

京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 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 学生員 ○ 中田 成智

1 概要 連結構造システムにおいてバリアブルダンパーを制震装置として用いるセミアクティブ震動制御手法の実証実験を実物大連結型構造フレームを用いて行った。最適制御理論を適用した制御アルゴリズムを用いた場合の正弦波地動入力や実地震動波形入力に対する応答低減効果を、粘性ダンパーによるパッシブ震動制御手法の場合と比較し、セミアクティブ制御手法の有効性を実験的に検討した。

2 実験システム

2.1 試験体フレーム 京都大学防災研究所に設置されている実物大5層・3層フレーム構造物を用いる。バリアブルダンパーは3層部で連結するように装填されており、正弦波、および実地震動波形などのランダム波入力時の応答再現は、各フレームに設置された加振装置によって行う。以下に諸元、概観を示す。

表1. 試験体フレームおよび加振装置諸元

	5層フレーム	3層フレーム
高さ	17.22m	10.65m
総重量	163.1ton	61.2ton
一次固有振動数	1.78Hz	2.41Hz
加振装置	5ton (4層部)	2ton (3層部)

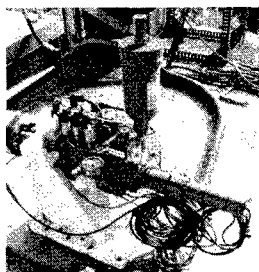
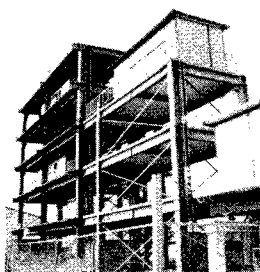


写真1. 試験体フレーム 写真2. バリアブルダンパー

2.2 バリアブルダンパー装置 本実験で用いるバリアブルダンパー装置はオイル式であり、2つのシリンダをつなぐバイパス管にあるバルブの開度を、外部指令により調節することでバルブ間の圧力損失量を変化させ、要求する荷重を発生させるというものである。

である。なお、ダンパー動特性関係式(荷重-相対速度-バルブ開度関係)は性能試験から次のように導かれた。

$$F(h, v_r) = \text{sgn}(v_r) \left\{ \left(\frac{159.232}{h^2} + 307.2 \right) v_r^2 + 0.6 \right\} (kN)$$

$F(kN)$: 荷重, h : バルブ開度, $v_r(m/s)$: 相対速度

バリアブルダンパーの制御にはDSPを用い、サンプリング周波数2kHzで行う。ダンパーおよび構造フレームの応答をリアルタイムで取り込むことができるため、種々のアルゴリズムを採用することが可能なシステムとなっている。左下にバリアブルダンパー装置の概観、上に制御可能領域を示す。

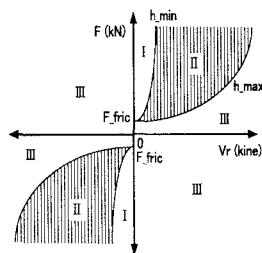


図1. 制御可能領域

3 制御アルゴリズム 以下の2つの制御手法をアルゴリズムとして用いた震動制御実験を行った。

3.1 パッシブ制御 粘性ダンパー型: 速度に比例した荷重を発生させる線形粘性要素としてバリアブルダンパーを挙動させる。

$$F = C v_r \quad C: \text{連結粘性}$$

3.2 セミアクティブ制御 最適制御理論型: 最適制御理論を用いて構造物の全状態量から算出されたダンパー部における最適制御力を要求荷重とする状態フィードバック制御。

