

I-628

ER流体を用いたバリアブルダンパーの開発

建設省土木研究所 正員 〇川島 一彦
 建設省土木研究所 正員 運上 茂樹
 建設省土木研究所 正員 向 秀毅

1. はじめに

ER流体は、印加電圧に応じてその粘性を変化させることが可能な流体である。ER流体の考え方は古くからあったが、近年信頼性及び実用性に優れたER流体が開発されるようになってきたことから、主に機械工学の分野で実用化されつつある。ER流体は、印加電圧に対する応答性が優れていること、また、バルブ等の複雑な機構が不要であり、構造を単純化できる等の利点を有するため、構造物の振動制御への適用が期待されている。本文では、土木研究所で開発試作したER流体を用いたバリアブルダンパー(ERVD)について報告するとともに、ダンパー単体の載荷実験によりその動的特性を検討した結果を報告する。

2. ERVDによる発生減衰力

図-1に示すようなシリンダータイプのERVDを考えてみる。ERVDにより発生される減衰力 F は、次式に示すようにオリフィスを通する粘性体の減衰力(粘性減衰力) F_v 及びER効果による減衰力 F_E の和として表すことができる。

$$F = F_v + F_E \quad (1)$$

$$F_v = \frac{12 \cdot L \cdot A^2 \cdot \eta}{B \cdot H^3} v, \quad F_E = \frac{3 \cdot L \cdot A}{H} \tau_v(E) \quad (2)$$

ここで、 A :ピストンの受圧面積、 v :ピストンの速度、 L , B , H :電極の長さ、幅、距離、 η :ER流体の粘度、 $\tau_v(E)$:ER効果により発生するせん断応力度、 E :印加電圧強度、である。 $\tau_v(E)$ が印加電圧に応じて変化させることが可能なせん断力である。粘性減衰力とER効果による減衰力の履歴曲線は、図-2のように表わすことができる。粘性減衰力は、ピストン速度に依存する減衰力であり、これはオリフィス幅を変化させて制御する。一方、ER効果による減衰力は、載荷速度及び載荷変位に依存せず、印加電圧強度 E のみで制御することができる。

3. ERVDの小型模型の開発

(1) 小型模型の概要

ERVDの実用性を検討するために、写真-1に示すような小型モデルを開発試作した。ER効果による減衰力は最大で20kgf程度、ピストンの最大ストロークは ± 40 mmとなるように設計した。ダンパーの全長は521mm、オリフィス(電極)の長さ及び間隔は、それぞれ、134mm及び3mmとした。ピストンの受圧面積は、2,089mm²である。ER流体を封入する際のシール材としては、ゴムスリーブを用いた。ER流体としては、シリコンオイルに炭素質粉末を混合したコロイド状液体(㈱ブリヂストン製)とした。なお、本ER流体の初期粘度は、 1.3×10^{-8} (kgf・s/mm²)、2kV/mm時の τ_v は 68.0×10^{-6} (kgf/mm²)である。電極間に印加する電圧は、DC 0~6kVとした。

(2) ERVDの動的特性

開発試作したERVDの小型模型の動的載荷実験を行い、その動的特性(振動数依存性、変位依存性及び印加電圧依存性等)を検討した。ここでは、実験結果の一例を示す。図-3(a)は、負荷電圧を0、すなわち、ER効果を0とした場合の減衰力と変位の履歴曲線を示したものである。載荷変位は振幅 ± 20 mmの正弦波とし、加振振動数を0.5~10Hzに変化させた。これによれば、載荷速度が低い時にはほぼ矩形の摩擦型の履歴を示しており、ピストンの摩擦は約10kgfである。載荷速度が速くなるに伴い減衰力は大きくなり、粘性減衰型の履歴を示すようになる。ただし、理想的には楕円形の履歴曲線にならないといけないが、実験ではピークの発生位置が遅れている。この原因は、ER流体の圧縮性、あるいは、ER流体のシール材として用いたゴムスリーブの変形性が関与していると考えられる。図-3(b)は、印加電圧を最大の6kVとした場合の履歴曲線を示したものである。図-3(a)と比較してみると、載荷速度が遅い場合の履歴曲線はほぼ矩形となり、ER効果により減衰力が大きくなっていることがわかる。ただし、載荷速度が速くなると、粘性減衰力が卓越するようになり、履歴曲線は楕円形に近づく。

図-4は、ERVDの減衰力の印加電圧依存性を示したものである。これによれば、載荷振動数が0.5Hzの場合には印加電圧により減衰力は10kgf~30kgfの範囲で変化させることが可能であるが、載荷速度が速くなると、前述のように粘性減衰力が卓越するようになるため、印加電圧による減衰力の可変範囲は狭くなる。

