの圧力と摩擦力が加わり、変位に比例して大きな軸力が作用することになる。また、作用する力に比例して変位す

ることによりエネルギーを吸収し、減衰効果を発揮する。この減衰装置は、シリンダ内部のテーパ角度と摩擦体の材料を変化させることにより種々の復元力特性を有する減衰装置の製作が可能であることに特徴がある。図4は、減衰装置と油圧ジャッキ、変位計、ロードセルを取り付けた载荷装置を示したものである。提案した減衰装置の基本性能を確認するため以下の項目について実験を実施した。

- 1) カラーと摩擦体の関係が履歴曲線に及ぼす影響
- 2) 摩擦体の形状が履歴曲線に及ぼす影響
- 3) 摩擦体の摩擦係数が履歴曲線に及ぼす影響

#### 4. 結果と考察

##### (1) カラー位置が履歴曲線に及ぼす影響

カラーの長さやカラーと摩擦体との関係の一例を、図5の荷重-変位履歴曲線に示す。小さい荷重、特に1000Nまでの部分で大きく挙動に影響してくることが分かった。荷重と変位が比例関係を持つためには、摩擦体が初圧力を受けない状態でカラーが摩擦体に接することが必要であることが得られた。また、図で最後の部分で荷重、変位ともに値が0に戻らなかったのは、油圧ジャッキの性質上、引張の速度が速かったために静的測定機では値を追うことができなかったものと考えられる。

##### (2) 摩擦体の形状が履歴曲線に及ぼす影響

摩擦体を調整した後の試験結果を図6に示す。試験は、①削る前の摩擦体、②サンドペーパーで薄く削った摩擦体、③さらに削り、前進用摩擦体と後進用摩擦体を入れ替えて行った。試験結果より、摩擦体を削ったことにより剛性が変化し、履歴曲線の変位量が大きくなり、多様な曲線を作りだせる可能性がある。

図7は式(1)により求めた理論値(赤字)と実験値を比較した結果であり、理論値との傾きが大きく異なった。理論値の算出に影響するのは、テーパ角度、動摩擦係数、表面積、ヤング率、ポアソン比、そして摩擦体の外形と内径である。ここではシリンダに当たっている摩擦体の表面積が、片当たりしていると予測した。理論値の表面積をAとした時、実験結果での荷重変位履歴曲線の傾きが理論値の約1/10のとき良く対応した結果となった。

##### (3) 摩擦体の摩擦係数が履歴曲線に及ぼす影響

摩擦体の摩擦係数が履歴曲線にどのように影響しているのか確認するため、摩擦体の表面にチョークを塗布した実験実施した。チョークの粉によって摩擦体表面の摩擦係数が小さくなると考えられ、摩擦体が滑りやすくなることがわかった。図8は減衰装置を精度よく仕上げたものを使用した実験結果である。シリンダには誤差はなく、前進用摩擦体にのみ直径+0.1mmの

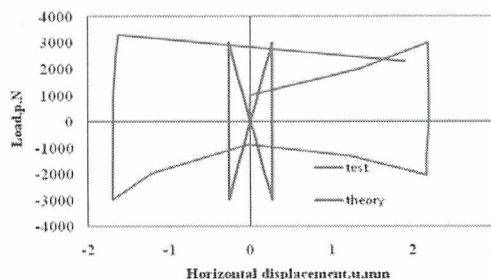


図5 荷重-変位履歴曲線

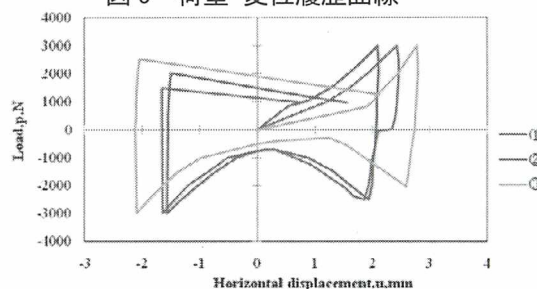


図6 摩擦体を削った場合の履歴曲線

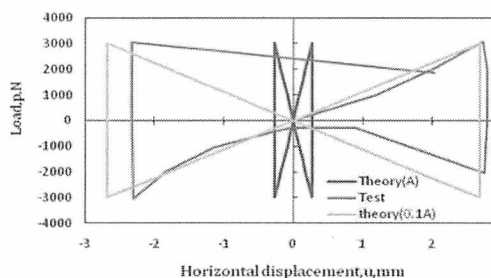


図7 理論値と実験値の比較

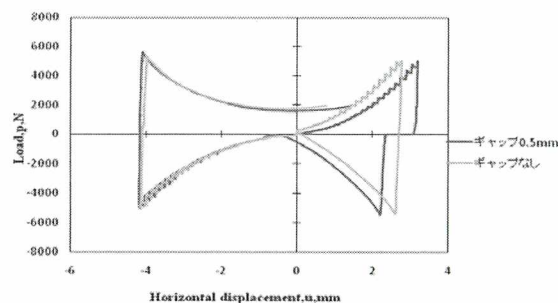


図8 精度を上げた減衰装置の履歴曲線

誤差があった。また、カラーと摩擦体の間に0.5mmのギャップがある場合とない場合で動的測定機を用いて実験を行った結果である。左右で変位量が相違しているものの再現性もあり、かなりよい挙動が得られた。

#### 5. まとめ

内部に傾斜を持つシリンダとその傾斜角度と同じテーパを持つ摩擦体を用いた変位比例摩擦力型減衰装置の開発と、その基本性質を種々の実験により確認した。微小な製作誤差で結果に差が出るため、実用化を考えるにあたってシリンダと摩擦体の素材の検討を行う必要がある。種々の荷重状態での履歴挙動について検討する必要があると思われる。