$$F = -GX \quad G: \text{フィードバックゲイン} \\ X: \text{状態変数ベクトル}$$

各制御手法における実験で用いた設定パラメータは、想定するそれぞれの入力に対して最適・準最適であると考えられる値をあらかじめ解析により求めた。

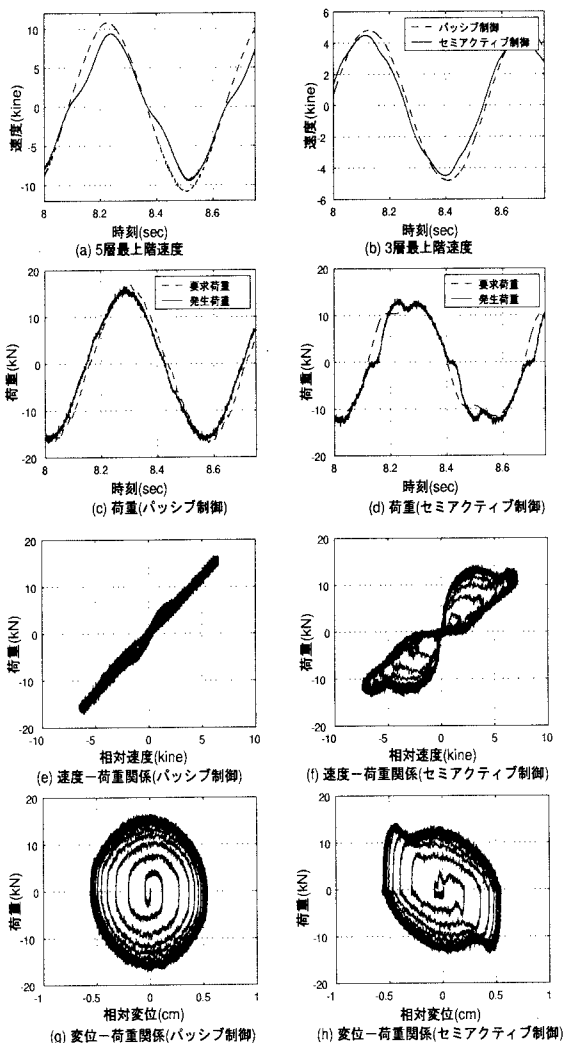


図2. 正弦波入力時の応答

4 実験結果 構造システム全体系の1次固有振動数付近である1.8(Hz)(10gal)の正弦波地動入力時の応答を図2に示す。この図が示すように、粘性ダンパー型において、ダンパー履歴形状を十分な精度で制御できており、また最適制御理論型においても、要求荷重へのダンパー発生荷重の追従がほぼ達成されていることが確認できる。応答を比較すると、3層最上階での速度応答でほとんど差はないものの、5層最上階に関しては粘性ダンパー型パッシブ制御に比べ、最適制御理論型セミアクティブ制御の方が効果的に応答を低減している結果となっている。速度-荷重関係を見てわかるように、セミアクティブ制御ではダンパーの制御可能領域を有効に用いて効果的に減衰特性を変化させたため、応答低減を実現したものの

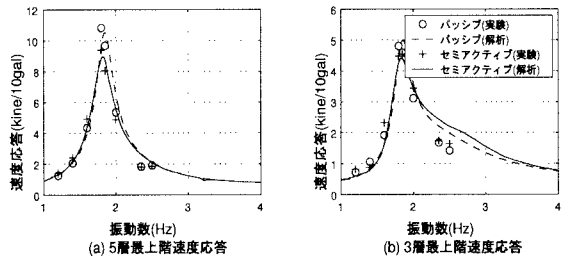


図3. 周波数応答の比較

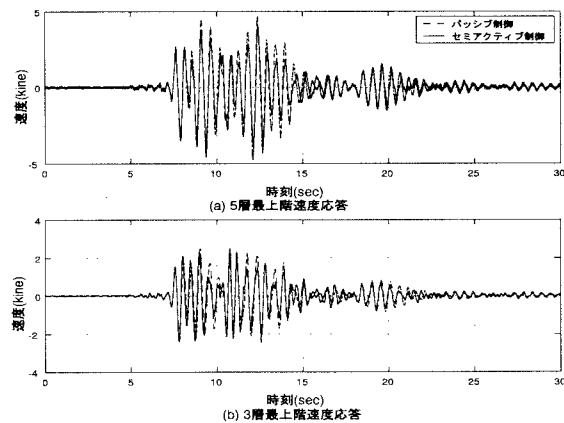


図4. 実地震動波形入力時の応答比較

と考えられる。

図3が示すように、他の周波数成分に対しても両制御手法とも、解析とほぼ同様の特性を示しており、実験においてもピーク付近でパッシブ制御に比べ、セミアクティブ制御の方が応答の低減に効果的であることがわかる。

図4に示す実地震動波形(Kobe NS成分波 max20gal)入力時の応答を比較しても、3層最上階速度応答ではほぼ変わらないものの、5層最上階に対してはセミアクティブ制御の方が効果的に応答を低減していることがわかる。

5 結論 本研究では、連結構造システムにおいてバリアブルダンパーを用いるセミアクティブ震動制御手法の有効性・応答低減効果について、実物大連結構造フレームを用いた実験により検証した。その結果、セミアクティブ制御手法がパッシブ制御手法よりも効果的であることを実証的に示した。

参考文献

- [1] 家村浩和・五十嵐晃・中田成智:「連結構造物のバリアブルダンパーによる最適震動制御に関する研究」、構造工学論文集 Vol.46A,2000