

京都大学工学研究科 学生員 ○ 豊岡 亮洋
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

1 概要 本研究では、京都大学防災研究所構内の5層-3層実大構造からなる振動制御実験システムを用いて、バリアブルダンパーをジョイントダンパーシステム(以下JDS)として用いた場合の振動制御効果について、解析的、および実験的に検証を行った。

2 実験システムの概要 京都大学防災研究所に設置の実大実験システムを図1に示す。連結部にはエネルギー吸収装置として、バルブ開度をリアルタイムに変更することにより物理限界の範囲内で任意の制御力を発生させることが可能な、バリアブルダンパー装置(可変減衰装置)を設置している。このダンパーは、DSPにより制御し、その制御ブロックはMATLABのSIMULINKにより記述する。DSPへはダンパーのストローク、速度、荷重などの計測値を取り込むことが可能なため、これらの応答値を用いたダンパーの制御を行うことができる。また、実験構造物に振動状態を発生させるために、3層3階部および5層4階部に設置の加振装置を同時に制御する。

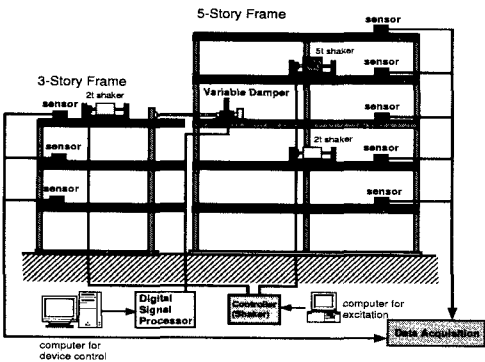


図 1 実大構造実験システム

3 バリアブルダンパーの制御 本実験構造物にバリアブルダンパーを設置した状態で構造物を振動させることにより、ダンパーの動的特性試験を行った。その結果、速度応答 v と制御力 F の間に、バルブ開度 h を介した次のような関係式が成立しているこ

とが判明した。

$$F(v,h) = \left(\frac{a}{h^2} + b\right)v^2 + \left(\frac{c}{h} + d\right) \tag{1}$$

$a = 153.3612, b = 306.3751$ $c = 0.1442, d = 0.4430$

本ダンパーを粘性ダンパーとして用いるには、この関係式において制御力指令値を $F(v) = C_D \cdot |v|$ と設定し、それをもとに必要なバルブ開度 h を求める。そして、この h を各時刻において与える制御を行う。

4 正弦波入力を想定した実験 これらの結果を用いて、地表面から最大加速度10(gal)の正弦波地震動が入力した場合を想定し、加振振動数および連結部の粘性係数を様々に変化させた振動実験を行った。これは、デバイスの挙動の再現性を検討することを目的としている。連結部の粘性は200-600(kN/m/sec)の範囲で変化させた。また、加振の振動数は1.0(Hz)から4.0(Hz)まで0.5刻みで設定し、それとは別にそれぞれの構造物の1次固有振動数、連結時の1次共振振動数を設定した。図2には、加振周波数を5層構造物の1次固有周期である1.75(Hz)に設定したときのバリアブルダンパーの変形-荷重の履歴形状を、解析値と比較して示す。図の上段が実験、下段が解析結果であり、連結粘性は左からそれぞれ200,400,600(kN/m/sec)の場合である。この比較より、ストローク、荷重ともに粘性ダンパーの挙動が実験上も良好に再現されていることが分かる。また、図3には、応答の大きさの指標として、次の式で定義されるNRノルムを用いて応答値を表示した結果を示す。

$$NR = \left(\frac{\max(|v_{33}|)}{\max(|v_{33(nj)}|)} + \frac{\max(|v_{55}|)}{\max(|v_{55(nj)}|)} \right) \tag{2}$$

ここに、 v_3, v_5 は連結時の共振点における3層3階部、5層5階部の相対速度応答であり、 $v_{33(nj)}, v_{55(nj)}$ はそれぞれ、連結しない場合の共振点における5層階部、3層階部の相対速度応答である。この指標は、2つの構造物を一体と見なした場合の制振効果について検

討するのためのものであり、非連結時の共振時最大応答を基準とした場合の連結時共振応答を倍率の形で表したものである。図3より、実験値は値、傾向ともに解析結果と良好に一致していることが分かる。また図における増減傾向から、これらノルム応答をパラメータとした場合に、連結部の粘性に最適値が存在すること、およびその最適値がダンパーの制御範囲内(200-600(kN/m/sec))においては実験と解析とで一致していることも分かる。

