

I-443

ER流体を用いた回転型バリアブルダンパーの開発

建設省土木研究所 ○正員 運上 茂樹
建設省近畿地方建設局 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。著者らは、これまで構造物の振動性状に応じて減衰特性を変化させることが可能なバリアブルダンパーへのER流体の適用性を検討してきた。バリアブルダンパー模型の試作及び載荷実験等の検討によれば、ER効果による減衰力の可変範囲を大きくすることが1つの課題であることが明らかになった。このため、本文では、ER効果による減衰力を大きくすることを目的として開発試作した回転型バリアブルダンパー(RERVD)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. RERVDによる発生減衰力

図-1に示すような回転型のRERVDを考えてみる。回転型としたのは、これと構造物を連結するアーム長を調整したり、回転軸を同一にして複数個連結することにより、ダンパー単体のER効果による減衰力の可変範囲を大きくすることが可能である等の発展性があるためである。このようなRERVDにより発生される減衰トルク T は、次式に示すように粘性体の減衰トルク(粘性減衰トルク) T_v 及びER効果による減衰トルク T_E の和として表すことができる。

$$T = T_v + T_E \quad (1)$$

$$T_v = \frac{\pi \cdot \omega}{2h} \eta \cdot (R_2^4 - R_1^4) \quad (2)$$

$$T_E = R_m \cdot S \cdot \tau_y(E), \quad R_m = \frac{2(R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} \quad (3)$$

ここで、 ω :角振動数(1/sec)、 h :電極間距離(m)、 η :ER流体の粘度、 R_1 , R_2 :回転板(電極)の外半径及び内半径(m)、 S :電極面積(m^2)、 $\tau_y(E)$:ER効果により発生するせん断応力度(Pa)、 E :印加電圧強度(V/m)、である。 $\tau_y(E)$ 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。上記のように粘性減衰トルクは、回転軸の回転速度 ω に依存する減衰トルクであり、これはER流体を挟む電極間距離により変化する。一方、ER効果による減衰トルクは、載荷速度及び載荷変位に依存せず、印加電圧強度 E のみで制御される。

3. RERVDの小型模型の開発

(1) 小型模型の概要

RERVD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。設計では、ER効果による減衰トルクは最大で50kgf・cm程度となるようにした。ダンパーの大きさは、直径234mm、厚さ76mmとし、ER流体に電圧を印加する電極板の外半径及び内半径は、それぞれ、9cm及び3.7cmとした。電極板の全面積は422.9cm²、電極間距離は2mmとした。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、0.15Pa・sec、2kV/mm時の τ_y は660Paである。電極間に印加する電圧は、DC0~10kVとした。

(2) RERVDの動的特性

開発試作したRERVDの小型模型の動的載荷実験を行い、その動的特性(回転数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-2は、印加負荷電圧を0kV及び6kVとした場合にRERVDによる減衰トルクの発生状況の時刻歴を示したものである。ここでは、載荷回転数を50rpmとした場合について示している。印加電圧が0kVの場合の減衰トルクは1.31kgf・cmであり、これは粘性減衰トルクである。減衰トルクは、載荷回転によりわずかに振動するが時間によらずほぼ一定に安定している。電圧が6kVの場合には、電圧を印加することにより45.4kgf・cmの減衰トルクを発生する。したがって、この増加分がER効果による減衰トルクである。減衰トルクは時間によらずほぼ一定になっており、載荷に対する安定性はよい。図-3は、このようにして求めた減衰トルクの回転数依存性を示したものであり、回転数に対してはほとんど依存せず、100rpmの回転数まではこれに依存する粘性減衰トルクが小さいことがわかる。

図-4は、载荷回転数が50rpm及び100rpmの場合の減衰トルクと印加電圧の関係を示したものである。ここには、上記の計算式による値も示している。これによれば、減衰トルクは印加電圧に応じてほぼ放物線状に増加し、本模型では設計通り0～50kgf・cmの範囲で減衰トルクを変化させることができる。また、粘性減衰トルクが相対的に小さいため载荷回転数の影響はほとんどなく、計算式ともほぼ一致する。

