

変位比例摩擦力型減衰装置の基本性能実験

熊本大学工学部 学生会員○山元 隆彰 崇城大学 正員 片山 拓朗
熊本大学大学院 フェロー会員 山尾 敏孝 熊本大学 戸田 善統

1. はじめに

構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¹⁾。著者らは、減衰力が変位に比例し、構造物の固有周期によって変化しない変位比例摩擦力型減衰力装置の開発を試みてきた。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、開発した減衰装置の基本性能について簡単な実験装置を用いて調べることを主目的としている。図-1 に減衰装置の概略図を示すが、摩擦体の材料やその長さおよびシリンダの勾配など変化させて減衰装置の基本性能を明らかにした。次に、繰り返し荷重载荷が可能な試験装置を用いて鋼フレーム構造物の制振への適用についても検討する。

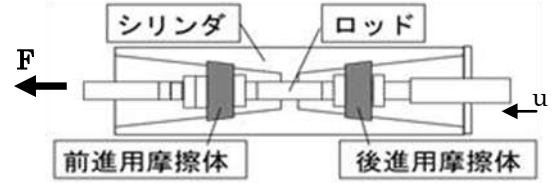


図-1 減衰装置の断面概略図

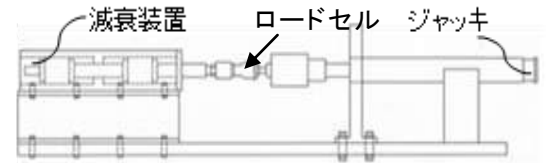


図-2 減衰装置と試験機

2. 変位比例摩擦型減衰装置の概要

図-1 は開発した変位比例摩擦力型減衰装置で、傾斜を有する左右対称な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、シリンダ内部と摩擦体はシリンダ中央に向かって狭くなるようにテーパがかかっている。この装置は円筒摺動面の形状や性質、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作成できる特徴がある。軸力 F が作用して摩擦体が距離 u だけ移動した状態を考えると、次式のような軸力 F と変形 u の関係が得られる。

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

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

なお、 E と ν はヤング率とポアソン比、 μ は摩擦体の摩擦係数、摩擦体の外形 b と内径 a 、 A は摩擦体の外周部の面積 $A = 2\pi bd$ 、 i はシリンダ内部のテーパ角度である。

減衰装置の荷重-変位の関係を調べるため図-2 に示すような载荷装置を用いた。油圧ジャッキによる荷重をロードセルで測定しながら 5000N まで载荷する静的繰り返し载荷実験を行ない、ロッドの水平変位を測定した。図-3 は荷重-変位履歴曲線の一例を示しているが、このようなバタフライ型の履歴曲線を示すのが本装置の特徴である。本研究では摩擦体の形状や剛性やシリンダのテーパ勾配 i が履歴曲線に与える影響を含め、減衰装置の基本的性能を調べた。摩擦体は図-4 に示すような材料を用い、表-1 は使用した摩擦体の性質であるヤング率とポアソン比を示す。摩擦体に用いられる材料のクロロブレンゴムは、通常、ブレーキ材や電線として使用されており、特徴は機械的強度・耐候性・耐薬品性・耐熱性・耐寒性・耐油性に優れており、非常にバランスのとれたゴムである。一方、

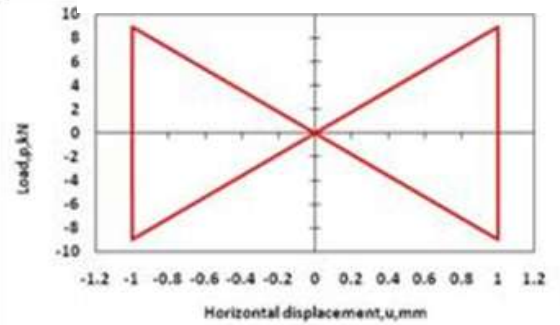


図-3 荷重-変位履歴曲線



(a)クロロピレンゴム (b)黄銅(C3606)