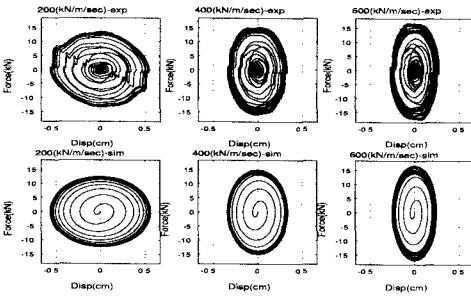


図2 履歴形状の比較(上:実験/下:解析)

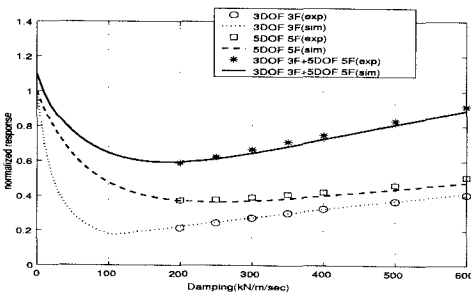


図3 正規化応答値の比較

5 地震動入力を想定した実験 次に、実地震動入力を想定した場合の振動実験を行った。入力としては最大加速度振幅を10(gal)にスケールしたEl-Centro NS成分波、およびKobe NS成分波を用いた。図4には連結粘性を200(kN/m/sec)に設定した場合と非連結の場合の時刻歴応答の比較を示す。El-Centro NS入力の場合、5層構造物に関しては、特にピーク後の応答に対して比較的大きな制振効果が見られるが、3層構造物の方は、最大応答で見た場合にはむしろ応答が大きくなる傾向が生じている。これは、連結したことにより3層の1次固有振動数が低周波数方向に移動した結果、El-Centro NS成分波のように比較的低周波数領域にピークを持つような入力波を想定した場合、逆に応答が大きくなったものと考えられる。Kobe NS成分波について比較した場合、3層構造物の

方がEl-Centro NS入力の場合とは逆に制振効果が得られているが、この理由としては、Kobe NS成分波のように比較的高い周波数にピークを持つ入力を想定した場合には、入力の卓越周波数帯域から3層構造物の共振域が外れるため、結果的に応答が低減されているものと考えられる。5層5階部に対してはそれほどの応答低減効果がみられないが、これは、Kobe NS成分波は応答初期のパルスの振動が支配的であるため、デバイスにより十分にエネルギー吸収を行うことができないためではないかと考えられる。

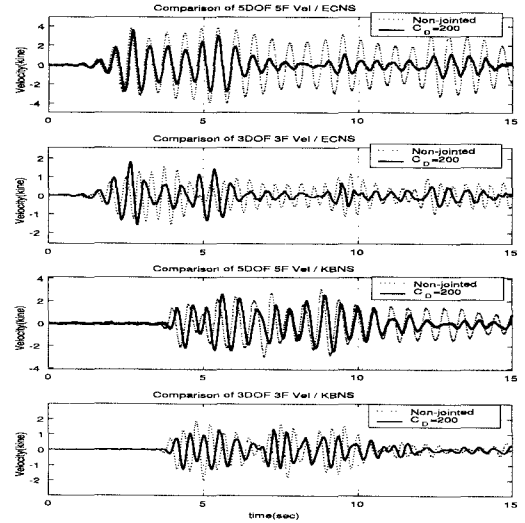


図4 地震波別制振効果(上:El-Centro NS/下:Kobe NS)

6 結論 本研究においては、バリアブルダンパーデバイスを粘性ダンパーとして機能させるための性能試験、アルゴリズムの検討を行い、正弦波地震動を想定した実験結果により、共振点近傍でその挙動を良好に再現できることを示した。また、実地震動を想定した実験により、El-Centro NS入力のように比較的低周波数の卓越する地震動に対してはデバイスのエネルギー吸収による減衰性能の増加、Kobe NS入力のように比較的高周波数の卓越する地震動に対しては、連結に伴う非共振化による最大応答の低減効果といった制震効果が期待できることを実験的に示した。

参考文献

- [1] 藤原寅士良、ジョイントダンパーによる隣接構造物の振動制御に関する実験的研究、修士論文、京都大学、1999