

京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学部 学生員 ○中田 成智

1. はじめに

構造物の地震応答を低減するため、振動特性の異なる構造物を減衰機能を持つ装置で連結したジョイントダンパーについての研究が進められている。本研究では、バリアブルダンパーをジョイントダンパーとして用い、リアルタイムでバリアブルダンパーを制御するセミアクティブ制御手法を提案する。可変減衰の決定に最適制御理論を適用し、このときの制震効果を数値シミュレーションにより検討した結果、パッシブ制御よりも有効な震動制御が実現可能なことを示した。

ジョイントダンパー

2. 解析モデル

構造物のモデルとして、図 1 に示すような 5 層フレームと 3 層フレームの 3 層部をジョイントダンパーで連結したモデルを想定する。このモデルの総重量は、3 層の方が 61.2(ton)、5 層の方が 163.1(ton)、固有振動数がそれぞれ 1.78(Hz)、2.41(Hz)、1 次減衰定数がともに 0.005 である。なお、この 2 棟連結構造物は、京都大学宇治構内で構築・整備中の実大実験施設をモデル化したものである。

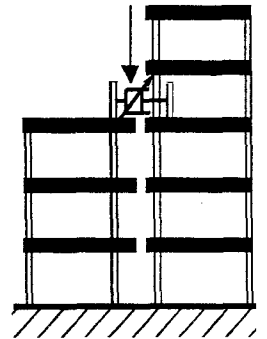


図 1.モデル図

3. 制御アルゴリズム

3.1 最適制御理論 ダンパー結合部での最適制御力を LQ 理論により求め、バリアブルダンパーの可変減衰を変化させることにより、最も求められた最適制御力に近い力を減衰力として発生させる。最適制御力の算出に用いる重み行列は、一次のモード振動を低減することを目的とするため、変位についてはそれぞれの一次モードでの各層の変位に層数比を乗じたもの、速度については変位に対するものにそれぞれの一次固有振動数の二乗で除したものを与えることとする。このように設定した $\tilde{Q}$ に対して、 Q を制御ゲインパラメーターとして状態量に対しては $Q = 10^2 \times \tilde{Q}$ を、制御力に対しては $R=1.0$ を与えることとする。LQ 理論により次式に示す状態量 X と制御力 u の二次形式の評価関数 J を最小化する最適制御力を求める。

$$J = \int_0^{\infty} (X^T Q X + u^T R u) dt$$

最適制御力 u は状態量 X をフィードバックする形で表され、 $u = -GX$ となる。

3.2 制御制約 バリアブルダンパーを制振装置として用いる場合、図 2 に示す各時刻におけるダンパー結合部での相対速度に比例した減衰力として表現できる力のみがバリアブルダンパーで発生可能な制御力となる。第二、第四象限に制御力が存在しないのは、ダンパーであるかぎり相対速度と逆の向きにしか制御力が発生しないためである。

3.3 可変減衰の決定 図 2 に示す領域で次のように可変減衰の値を決定する。

$$c_v = \begin{cases} c_{\max} & (\text{i}; u/\dot{x}_r > c_{\max}) \\ u/\dot{x}_r & (\text{ii}; c_{\min} < u/\dot{x}_r < c_{\max}) \\ c_{\min} & (\text{iii}; u/\dot{x}_r < c_{\min}) \end{cases}$$

こうして求めた可変減衰の値をバリアブルダンパーに設定する。

なお、ここでは $c_{\min} = 100.0$ (kN・s/m), $c_{\max} = 1000.0$ (kN・s/m) とする。

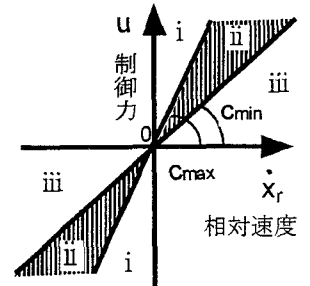


図 2.制御制約

4. 解析結果

4.1 調和外力に対する制振効果 パッシブ制御

では粘性係数を、セミアクティブ制御では制御ゲインパラメーターをパラメーターに扱い、0.2～5.0(Hz)の50(gal)の調和外力を入力したときの系全体の最大周波数応答を最も効率よく低減する値を求めると、パッシブ制御が $c=220.0$ (kN・s/m)、セミアクティブ制御が $Q=6.4$ となり、このときの周波数応答曲線は図3のようになる。3層構造物に対しては、一般的にセミアクティブ制御の方が応答が大きくなるが、最大応答ではほとんど変わることなく、5層構造物の最大応答で39.2%低減することができる。この結果から、パッシブ制御に比べてセミアクティブ制御の方が最大周波数応答では効果的に振動応答を低減することができると思われる。

