

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、振動台実験により開発した可変減衰装置の試作模型の動特性を把握し、それを基に装置の発生する制御力の定式化を行った。さらに免震構造物に対し補助的に付加するダンパーとして、最適減衰係数を持つ通常のオイルダンパーとバリアブルダンパーを採用し、両者による震動制御効果を比較検討することで可変減衰装置による地震時における応答制御の可能性を数値実験により検証した。

2. 可変減衰装置の動特性の決定

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、この装置のバルブの開度を一定に保ったままで正弦波により加振実験を行った。装置の減衰力がピストンの速度の二乗に比例すると考えられるため $F = B\dot{x}^2$ と与え、その係数 B を同定することで復元力モデルを得た。図-2 に実験で得られた減衰力の履歴曲線と上に示した式によるシミュレーション結果を示す。これにより上式が装置の試作模型の減衰力特性をほぼ忠実に再現することがわかる。

次に実験結果からバルブの開度と係数 B の相関関係を定式化することで、現時刻において必要とされる制御力を発生させるためのバルブ開度を求め、それにより実際に発生する減衰力を導くシステムを構築した。図-3 に制御力の導出過程を示す。

3. 免震構造物における最適減衰係数の決定

可変減衰装置を用いた数値実験による震動制御対象として、鉛入り積層ゴムを免震層に設置し、さらに応答変位の低減を主目的として補助的にダンパーの取付けられた免震構造物モデルを採用した。モデルの概要を図-4に示す。免震層の非線形復元力特性を表現する手段として VERSATILE 型の復元力モデルを使用した。また1次固有周期は免震層が10 cm以上変形した場合に約2秒となっている。

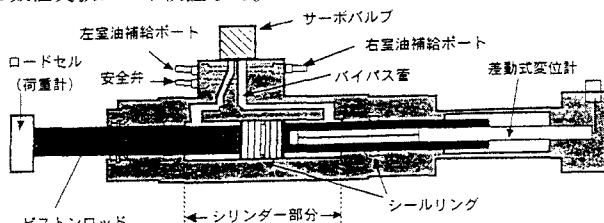


図-1 可変減衰装置の試作模型の断面図

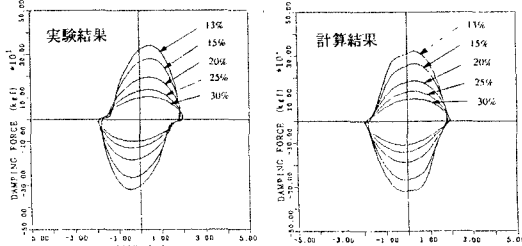


図-2 荷重-変位の履歴曲線 (0.8Hz)

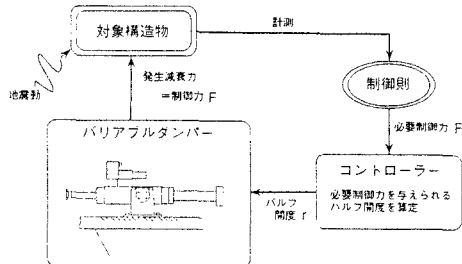


図-3 制御力の導出過程

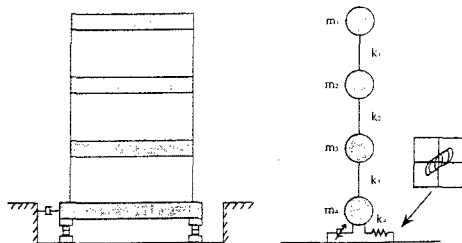


図-4 解析モデル

免震構造物に設置するオイルダンパーの最適減衰係数を決定する際、免震構造物にダンパーを付加することで応答変位だけでなく応答加速度の軽減も可能であるという事実に着目し、最大応答加速度を最小にできる減衰係数を最適減衰係数として採用した。さらにモデルを1自由度線形近似することで定点理論を用いて設置するオイルダンパーの最適減衰係数を理論的に求めた。この両方の方法によって得られた最適減衰係数はほぼ一致しており、本研究で定義した最適性の条件の妥当性を確認することができた。

