

京都大学大学院 学生員 ○ 廣岡 孝治
京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
京都大学大学院 学生員 豊岡 亮洋
京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃

1 概要 本研究では、MRダンパーの動的载荷加振実験を行い、MRダンパーの力学特性に関する実測データを収集するとともに、その挙動を表現するモデルの構築を行った。最大復元力、履歴吸収エネルギーに着目してMRダンパーの挙動モデルの検討を行い、力学特性の再現精度について考察した。

2 実験対象MRダンパー MRダンパーは、磁場を与えると見かけの降伏せん断応力が変化するMR流体 (Magnetorheological Fluid) を使用したダンパーである。本研究で使用したMRダンパーの構造を図1に、主要諸元を表1に示す。本MRダンパーは、ピストン、シリンダ、電磁石が設置されたバイパス流路、MR流体の4部分より構成されている。本ダンパーでは2つの圧力室はピストンで完全に区切られており、ピストンが移動した場合のMRダンパーの流動は別に設けたバイパス流路を介して行われる構造となっている。バイパスの中間部分には矩形断面のオリフィスが設けられており、このオリフィスを左右から挟むように電磁石を設置してオリフィスを流れるMR流体に垂直な磁束を作用させる構造となっている。本ダンパーではこのようにバイパス流路及び電磁石をダンパーの外側に配置するため、MR流体やダンパーの温度上昇、及びそれに起因するダンパーの特性の変化が極めて小さいことが期待できる。

表1 MRダンパーの主要諸元

型式	MRD-60-kN-100	
定格荷重	60kN	
最大速度	25kine	
ストローク	100mm(± 50mm)	
電磁石	最大印加電流	3A
	電気抵抗	15 Ω

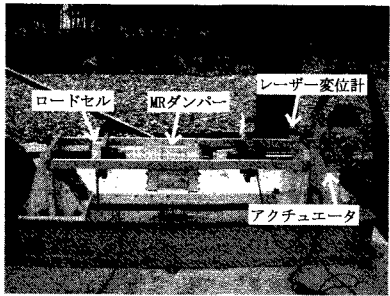


写真1 MRダンパーと試験装置

3 MRダンパーの力学特性 MRダンパーの基本的な力学特性を確認するために、写真1に示す試験装置を用いて加振実験を行った。試験装置のアクチュエータは、動的载荷の場合の最大荷重が50kN、ストロークが± 50mm、最大速度が25kineである。MRダンパーの電磁石に印加する電流値を0A、0.25A、0.5A、0.75A、1.0Aに設定し、様々な変位振幅、振動数の正弦波変位波形を入力して载荷を行った。変位振幅± 3.0cm、振動数0.5Hz、1.0Hzのケース、及び変位振幅± 1.0cm、振動数1.0Hz、2.0Hzのケースの復元力ー変位の履歴ループを図2に示す。また、これらの正弦波加振実験の結果より得られた最大速度ー最大復元力の関係を図3に示す。図2に示されるように、MRダンパーは剛塑性に粘性減衰と剛性が付加された履歴復元力特性を持つことが確認できる。図3において、速度が0に対応する復元力は見かけ上塑性降伏力と考えられ、電流を印加するごとに大きくなっている。また、直線の傾きは粘性減衰係数に対応するものと考えられ、これは電流値に関わらずほぼ一定の値を