4. 結論

本検討結果をまとめると以下の通りとなる。開発した RERVD の载荷実験によれば、回転数が100rpmまでは、粘性減衰トルクが相対的に小さいので発生する減衰トルクは回転数の影響をほとんど受けない。本模型の減衰トルクは、設計通り0～50kgf・cmの範囲で変化させることができた。回転型構造とすることにより減衰力の変可範囲を大きくでき、バリアブルダンパーとして実用可能であることが明らかになった。

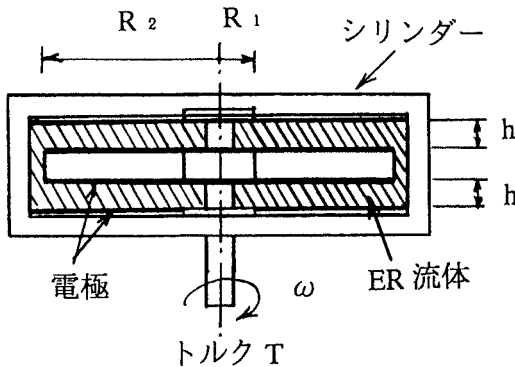


図-1 回転型の ERVD

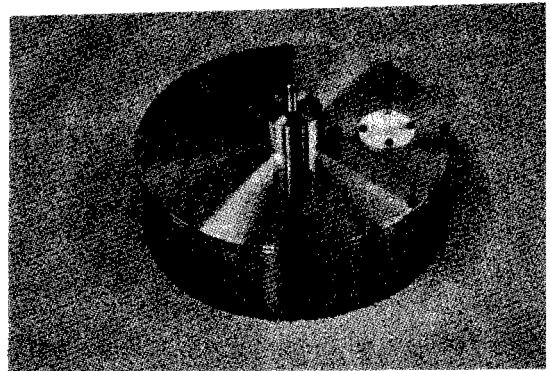
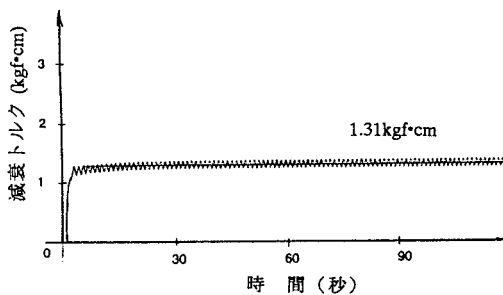
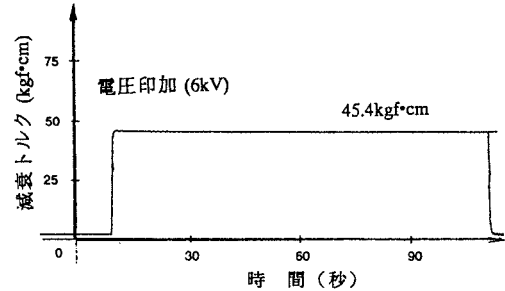


写真-1 開発試作した RERVD



(a) 印加電圧 0kV



(b) 印加電圧 6kV

図-2 RERVD による減衰トルク（回転数 50rpm）

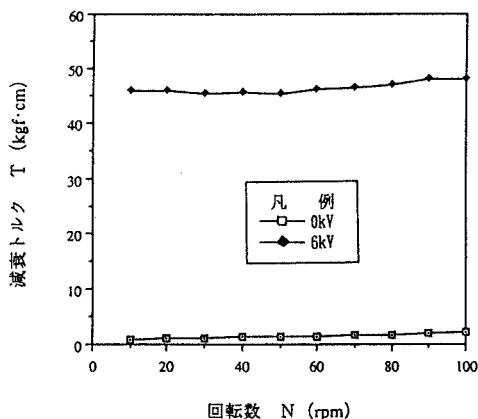


図-3 減衰トルクの回転数依存性

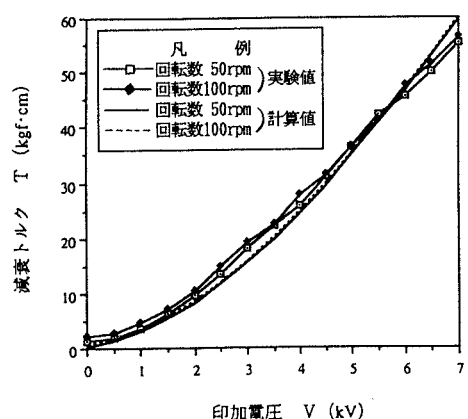


図-4 減衰トルクの印加電圧依存性