図-4 使用した摩擦体

表-1 摩擦体のヤング率とポアソン比

材料	ヤング率(N/mm ²)	ポアソン比
クロロブレンゴム	5.4×10^3	0.42
真鍮(C3606)	8.8×10^4	0.36

表-2 製作した摩擦体の断面諸量

No	材料	d (mm)	i	A (mm ²)	k
1	クロロブレンゴム	40	0.01	6283.19	432
2	クロロブレンゴム	10	0.01	1570.8	432
3	クロロブレンゴム	10	0.005	1594.36	432
4	クロロブレンゴム	20	0.01	3141.59	432
5	クロロブレンゴム	20	0.005	3188.72	432
6	真鍮(C3606)	10	0.01	1570.8	6423

真鍮は、ゴムとは対称的に剛性の強い材料である。また、シリンダ全体の長さは 320mm でそのテーパ勾配 i は $i = 0.01$ と $i = 0.005$ の 2 種類とした。表-2 は実験に使用した摩擦体の断面諸量で d は摩擦体の長さ、 k は式(1)で求まる剛性である。

3. 実験結果と考察

図-5 は式(1)の理論値と実験結果を比較した減衰装置の履歴曲線の一例を示したもので、5000N まで単調载荷時の挙動を比較した。摩擦体のパラメータの中で摩擦体とシリンダの接触面積の影響が非常に大きいことが実験を通して判明し、ここでは A として全断面面積の 20%としたときの結果が実験値とよい対応を示した。

図-6 は摩擦体の長さとテーパ勾配を変化させた時の履歴曲線を比較した結果を示した。図より摩擦体の長さが大きいほど軸方向変位は小さく、逆に長さが小さいと変位が大きくなる。つまり、長い摩擦体ほど荷重初期時の履歴曲線の勾配が急になり、同じ荷重に対する軸変位量も小さくなる。また、摩擦体の接触面積も小さいことが分かった。また、テーパ勾配 i を小さくすると曲線の勾配が緩やかになることが分かる。摩擦体の接触面積やテーパ勾配を変化させることにより履歴曲線を制御できることがわかった。図-7 は、摩擦体の材料をクロロプレンゴムから真鍮(C3606)に変化させて履歴挙動を比較した。ゴム製の摩擦体の曲線は傾きが荷重の増加に伴い大きくなるのに対して、真鍮製の摩擦体は 5000N までの载荷ではほとんど傾きに変化が見られなかった。よって、摩擦体の剛性が大きすぎると履歴曲線の傾きに変化が表れ難いと考えられ、今後摩擦体としての適切な材料を調べる必要がある。図-8 は、繰り返し载荷時の減衰装置の履歴挙動を調べたもので、不規則な荷重にも対応できると思われる。また、開発した減衰装置の履歴挙動をみてわかるように、実験では摩擦体が荷重の負荷がない状態を保持して履歴挙動を求めているが、現実の場合中立位置に保持するのは困難であり、常にある程度の荷重が作用していることが予想される。今後、種々の荷重条件について検討が必要である。静的载荷実験結果を参考に、鋼ラーメン構造物を用いて開発した減衰装置を取り付け、静的载荷実験および動的载荷実験を行うことより、減衰装置の有効性等を検討しており、結果については、当日発表の予定である。

図-5 は、摩擦体の材料をクロロプレンゴムから真鍮(C3606)に変化させて履歴挙動を比較した。ゴム製の摩擦体の曲線は傾きが荷重の増加に伴い大きくなるのに対して、真鍮製の摩擦体は 5000N までの载荷ではほとんど傾きに変化が見られなかった。よって、摩擦体の剛性が大きすぎると履歴曲線の傾きに変化が表れ難いと考えられ、今後摩擦体としての適切な材料を調べる必要がある。図-8 は、繰り返し载荷時の減衰装置の履歴挙動を調べたもので、不規則な荷重にも対応できると思われる。また、開発した減衰装置の履歴挙動をみてわかるように、実験では摩擦体が荷重の負荷がない状態を保持して履歴挙動を求めているが、現実の場合中立位置に保持するのは困難であり、常にある程度の荷重が作用していることが予想される。今後、種々の荷重条件について検討が必要である。静的载荷実験結果を参考に、鋼ラーメン構造物を用いて開発した減衰装置を取り付け、静的载荷実験および動的载荷実験を行うことより、減衰装置の有効性等を検討しており、結果については、当日発表の予定である。

