

実大連結構造物の擬似負剛性付加型セミアクティブ震動制御実験

京都大学大学院 学生員 中田 成智
 京都大学工学研究科 フェロワー 家村 浩和
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃

1. 概要

従来より振動特性の異なる構造物を負剛性要素で連結することによる制震手法が検討されているが、本研究では連結装置としてバリアブルダンパーを用いて擬似的に負剛性を実現する連結構造システムのセミアクティブ制御アルゴリズムを提案した。応答低減効果を実大連結制震実験用鋼製フレーム構造を用いた実験により検証し、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た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

(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各構造物の3層部で連結するように設置されており、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	17.22 m	10.65 m
総重量	163.1 ton	61.2 ton
一次固有振動数	1.78 Hz	2.41 Hz
加振装置	5 ton (4層部)	2 ton (3層部)

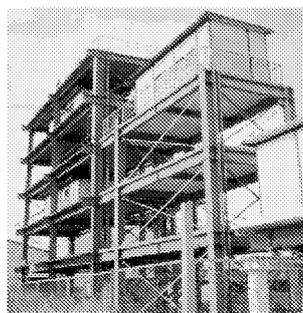


写真1. 試験体フレーム

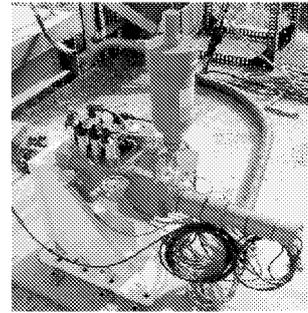


写真2. バリアブルダンパー

(2) 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。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。

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

$F(kN)$: 荷重, h : バルブ開度, $\dot{x}_r(m/s)$: 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。右上にバリアブルダンパー装置の概観、右に制御可能領域を示す。

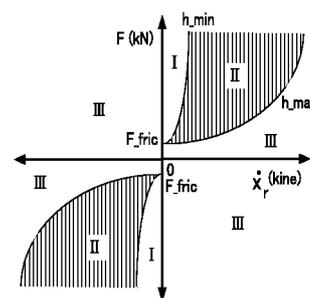


図1. 制御可能領域

3. 制御アルゴリズム

一般的に連結構造システムの結合部における荷重を $F = Kx_r + C\dot{x}_r$ (ここで x_r は連結部の相対変位) とすると、最適調整条件(最適剛性・粘性)は負剛性 ($K < 0$) であり、これはパッシブ制御デバイスでは実現困難である。しかし、セミアクティブデバイスでは完全な負剛性を実現することはできないが、それを擬似的に挙動させることは可能である。そこでバリアブルダンパーを負剛性要素として挙動させる擬似負剛性付加型のセミアクティブ制御アルゴリズムを提案し、それを用いた震動制御実験を行った。なお、最適調整条件については複素固有値解析の1次モード減衰比・システム特性から評価し、その一例として連結剛性 $K = -1800(kN/m)$ 、連結粘性 $C = 200(kN \cdot s/m)$ を用い、比較として用いる粘性ダンパー型パッシブ制御の粘性係数は入力により解析から得られた最適値を用いた。

Key Words: セミアクティブ制御、連結構造物、負剛性、バリアブルダンパー

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL(075)753-5088 FAX(075)753-5926

