

I-B 23 可変減衰装置に対する制御システムの開発

京都大学大学院 学生員 田中悟
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信
 京都大学工学部 正会員 土岐憲三
 中部電力 正会員 佐藤誠

1. 概説

可変減衰装置(バリアブルダンパー)は、準能動型の制御装置であり経済性、安全性に優れている。本研究では開発した可変減衰装置の試作模型の減衰特性を表現することのできる力学モデルを構築する。また装置の発生減衰力を制御するために、必要となる減衰力とピストンの運動速度ならびにバルブ開度の関係式を導いて、減衰力の目標値とピストンの運動速度から直接バルブの開度を算出する制御方式を構築する。さらにこの制御システムによってバリアブルダンパーの減衰特性の制御を行い、数種類の履歴特性を実現することで、制御系の有効性を示す。

2. 可変減衰装置を用いた振動台実験

開発した可変減衰装置の試作模型は図-1に示すような機構を持ち、左右のシリンダーはバイパス管を通しサーボバルブを介して接続されている。バルブの開度を制御することにより、バイパス管を流れる粘性オイルの流量を調整し装置の減衰特性を可変としている。

まずはじめに装置の基本的な減衰特性を調べるために、バルブ開度を一定に保ったまま、種々の正弦波により加振実験を行った。図-2に実験で得られた減衰力の履歴曲線の例を示す。ダンパーの発生減衰力がダンパーの減衰係数 c_d とピストンの運動速度の積で表される場合には、履歴曲線の形状は完全な楕円形となる。しかし、実際に実験で得られた履歴曲線は楕円では近似できない複雑な形状となっている。

3. 発生減衰力の制御システムの構築

試作した可変減衰装置の模型について、その諸元値及び実験結果をもとにダンパーの発生する減衰力 F を次式のように与えた。

$$F = k \frac{A^3 \dot{x}^2}{\beta^2 \delta^2} + F_f \quad (1)$$

ここに k は定数、 A はピストンの受圧面積、 $\dot{x}$ はピストンの運動速度、 β はバルブの開度に依存する補正係数、 δ はバルブの開度、また F_f はピストンロッドとシリンダー内壁間の動摩擦力である。この式(1)を用いて発生減衰力の履歴曲線をシミュレートした結果を図-3に示す。なおその際、ピストンの運動速度と実際にバルブ部分を通過する粘性オイルとの間における位相差を0.03秒で一定であるとし計算を行った。これよりシミュレートされた履歴曲線は実験により得られた履歴曲線形状を忠実に再現しており、構築した力学

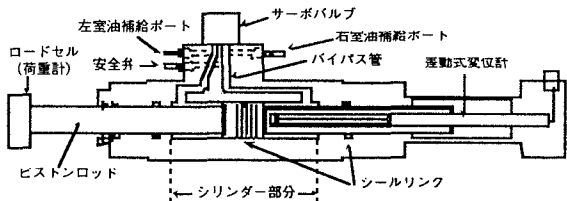


図-1 可変減衰装置の試作模型の断面図

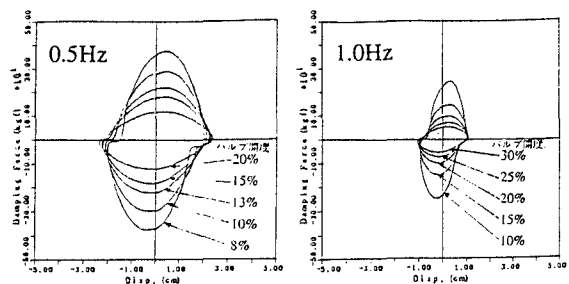


図-2 発生減衰力の履歴曲線(実験結果)

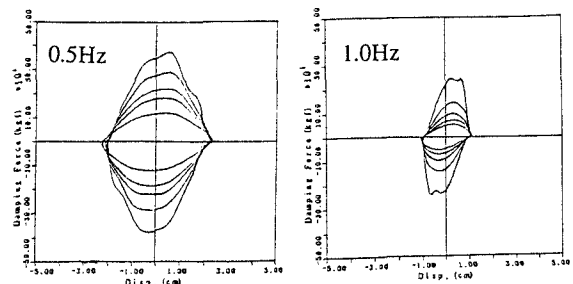


図-3 発生減衰力の履歴曲線(計算結果)

