

E R 流体を用いたダンパーの履歴減衰力解析

北見工業大学 正員 山崎智之 北見工業大学 正員 大島俊之
北見工業大学 学生員 内田裕丈 北見工業大学 正員 三上修一

1. まえがき

現在様々な形式の制振システムが考案されており、その制振方法はパッシブなものアクティブなもの大別される。近年では流体を用いたパッシブなダンパーを基に、流体の流動性を変化させ減衰力を調整できるセミアクティブな減衰装置が考案されている¹⁾。本研究ではセミアクティブ減衰装置に用いる流体に ER 流体 (Electrorheological Fluid) を使用した減衰装置に着目し、その特性および実用性を検討する。ER 流体とは、流体に電圧を加えると見掛けの粘性が短時間で変化させるものであり、この流体の粘性を動的に変化させることにより有効な減衰力が得られると考えられる。本論文においては、この ER 流体を用いた試験用ダンパーを製作し、その振動実験により測定した減衰力と解析モデルから計算した減衰力の比較から装置の減衰特性について検討を行った。

2. 実験概要

実験は図 - 1 のように ER 流体試験用ダンパーを振動台上に固定し、ダンパー自体を水平振動させピストンの先端に設置したロードセルにより減衰力を測定した。振動はアクチュエータに振動台の振幅 (2, 5, 10, 20, 30mm) および振動周波数 (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 3.0Hz) を入力し振動させ、振動台変位 (ピストン変位) とロードセルによりダンパーの減衰力を測定した。流体に掛ける電圧は交流を用い電源の電力量の限界から 0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0kV とした。

本実験で使用した ER 流体は藤倉化成(株)で開発されたシリコン系オイルに無機・有機複合粒子 (ER 無機物、ポリマーコア) を混合した流体である。この ER 流体の基礎粘度は $0.16\text{Pa}\cdot\text{s}$ (25)、電流密度は電界強度が 2kV/mm 約 $15\mu\text{A/cm}^2$ (25) 程度である。

次に ER 流体ダンパーについて説明する。本実験で製作した ER 流体ダンパーの概念図を図 - 2 に示す。ダンパーの主構成要素は外側シリンダ (外筒電極、高圧)、内側シリンダ (内筒電極、接地)、ピストンおよびピストンロッドで、これらの寸法は以下に示す (外筒長さ $L_{out} = 520\text{mm}$, 内筒長さ $L_{in} = 500\text{mm}$, 外筒直径 $D_{out} = 111\text{mm}$, 内筒直径 $D_{in} = 100\text{mm}$, 電極間隔 $h = 1.5\text{mm}$, ピストン幅 $l_p = 24\text{mm}$, ピストンロッド直径 $d_{rod} = 20\text{mm}$, ピストンロッド長さ $l_{rod} = 465\text{mm}$)。ダンパー (シリンダ) 内に ER 流体を満たし、内筒電極に高電圧をかけることと内シリンダと外シリンダ間の ER 流体の見掛け粘性が変化し、ピストンに減衰力が働くことになる。

3. ダンパーの履歴減衰力解析

ダンパーの解析にあたって次のような条件を前提として計算を行った。電気 - 力変換機構は電極固定型の圧力流れモードとし²⁾、電極間の隙間は平行板隙間と見なす。ER 流体は電界の印加がない場合はニュートン流体、電界の印加がある場合にはビンガム流体と見なせる分散系とする。流体は非圧縮性とし、減衰力はシリンダ室圧力降下による力とする。次に減衰力を計算した基礎式を示す。

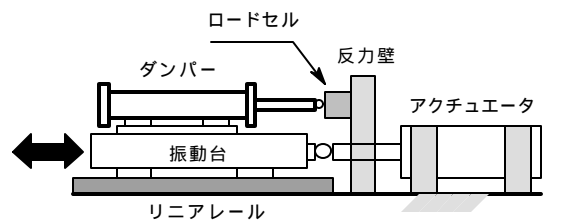


図-1 実験の模式図

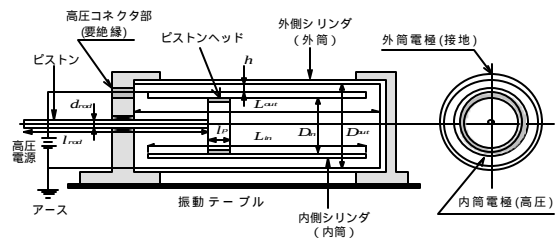


図-2 ダンパー概念図

キーワード：ER 流体、セミアクティブ振動制御、ダンパー

連絡先 (〒090-8507 北海道北見市公園町165 番地 北見工業大学 TEL 0157-26-9485 FAX 0157-23-9408)

シリンダ内のピストン運動による圧力降下を ΔP とすれば、減衰力 F は式(1)で表される。圧力降下 ΔP はニュートン流体粘性による圧力降下成分 ΔP_0 と電界の誘起応力による圧力降下成分 ΔP_{ER} の和として表される²⁾。

$$F = \Delta P \cdot A_p \cdot h \quad (1)$$

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_{ER} \quad (2)$$

また各圧力降下成分は式(3)、(4)のようになる。

$$\Delta P_0 = (12 \cdot m \cdot L_{in} / h^2) \cdot U \quad (3)$$

$$\Delta P_{ER} = (3 \cdot L_{in} / h) \cdot t_{ER} \quad (4)$$

$$U = (A_p / A_v) \cdot \bar{v}_p \quad (5)$$

ただし、 m は ER 流体の基礎粘性(電圧が掛からない状態の粘性で製作会社の公表値を用いる $0.16 \text{ Pa} \cdot \text{s}$)、 L_{in} は内

