

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 正員 五十嵐晃
 京都大学大学院 学生員 ○藤原寅士良

はじめに 本研究は、隣接した2つの構造物をダンパー装置により連結した場合における、地震応答の低減効果について検討したものである。全体構造系の複素振動モード解析、地震動の入力特性等に基づき、最適な制御効果が得られる条件および制震効果の予測について考察を行った。

解析モデル 本研究では、標準的な参照構造系モデルとして、図1に示す5層および3層の2つの構造物を連結したものをを用いた。構造物の動特性を定義するパラメータのうち、質量マトリックスと剛性マトリックスは、予め同定実験により与えられているものとする。

複素固有モード解析 ダンパーを付加した構造全体系の減衰は古典的な比例減衰では表現できないことから、各振動モードの減衰を厳密に評価するためには、複素固有モード解析を行う必要がある。各々の構造物の減衰については、1次モード減衰定数、2次モード減衰定数を、各々0.5%、0.3%としたRayleigh減衰を仮定している。図2は複素固有モード解析に基づき、ダンパー粘性係数を変化させた場合における1次モード減衰定数と一次固有振動数の関係を示したものである。ダンパーの剛性を一定としている。図2に示されるように、1次モード減衰定数を最大とするような、ダンパー粘性係数の値が存在する。これを以て最適粘性係数とすることは妥当な条件であると考えられる。図3は、同様に2次モード減衰定数と2次固有振動数の関係を示したものである。この図を見ると2次モード減衰定数は1次モード減衰定数よりもはるかに値が大きく、粘性係数の設定によっては、臨界減衰とすることも可能である。この時の粘性係数の値は1109kN/m/secと算出されたが、実際にこの値を想定して応答計算を行った場合、最大応答変位の低減効果の低い結果が得られる。全体系の応答においては1次モード応答が卓越する事と、粘性を過度に増大させると2つの構造物同士を剛結した状態と同様になり、前述のように1次モードの減衰定数が低下することによる物であると考えられる。1次モード応答の卓越に関しては、各モードについて算出された複素刺激係数の値によっても明確に示される。

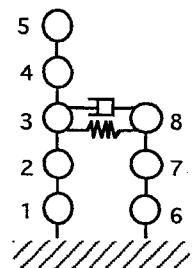


図1 解析モデル

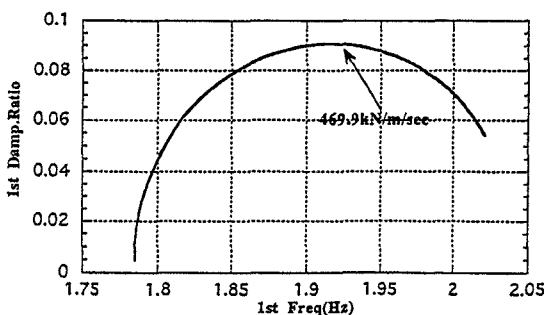


図2 1次モード減衰定数-1次固有振動数

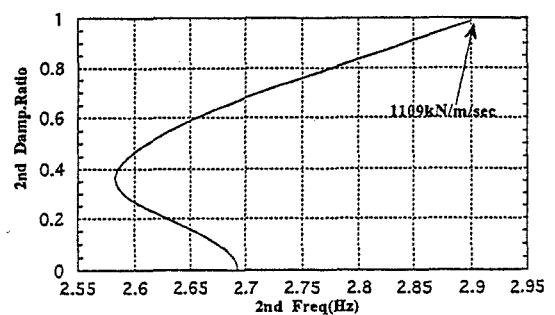


図3 2次モード減衰定数-2次固有振動数

応答スペクトルに基づく応答予測 前節の考え方に基づきダンパー装置のパラメータを定めた場合において、入力地震動の応答スペクトルとモーダルアナリシスを用いて、最大応答値の予測と応答低減の評価を行った。この際に、ジョイントダンパーを付加した構造系においては複素振動モードを考える必要があるため、従来のモーダルアナリシス手法を用いるに当たっては、その適用法および結果の信頼性に注意する必要がある。モー

