

建設省土木研究所 正 員 川島 一彦  
 ○正 員 運上 茂樹  
 東北地建福島工事事務所 正 員 清水 英之

1. まえがき

筆者らは、日本独自のダンパーストッパーといわゆるダンパーの両者の特性を合わせることが橋梁の耐震設計上有効であると考え、ダンパーの粘性減衰を橋の応答に応じて変化させ得る装置(以下、これをバリアブルダンパーと呼ぶ)を開発するとともに、橋梁用の耐震装置としての応用性や実現性を検討してきた<sup>1)</sup>。本文では、バリアブルダンパーの小型模型を試作し、バリアブルダンパー模型単体を用いた動的載荷実験によりその基本的な特性について検討した結果を報告する。

2. バリアブルダンパーの小型模型の概要

図-1は、バリアブルダンパーの小型模型の製作図を示したものである。模型の設計に際しては、バリアブルダンパーの減衰力の変可範囲を20~200kgf、最大ストロークを±2.5cmとし、制御は構造物の変位及び速度によってパーソナルコンピュータを用いて行うことを基本条件とした。シリンダーは、ロッドを含めた全長が394mm、中間部にピストンを有するもので、ピストンの受圧面積は12.56cm<sup>2</sup>である。ピストンをまたいでシリンダーから鋼管によりバイパスを設け、これを2つのサーボバルブを介してオイルタンクに接続する。バリアブルダンパーの減衰特性は、このサーボバルブの開度を調整することにより変化させることができる。サーボバルブとしては、ダイレクト電磁比例型切換弁を用いた。サーボアンプからサーボバルブへの入力電圧は0~5Vとし、5Vでバルブ全開、0Vでバルブ全閉の状態となる。なお、シリンダー内に封入する粘性体としては、加振負荷装置に通常用いられるオイルを用いた。

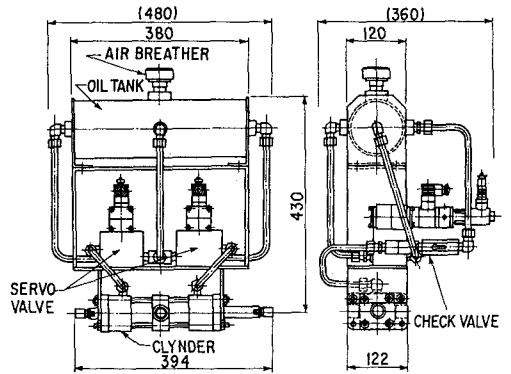


図-1 バリアブルダンパーの小型モデル

3. 実験方法

バリアブルダンパーの減衰特性はバルブの開度で制御され、バルブの開度はバルブへの入力電圧のみで制御される。このため、実験ではサーボバルブへの入力電圧とバリアブルダンパーの減衰特性の関係を求めるものとした。実験では、一定電圧をサーボアンプに入力してサーボバルブの開度を一定に保った状態で、ロードセルを介して固定した加振負荷装置により強制変位を与えた。サーボアンプへの入力電圧、ダンパーの反力、ダンパーのストローク量を計測した。加振負荷装置による強制変位は正弦波とし、これを10波を基本として載荷した。

表-1 実験ケース

Case	Objective	Loading Frequency(Hz)	Loading Displacement(mm)	Input Voltage(V)
1	Measurement of Friction Force of Damper Piston	0.05	20	5
2	Relation between Damping Force and Input Voltage	1, 2, 3, 4	2.6, 10, 15	0~5

実験ケースは表-1に示す通りである。ケース1はダンパーピストンが有する摩擦力を測定するためのケースである。ケース2はサーボバルブへの入力電圧とダンパーの減衰力の関係を求めるためのケースであり、加振振動数、加振振幅を変化させるとともに、入力電圧を変化させた。

4. 実験結果

図-2は、ダンパーピストンの摩擦力を測定するために、加振振動数0.05Hz、加振振幅20mmで載荷した場合(ケース1)の荷重~変位の履歴曲線を示したものである。荷重~変位関係はほぼ矩形形状となり、摩擦力が作用する場合の典型的な関係を示している。なお、履歴曲線には載荷の回数による相違はほとんどなく再現性はよい。摩擦力の平均は約7kgfである。

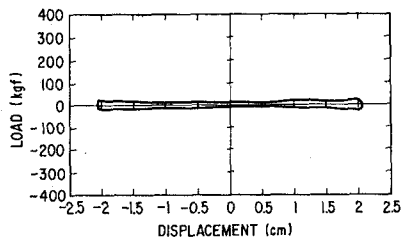


図-2 荷重~変位の履歴曲線(ケース1)

図-3は、バリアブルダンパーの荷重~変位の履歴曲線の一例を示したものである。ここには、加振振動数が1Hzの場合について、加振振幅を2mm、6mm及び10mmとした場