モデルの妥当性が確認できる。

次に、可変減衰装置に目標とする制御力を発生させるために必要となるバルブ開度の制御システムの構築を行う。バルブ開度の制御システムについて図-4に示す。この図では式(1)から導かれる次式を用いて、必要制御力とピストンの運動速度からバルブ開度を決定している。

$$\delta = \left| \frac{\dot{x}}{\beta(\delta)} \right| \sqrt{\frac{kA^3}{F_T - F_f}} \quad (2)$$

ここに F_T は目標とする発生減衰力である。ただしこの式は左辺にバルブ開度 δ の関数である補正係数 β が存在するため、繰り返し計算が必要となる。そこで、設定した時間に行えるだけの繰り返し計算を行ってバルブ開度 δ を決定する。

4. 構築した制御システムによる減衰特性の制御

a) 粘性減衰型ダンパーの実現

図-2にも表現されているように一般のオイルダンパーの減衰力はピストンの速度に比例せず、非線形の関係で表される。そこでバルブの開度を制御することで常に速度に比例した減衰力を発生させるように試みる。これはピストンの運動速度の計測値と、その値に一定の減衰係数を乗じて求められる減衰力の目標値から、図-4に示す制御機構に基づいて、オンラインでバルブの開度を制御した。図-5は減衰力の目標値と計測値をプロットしたものである。ピストンの運動方向が逆転した直後に若干履歴曲線の形が乱れているが、ほぼ破線で示される目標減衰力を発生しており、一定の減衰係数を持つダンパーが実現できていることが分かる。

b) 摩擦型ダンパーの実現

次に、バルブの開度を制御することでピストンの運動方向によらず常に一定の減衰力を発生させる摩擦型のダンパーを実現する。この場合は目標とする制御力を一定とし図-4の制御システムに基づきバルブの開度を制御する。図-6は減衰力の目標値と計測値をプロットしたものである。a)の時と同様、ほぼ破線で示される目標減衰力を発生しており、摩擦型ダンパーが実現できていることが分かる。

5. 結論

本研究では、可変減衰装置の試作モデルを開発し、減衰力を調節するバルブの開度を効率よく制御できるバルブ開度の制御システムを構築した。またいくつかの履歴形状を実現することで、構築した制御システムの有効性を検証することができた。

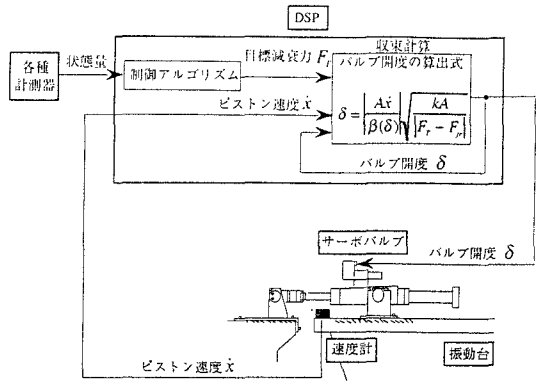


図-4 バルブ開度の制御システム

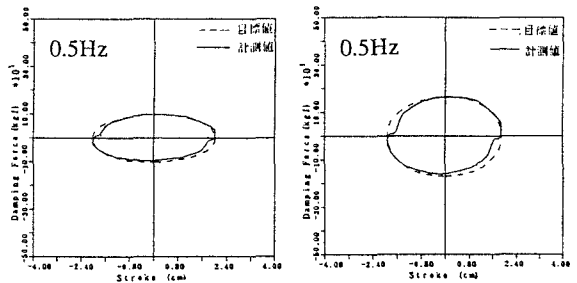


図-5 粘性減衰型ダンパーの実現

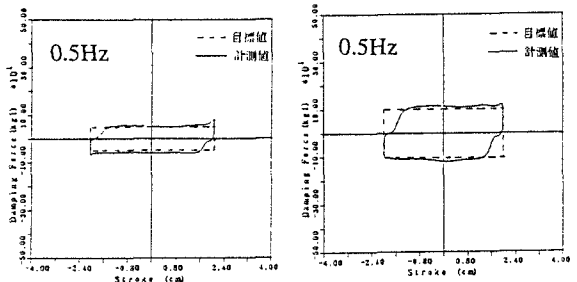


図-6 摩擦型ダンパーの実現