ダルアナリシにより得られる応答値および低減効果の評価の妥当性を、時刻歴応答の計算結果と比較することにより検討した。無制御時と最適制御時におけるモーダルアナリシによる各節点の最大応答変位予測値と、時刻歴応答計算により得られた最大応答変位を表1に示す。なお、入力地震動として、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録を最大50galにスケリングしたものを用いた。表1に示されるように、予測値は、概ね実際の応答値を約20%程度上回っている。この誤差は、前述の複素振動モードに対するモーダルアナリシの適用性に加え、複素固有値、

表1 ジョイントダンパーを付加した構造系の最大応答変位

	節点1	節点2	節点3	節点4	節点5	節点6	節点7	節点8
予測値	0.218	0.497	0.809	1.088	1.242	0.254	0.534	0.732
実応答値	0.211	0.459	0.710	0.926	1.042	0.189	0.388	0.518

単位(cm)

表2 最大応答変位
(ダンパー剛性を考慮)

節点1	0.265
節点2	0.578
節点3	0.901
節点4	1.196
節点5	1.358
節点6	0.229
節点7	0.484
節点8	0.667

単位(cm)

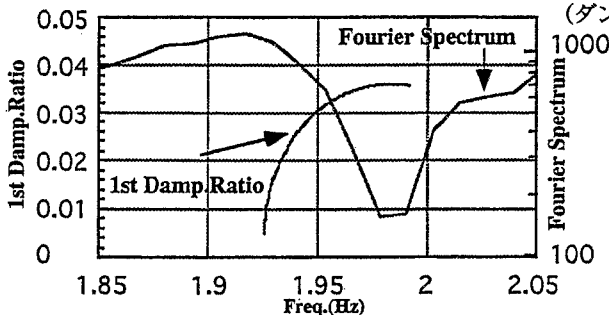


図4 入力地震動のフーリエスペクトルと1次モード減衰定数

ベクトルを求める際の計算誤差にも起因している可能性も推定される。しかしながら、相対的な応答低減効果の評価については、時刻歴応答計算によるものと同等の結果が得られているため、応答スペクトルによる評価法はジョイントダンパー付加系についても十分有効であると言える。

地震動入力特性を考慮した剛性の設定 ジョイントダンパーを付加した全体構造系の減衰定数を最大化するという観点からは、ダンパー自身の剛性は可能な限り小さいことが望ましい。しかしながら、実際に用いられるダンパー装置の剛性の値は無視することができない。そこで、意図的にダンパーの剛性を設定し、地震動のフーリエスペクトルの低下する振動数帯域に一致する一次モード固有振動数において、その剛性の基での減衰定数が最大値となるような粘性係数の組み合わせを算出して用いた場合の応答低減効果を検討する。参照モデルのケースでは、剛性を6750kN/mに設定した場合に、一次モード減衰定数が最大値となるような粘性係数における1次モード固有振動数が、地震動のフーリエスペクトルの低下する帯域内の振動数となった(図4)。この時の粘性係数は875.8kN/m/secである。このパラメータの組み合わせを用いた場合の、時刻歴応答計算による最大応答変位を表2に示す。最大応答変位は、剛性を無視した場合を上回る結果となった。すなわち、この場合には入力特性から剛性を設定しても、剛性の無い場合よりも応答低減効果を改善することはできなかった。ダンパー剛性の増加に伴い、実現可能な一次モード減衰定数の最大値が減少するため、この特定の構造物および地震動入力の場合には、固有振動数シフトの効果が相殺され、結果的には応答特性は悪化したものと考えられる。ダンパー剛性を扱う場合には、このように振動数シフトと減衰効果の増減の両者のバランスを考慮して決定すべきである。入力特性によっては、振動数シフトを意図的に行う事が非常に効果的な場合もあることは明らかであるので、剛性の設定法については、さらに詳細な検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 井上豊ほか、構造物の制震機構に関する一考察〈2つの建物の連結による制震システムについて〉。日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.189-192,1985。
- 2) 橋英三郎、離散径の固有周期を調整するための2つの公式、日本建築学会構造系論文報告集365号、pp.58-62,1985。
- 3) 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.333-340,1922。