- 参考文献： 1) 宇佐美 勉 編著 日本鋼構造協会 編：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，
2) 児玉菜月：変位比例摩擦力型減衰装置・・・，熊本大学工学部社会環境工学科，平成 21 年度卒業論文，2009

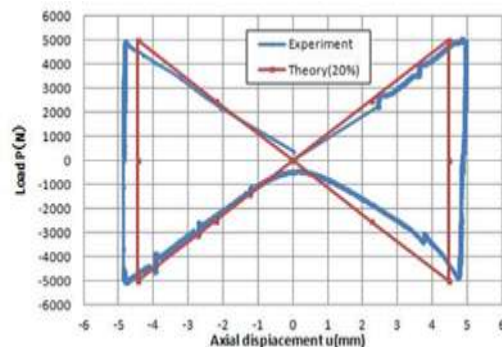
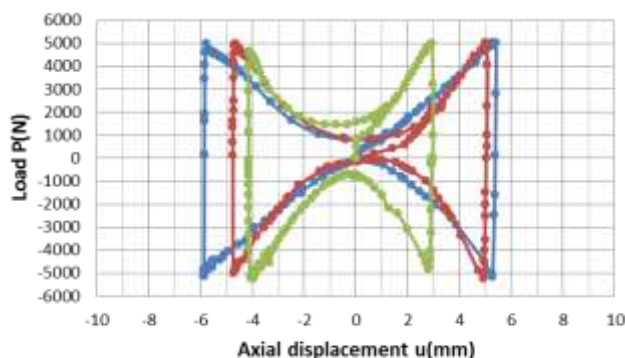
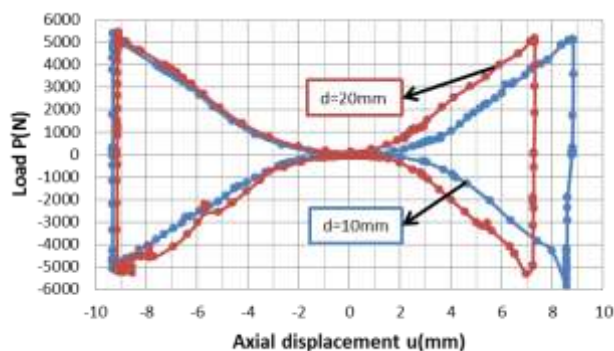


図-5 理論値との比較



(a) テーパ勾配 $i=0.01$



(b) テーパ勾配 $i=0.005$

図-6 長さとテーパ勾配が異なる摩擦体の履歴曲線の比較

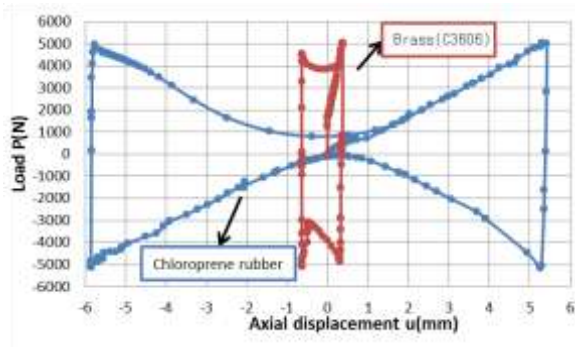


図-7 摩擦体の材質変化の比較

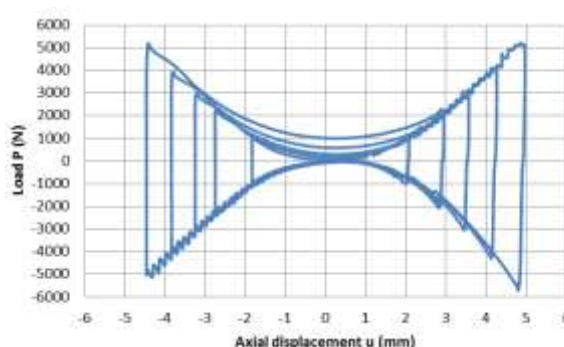


図-8 繰り返し载荷