

バリアブルジョイントダンパーシステムを用いた実大構造物の振動制御実験

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、ジョイントダンパーシステム (以下 JDS) の有効性を検証することを目的とし、京都大学防災研究所の5層-3層実大構造実験システムに対して粘性ダンパー型の制御を行ったバリアブルダンパーを用いた場合に着目した実験を行い、JDSを実大スケールの構造物に適用した場合の振動制御効果の検証を行った。

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により制御され、A/Dインターフェースを介して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、これらの応答値をオンラインで用いたダンパーの制御を行うことができる。また、実験構造物に加振応答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。

3. 装置性能試験

本研究においては、可変減衰装置を用いて速度に比例した制御力を発生させる理想的な粘性ダンパーの挙動を再現すること想定しているが、このためには装置の動的特性を把握することが必要となる。そこで、本実験構造物にダンパーを設置した状態で構造物を振動させ、その結果をもとにダンパーの特性を決定する性能試験を行った。実験は、ダンパーのバルブ開度を一定に保持させる制御を行った状態で構造物を共振振動数により振動させ計測した発生荷重、速度データから曲線適合により特性式を決定した。その結果、速度応答 v と制御力 F の間に成立する、バルブ開度 h を介した関係として、次式を得た。

$$F(v, h) = \left(\frac{153.3612}{h^2} + 306.3751 \right) v^2 + \left(\frac{0.1442}{h} + 0.4430 \right) \quad (1)$$

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ような制御を行う。

4. 正弦波入力を想定した実験

デバイスの挙動の再現性について検討するため、正弦波地震動入力を想定し、加振振動数および連結部の粘性係数をを様々に変化させる振動実験を行った。連結部の粘性は 200~600(kN/m/sec) まで変化させ、加振振動数としては、応答に支配的な非連結時の1次固有振動数、および連結時の1次共振振動数を想定した。いま、再現性評価の指標の一つとして、次の式で定義される NR 応答値を設定する。

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

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2には、この指標値の実験値と解析値との比較を示す。この図より、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。また値の増減傾向の比較により、本応答指標を最適化指標に設定した場合、連結部の粘性に最適値が存在し、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が分かる。

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) にスケールリングした El-CentroNS 成分波、および KobeNS 成分波を設定した。図3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。いずれも、上段が 5 層 5 階部速度応答、下段が 3 層 3 階部速度応答である。El-CentroNS 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、El-Centro NS 成分波が比較的低い周波数領域にピークを持つため、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、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は、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。この理由として、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ことが考えられる。5 層 5 階部に対してはあまり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、デバイスが十分にエネルギー吸収を行うことができないためと考えられる。

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、共振点近く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、JDS による応答低減効果の、想定する入力地震動の卓越振動数による相違を示した。

参考文献

- 1) 藤原寅士良・家村浩和・五十嵐晃, 連結構造物の振動制御に関する実験的研究, 第 54 回年次学術講演会 I-B484、1999

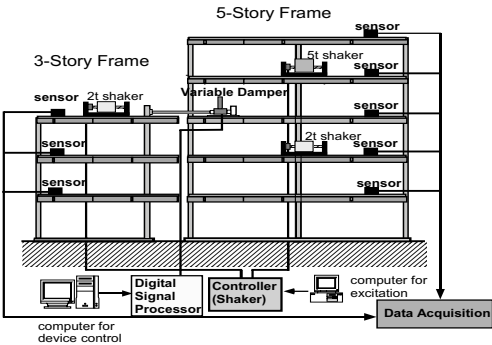


図1 実大構造実験システム

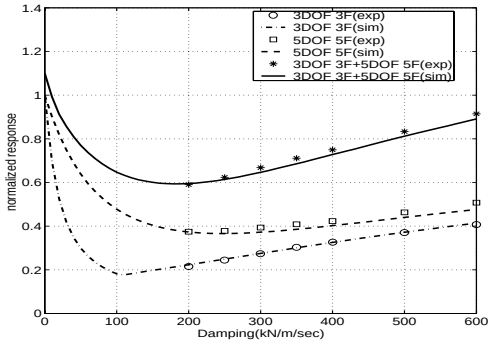


図2 正規化応答値の比較

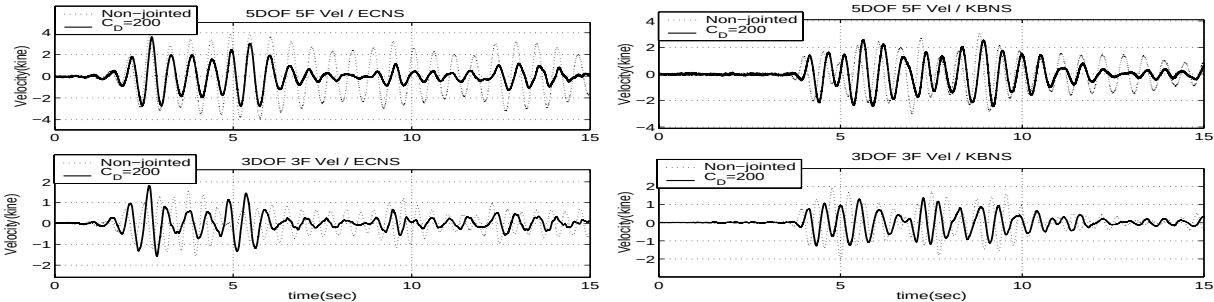


図3 地震波別制振効果 (左：El-Centro NS/右：Kobe NS)