

I-B483

最適制御理論に基づくバリアブルダンパーを用いた連結構造物の震動制御に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○中田 成智
 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

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、可変減衰の決定に最適制御理論を適用したセミアクティブ制御手法を提案する。この制御を用いた場合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を示す。

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。

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 u を LQ 制御により求め、これに対して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、最も最適制御力に近い力を減衰力として発生させる。一次のモード振動を低減することを目的として設定した基本的な重み行列 $\tilde{Q}$ を用い、状態ベクトルに対しては $Q = 10^0 \times \tilde{Q}$ を、制御力に対しては $R=1.0$ を重みとして与えることとし、 Q を制御ゲインパラメーターとして指定することとする。

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。

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フィードバックさせる。なお、ここでは $c_{\min} = 100.0 \text{ (kN} \cdot \text{s/m)}$, $c_{\max} = 1000.0 \text{ (kN} \cdot \text{s/m)}$ と設定する。

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として扱い、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 $c = 220.0 \text{ (kN} \cdot \text{s/m)}$ 、セミアクティブ制御が $Q = 6.4$ となる。このときの周波数応答曲線は図3のようになる。この結果から、パッシブ制

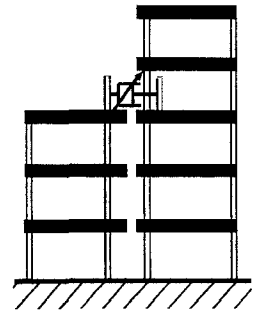


図1.モデル図

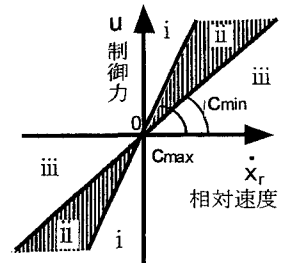


図2.制御制約

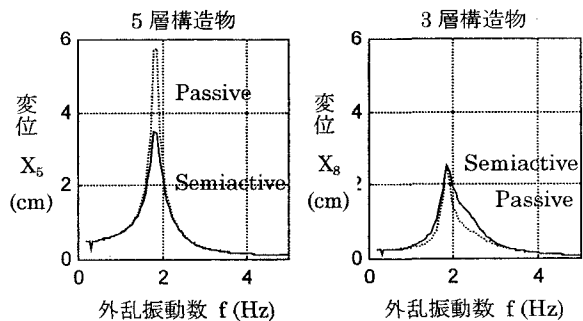


図3.周波数応答曲線

キーワード：セミアクティブ、バリアブルダンパー、連結構造物、最適制御理論
 京都市左京区吉田本町・TEL 075-753-5088・FAX 075-753-5926

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考えられる。

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を用いたときの応答を比較する。

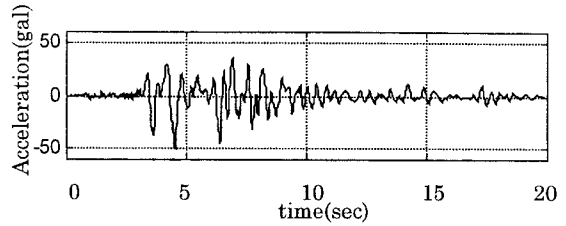


図4.入力加速度

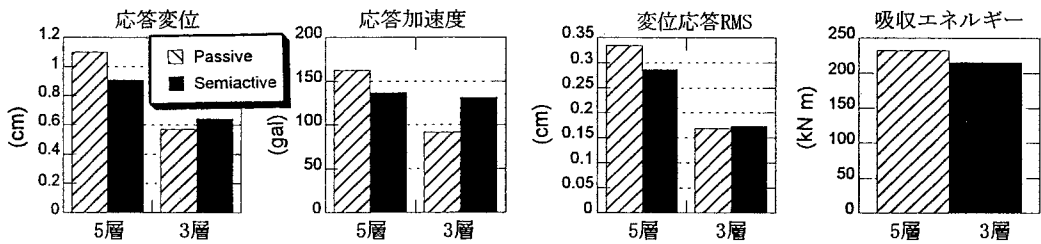


図5.地震動入力時の応答特性

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り、エネルギー特性は良好といえるが、その他の評価項目から判断すると、系全体の応答を低減することを目的とした場合、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. 力学的特性に関する考察

バリアブルダンパーの変位 - 復元力特性に着目し、図6に示すように等価剛性・等価減衰係数を用いて構造物を線形系と見なすと、バリアブルダンパーは負の剛性を持つと解釈できる。これは連結構造物に負の擬似剛性を与えることにより、連成系全体の固有振動数を変化させ、長周期化させることで非共振状態を保つ低層部逆負荷システムによる手法と同様の特性であるといえる。言い換えるとこのシステムの動作原理は、バリアブルダンパーのエネルギー吸収機能と減衰係数を変化させることによる擬似負荷剛性により応答低減を達成しようとするものと考えられる。

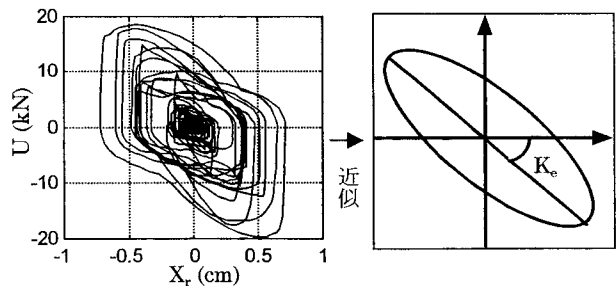


図6.バリアブルダンパーの変位 - 復元力特性

このシステムの動作原理は、バリアブルダンパーのエネルギー吸収機能と減衰係数を変化させることによる擬似負荷剛性により応答低減を達成しようとするものと考えられる。

6. 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、時々刻々の可変減衰の決定に最適制御理論を適用したセミアクティブ制御手法を提案した。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。また、バリアブルダンパーの力学的特性に着目して考察を行った結果、このシステムは負の擬似剛性を与えることにより応答低減を達成しようとするものであることを明らかにした。

【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