側シリンダの長さ、 h は電極間隔、 t_{ER} は流体の降伏せん断応力、 U はピストン移動により生じる電極間の流体平均流速、 $\bar{v}_p$ はピストンの平均移動速度、 A_p はピストンヘッドの流体を押す面積、 A_v は電極間の断面積、 h はダンパーの負荷率 (0.7) である。ここで不確定項目は U と t_{ER} である。 U は実験より得られた変位波形より $\bar{v}_p$ を求めて計算する。また本解析で用いる t_{ER} は文献 2) にある図 - 3 の (降伏せん断応力 t_{ER} - 平均流速 U) 関係から t_{ER} を求め、これを用いて式(1)より減衰力を計算する。図 - 3 から t_{ER} を求めるためグラフのプロットから各電界強度の近似曲線式を 3 次多項式として求めた。

また図 - 3 にない電界強度の曲線式については求められた 2 曲線の係数を用いて、係数毎の比例配分により 2 曲線間の曲線の係数を求めた。

電圧 0kV および 1kV で振動周波数 1Hz、振幅 $\pm 20\text{mm}$ における実験及び解析の結果を図 - 4 に示す。0kV 時の実験と解析結果はほぼ一致しており式(3)の妥当性が得られる。1kV 時では最大値においてずれが生じており、式(4)における計算値に誤差が生じていることを表す。これは解析に用いた t_{ER} が文献 2) によるものであり、本実験に使用した流体の特性との違いを示している。

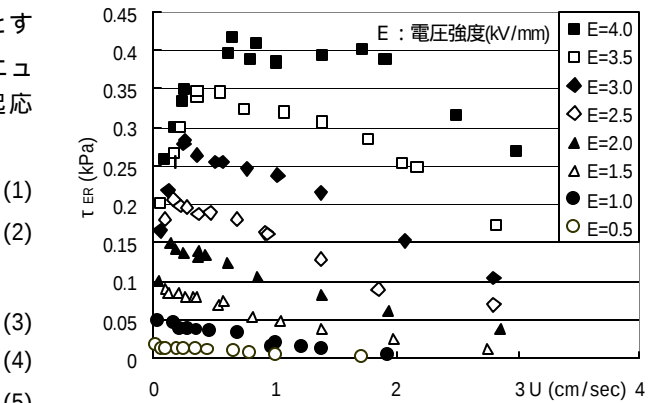


図 - 3 圧力流れモードにおける分散系 ER 流体の ER 効果 (AC 電場印加時)²⁾

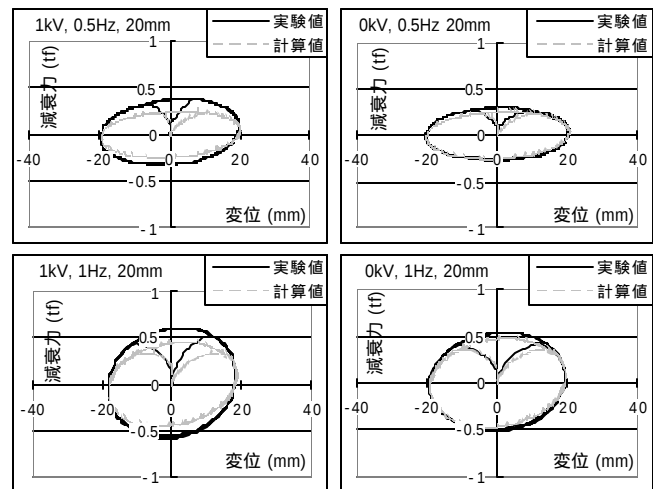


図 - 4 試験用ダンパーの減衰力 - 変位履歴曲線

4. あとがき

今回 ER 流体を用いた減衰装置の履歴特性などを明らかにする目的で、解析を行って実験との比較をした。文献 2) にもあるように、ER 流体は各開発業者により使われている微粒子が異なり、流体の性質を同傾向にはみられないことがわかった。また高電圧を必要とするため、現場で使用するには扱い方 (絶縁) に注意を要する。しかし用いた減衰装置は非常に簡単な構造であり、流体の流れモード²⁾および使用する流体の特性を把握すれば振動制御に有効な装置を開発できると考えられ、ER 流体自体は開発途上の材料でありコスト減や機能向上が期待できると思われる。

本研究の実験を行うに当たり御協力いただいた藤倉化成㈱にはここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) Constantinou, M.C. and M.D. Symans, Experimental Testing and Analytical Modeling of Semi-Active Fluid Dampers for Seismic Protection, J. of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.8, 644-657, 1997
- 2) 中野政身, ER 流体の応用 (振動制御), メカトロニクス機器の電気粘性流体を用いた制御に関する研究分科会成果報告書, pp.48-57, 日本機械学会, 1996