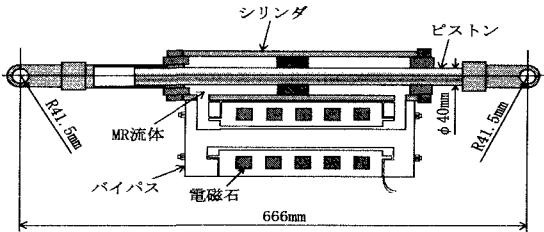


図1 MRダンパーの構造

示している。

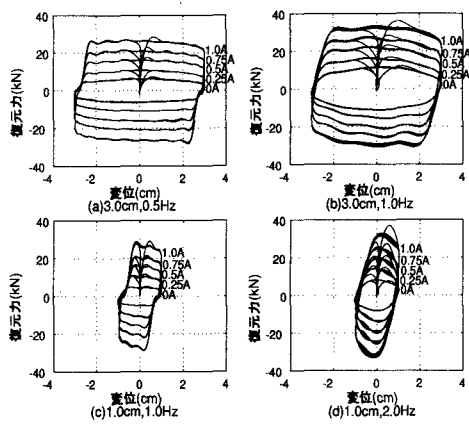


図 2 復元力-変位の履歴ループ

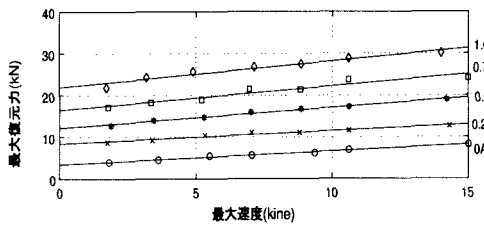


図 3 最大速度-最大復元力の関係

4 MR ダンパーのモデル化 正弦波加振実験の結果より、MR ダンパーのモデルの構築を行った。モデルには図 3 に示す多様な非線形履歴が表現可能である Bouc-Wen モデルと粘性減衰とを並列に組み合わせたモデルを設定した。

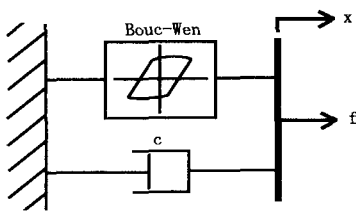


図 4 MR ダンパーの解析モデル

ここで、

$$f = c\dot{x} + z \tag{1}$$

$$\dot{z} = A\dot{x} - \alpha|\dot{x}|z^{n-1}z - \beta\dot{x}|z|^n \tag{2}$$

x : 変位 $\dot{x}$: 速度 c, A, α, β, n : 定数

である。

各パラメータは、これらの実験結果からオンライン最小 2 乗法を用いて、 $c = 0.29578$, $\alpha = 0.26841$, $\beta =$

0.535582 , $n = 1$, $A = 8.5528a + 10.1014$ と決定した。ただし、 a は印加電流値である。実験と解析モデルの荷重予測値との比較を、正弦波変位入力の場合を図 4 に、 $0.1\text{Hz} \sim 5.0\text{Hz}$ までの周波数成分を含むバンドリミティッドホワイトノイズを変位入力として用いた場合を図 5 に示す。解析では復元力をやや低く評価する部分があるが、履歴吸収エネルギーの誤差は正弦波 1 周期で約 0.177%、ホワイトノイズ (10 秒後) で約 2.47% であり、良好なモデルであると考えられる。

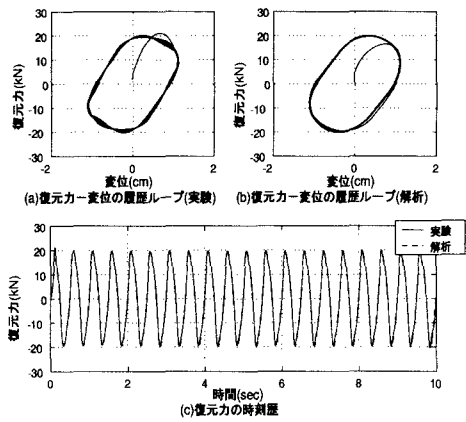


図 5 実験と解析との比較 (正弦波 1.0cm, 2.0Hz, 0.5A)

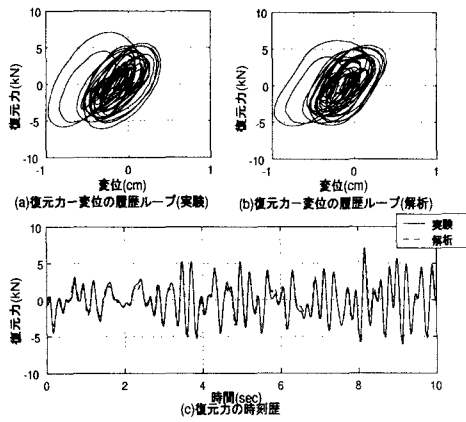


図 6 実験と解析との比較 (ホワイトノイズ, 0A)

5 結論

- MR ダンパーの動的載荷加振実験を行い、MR ダンパーの力学特性を把握した。
- MR ダンパーのモデルに、Bouc-Wen モデルと粘性減衰とを組み合わせたモデルを設定した。モデルの各パラメータはオンライン最小 2 乗法で決定し、MR ダンパーの挙動が再現できることを確認した。