4.2 地震動入力に対する制振効果 入力加速度として、図4に示す兵庫県南部地震神戸海洋気象台観測加速度記録を50(gal)にスケーリングした地震波を用いる。地震動入力時の応答特性として、最大応答変位、最大応答絶対加速度、変位応答RMS値、吸収エネルギーを取り上げ、それぞれ評価項目でパッシブ制御、セミアクティブ制御とも最適なパラメーターを用いたときの応答を比較する。

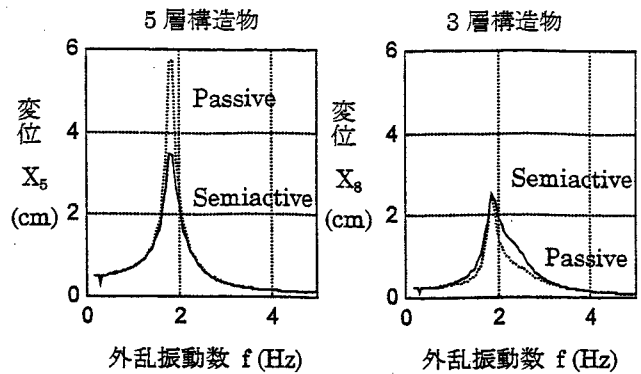


図3. 周波数応答曲線

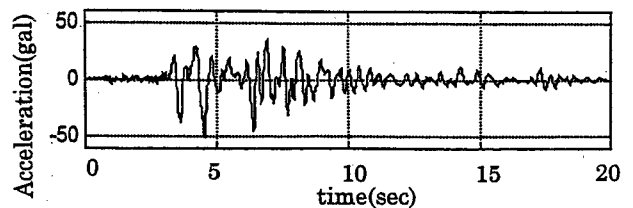


図4. 入力加速度

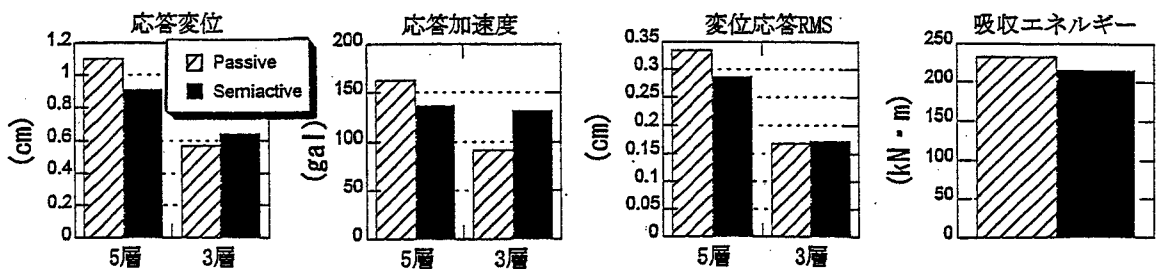


図5. 地震動入力時の応答特性

これらの結果から、ダンパー部での吸収エネルギーはパッシブ制御の方がセミアクティブ制御に比べて大きくなるが、構造物の応答振幅を表す指標から判断すると、系全体の応答を低減するという意味では、セミアクティブ制御の方がパッシブ制御よりも効果的な振動制御が可能であると考えられる。

5. 結論

本研究では、ジョイントダンパーにバリアブルダンパーを用い、最適制御理論に基づいてリアルタイムで可変減衰を制御するセミアクティブ制御手法を提案した。そして、この制御システムの制振効果を数値シミュレーションにより検討した結果、粘性ダンパーを用いたパッシブ制御よりも効果的な応答低減が可能であることを明らかにした。これにより、バリアブルダンパーをリアルタイムで制御するセミアクティブ制御が、ジョイントダンパーシステムにおいては有効であると考えられる。

【参考文献】

藤原寅士良・家村浩和・五十嵐晃：ジョイントダンパーによる隣接構造物の震動制御と最大応答の評価、第52回年次学術講演会講演概要集、1997年9月