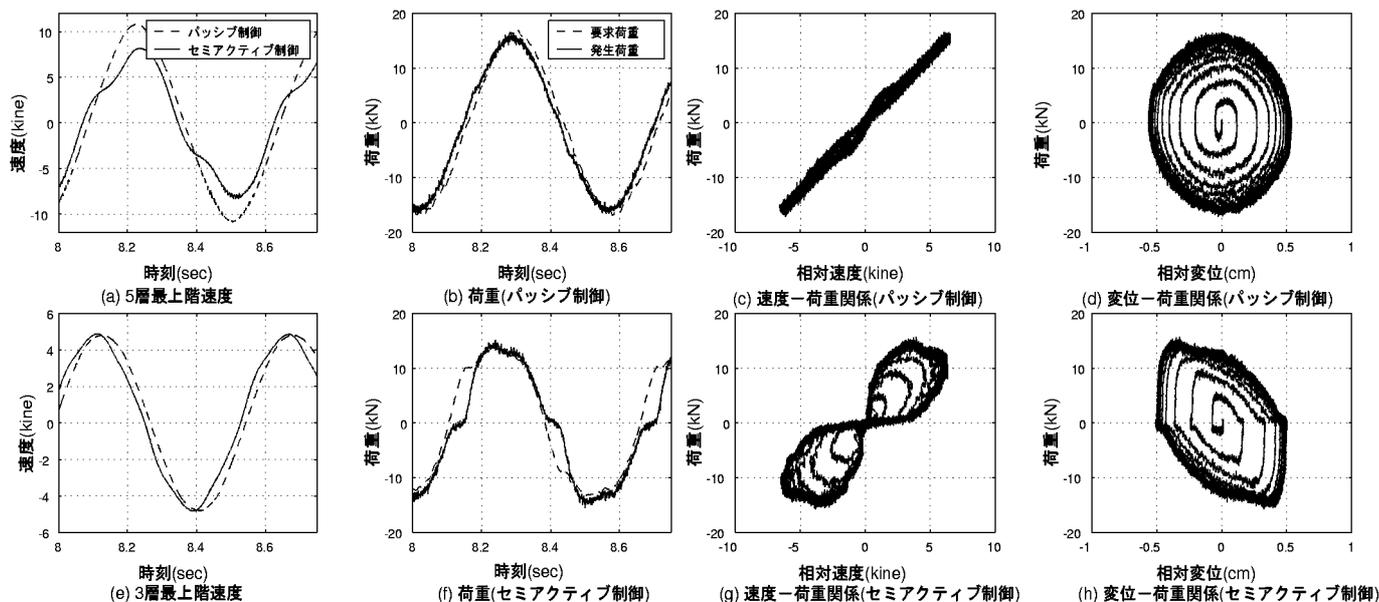


図2. 正弦波入力時 (1.8Hz, 10gal) の応答

擬似負剛性付加型セミアクティブ震動制御では、制御アルゴリズムに難解な制御理論を必要としないだけでなく、ダンパーの挙動のみを制御しているため入力に用いるデータ数が少なく、各層にセンサーを必要しない点からも実構造物への実装に適したシステムであると考えられる。

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、両制御手法共ほぼダンパー発生荷重が要求荷重に追従しており、履歴形状からも十分な精度でダンパーを制御でき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、擬似負剛性付加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。これは速度-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、負の剛性を実現したため応答低減を実現したものと考えられる。

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ピーク値だけでなく過渡応答においても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、連結要素をパッシブ制御デバイスでは実現困難な負剛性として挙動させようとする擬似負剛性付加型アルゴリズムを適用したセミアクティブ震動制御手法の有効性・応答低減効果を、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、正弦波地動入力時のみならず実地震動波形入力時においても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
- 2) 井川望・山田祐司・横山浩明・橋英三郎、「2棟連結による制震システムに関する研究」、アクティブ制震シンポジウム論文集、pp.333-340、1992.
- 3) 蔭山満・吉田治・安井謙、「連結された2重系構造物の最適制振」、大林組技術研究所報告集 No.49、pp.31-36

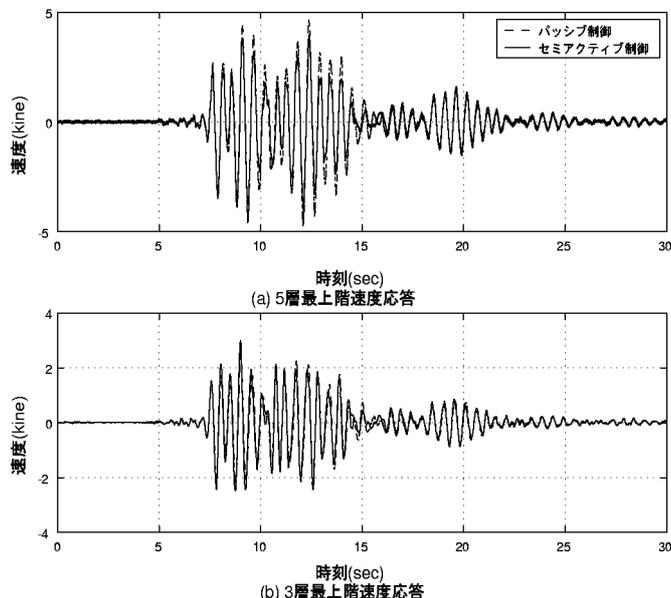


図3. 実地震動波形入力時の応答比較