4. 可変減衰装置を用いた免震構造物の制御

免震構造物に付加するダンパーを可変減衰装置にして、最適減衰係数を持つ通常のオイルダンパーによる制震効果との比較を行った。制御効果を評価する手段として

応答変位比 = (最大応答変位) / (最適ダンパー設置時の最大応答変位)

発生減衰力比 = (最大発生減衰力) / (最適ダンパー設置時の最大発生減衰力)

を定義した。仮に、この比の両方が1以下の領域が存在すれば最適ダンパーを設置した場合に対し、より少ない制御力で応答変位を軽減でき効果的に制御を行っているといえる。

まず、バルブの開度を時々刻々と変化させることで最適ダンパーの実現を試みた。図-5の左図は横軸に目標とする減衰係数をとった時の応答変位比及び発生減衰力比の変化の様子を示している。これより応答変位比及び発生減衰力比の両者がほぼ1となる領域が現れており最適ダンパーと同じ制御効果をバルブの開度を制御することで得ることができた。また図-5の右図にEl Centro (NS)の観測記録を入力した時の可変減衰装置の描く履歴曲線及びバルブ開度の時刻歴を示す。

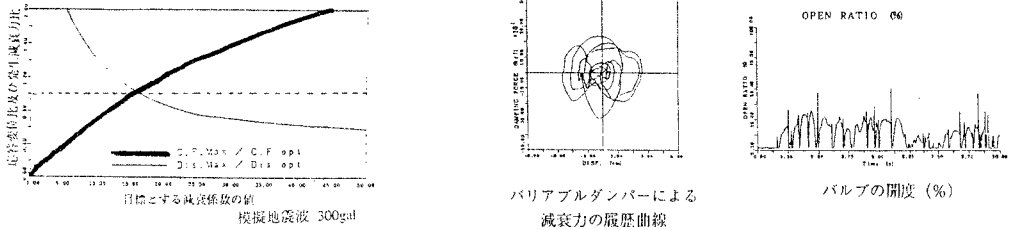


図-5 最適ダンパーの実現による制御効果

さらにバルブの開度の制御により、ピストンの運動方向に対し常に一定の減衰力を発生させることで摩擦型のダンパーの実現を試みた。図-6の左図に発生減衰力の目標値を横軸にとった時の応答変位比及び発生減衰力比の変化の様子を示す。また図-6の右図に図-5と同様にEl Centroの観測記録を入力した時の履歴曲線等を示した。左図によると両者が1以下の領域が存在し最適ダンパーと比べてより効果的な制御が行われていることが分かる。この理由として減衰力の上限を設けたにも関わらず、1サイクルに履歴曲線が描く面積が大きくなったことで、ダンパーの吸収するエネルギー量が増加したことが挙げられる。しかしながら加速度の応答値が増加するなどの問題点もありこれらを考慮にいれた制御方法を考える必要がある。

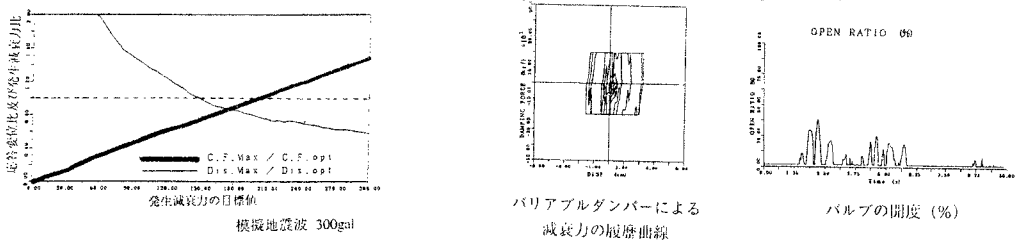


図-6 摩擦型ダンパーの実現による制御効果

5. 結論

本研究では開発した可変減衰装置の動特性を明らかにすることで、バルブの開度を制御し必要制御力を発生させるシステムを構築した。またバルブ開度を時々刻々と変化させることで線形の減衰特性を有する理想的なオイルダンパーや、摩擦型ダンパーを実現できた。