合を示している。図-3(a)によれば、加振振幅2mmの場合には、電圧が1.5V以上では荷重～変位の履歴曲線は矩形形状となり、摩擦力のみが作用する状態である。粘性減衰力が作用する理想的な荷重～変位関係は楕円形となるが、電圧を1.5Vよりも小さくすると、徐々に荷重が大きくなるものの荷重がピークをとる位置は速度最大(変位零)の位置よりも遅れが生じる。これは、変位量が2mmと小さいため、これに伴う粘性体の流量が少なくなり、粘性体の圧縮性、配管と粘性体の摩擦などが影響するためと考えられる。加振振幅6mm及び10mmについて示した図-3(b)及び(c)によれば、荷重～変位の履歴曲線はほぼ楕円形を示し、理想的な粘性減衰タイプの荷重～変位関係となることがわかる。

図-4は、載荷速度と減衰力との関係が入力電圧に応じてどのように変化するかを示したものである。ここには、後述する最小自乗法により求めた関数式による曲線も示している。これによれば、減衰力と載荷速度の関係は、通常のシリンダー型の粘性ダンパーと同様にべき乗関数形を有している。このため、ここでは以下のように関数形を設定して実験式を導いた。

$$F = F_0 + C(V) \cdot v^n(V) \quad (1)$$

ここに、F:減衰力(kgf)、F<sub>0</sub>:ダンパーピストンの摩擦力(F<sub>0</sub>=7kgf)、C(V):減衰係数(入力電圧Vの関数)、v:速度、n(V):速度項のべき乗係数(入力電圧Vの関数)である。式(1)では、減衰係数C(V)と速度項のべき乗係数n(V)が未知数となり、これらを実験データをもとに最小自乗近似して求めた。このようにすると、C(V)は入力電圧によらずほぼ一定となり、その平均値はC(V)=0.8となる。速度項のべき乗係数と入力電圧の関係は図-5に示す通りとなり、入力電圧を小さくすると大きくなる。C(V)は、入力電圧が2.5V以上ではほぼ一定(1.4程度)となるが、2.5V以上で急激に大きくなる。べき乗係数と入力電圧の関係を直線近似すると図-5に示す通りとなる。

### 5. 結論

橋梁用の耐震装置として著者らが提案するバリアブルダンパーの小型模型を試作し、その基本的特性について実験的に検討した。本検討結果の結論は以下のとおりである。

1) 試作したバリアブルダンパーの正弦波載荷実験によれば荷重～変位の履歴曲線はほぼ楕円形を描き、粘性減衰を有する理想的な荷重～変位関係が得られた。

2) ただし、変位量が小さい範囲(6mm程度以下)、あるいは、載荷速度が大きい範囲(20cm/s程度以上)では、荷重がピークをとる位置は速度最大(変位零)の位置よりも遅れが生じ、楕円形を描かなくなる。これは、粘性体の圧縮性、配管と粘性体の摩擦などが影響するためと考えられる。

3) 今後は、制御回路で荷重発生位置の遅れを補正する方法を検討するとともに、バリアブルダンパーを橋梁模型に取り付けた振動実験によりその有効性を検討していきたい。

参考文献 1)川島一彦、連上茂樹、清水英之:バリアブルダンパーを用いた道路橋の地震応答制御、土木学会振動御コロキウム講演論文集PART. B、1991年7月

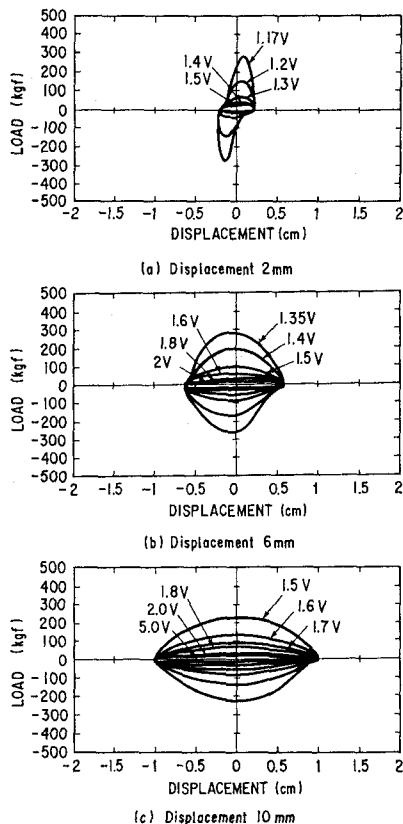


図-3 荷重～変位の履歴曲線 (ケース2、加振振動数: 1 Hz)

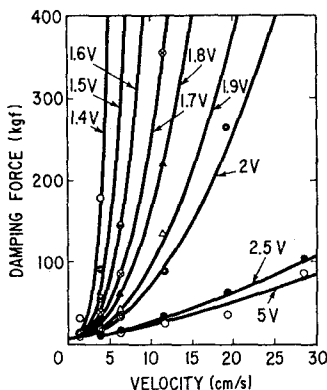


図-4 減衰力と最大速度の関係

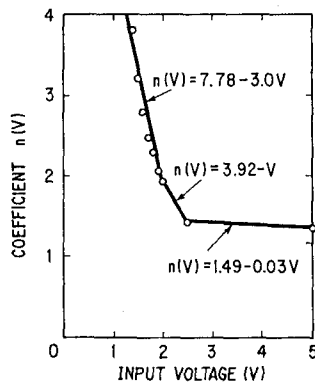


図-5 係数n(V)と入力電圧の関係