4. 結論

本検討結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 開発したERVDの載荷実験によれば、載荷速度が低い時にはER効果により履歴曲線の形状はほぼ矩形となるが、載荷速度が速くなると粘性減衰力が卓越する楕円形の履歴曲線となり、ほぼ設計通りの特性を有している。

2) 開発したERVDは、载荷速度が速くなると、粘性減衰力が卓越するようになり印加電圧による減衰力の変可範囲は狭くなる。一般に構造物の振動制御では減衰力を大きな範囲で変化させ得ることが必要とされるため、今後、実用的なERVDの構造を検討する必要がある。

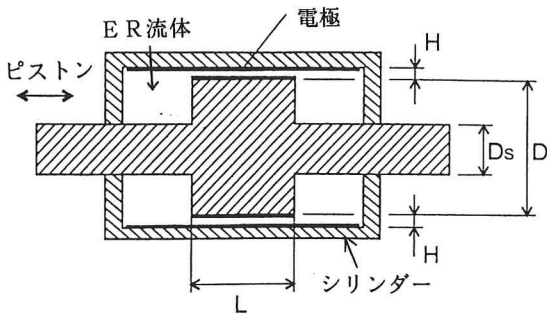


図-1 シリンダータイプのERVD

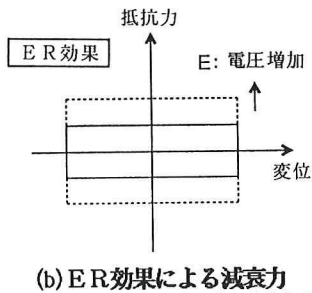
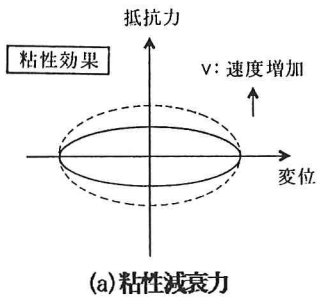


図-2 ERVDによる減衰力

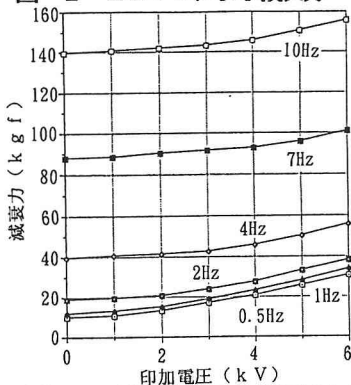


図-4 減衰力の印加電圧依存性
（载荷変位：±20mm）

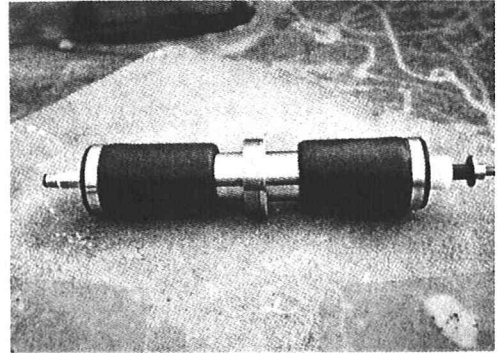


写真-1 開発試作したERVD

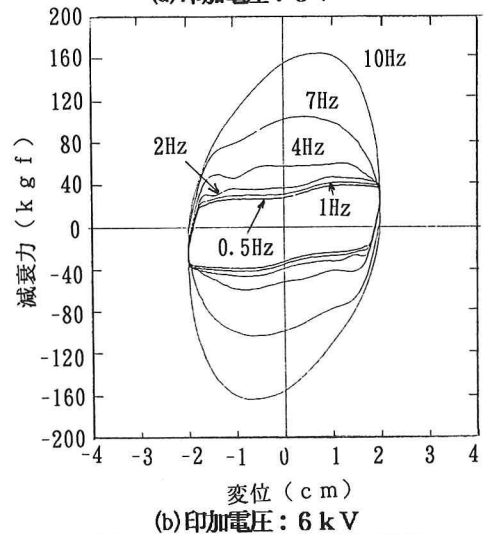
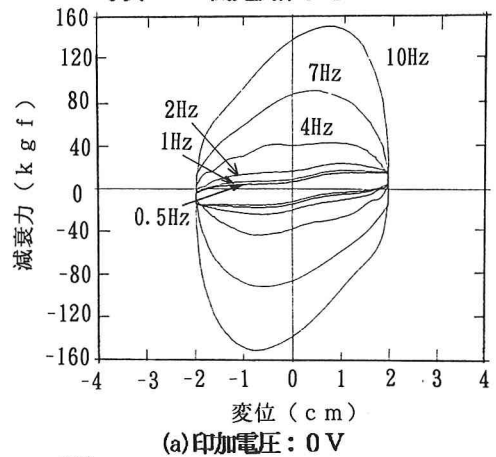


図-3 減衰力～変位の履歴曲線
（载荷変位：±20mm）