

免震構造物の高性能化を目指す 粘性マスダンパーの基本特性と巨大地震対策

免震構造 時刻歴応答解析
粘性マスダンパー パルス型地震動

建 13-0028

金井匠

1. はじめに

1-1 研究背景と既往研究

構造物の応答制御手法のうち、制振構造物に対する粘性マスダンパーの利用方法として、同調粘性マスダンパーに関する研究は数多くなされている¹⁾。一方で、免震構造物に対する粘性マスダンパーの利用に関する研究に目を向けると、免震構造物用の粘性マスダンパー単体の実験的検討、また免震構造物に粘性マスダンパーを導入した場合の基本的特性に関する研究はされているが、より複雑な地震動入力による挙動の研究は進んでいない。特に2016年の熊本地震を含む巨大地震や、強いパルス特性を有する大型地震動時の応答に対して免制振研究は不十分かつ不明確な点が多い。粘性マスダンパーに目を向けると、その複数のダンパー諸元に対して、その非線形性をも考慮した場合の包括的な検討ははまだ十分であるとは言えない²⁾。

1-2 研究の目的

本研究では、時刻歴応答解析を用いて粘性マスダンパーを免震構造物に適用した場合の、巨大地震動を含む地震動入力や繰り返し型地動入力、パルス型地動入力を受けた場合の挙動を研究し、そのダンパーの基本特性を明らかにすることを目的とする。

2. 解析モデル

本研究で検討する免震建物は、近年急速に免震構造化が進んでいる病院建物を想定し、免震層付きRC造5階建て病院とする。図1に解析モデルを示す。解析モデルは曲げ変形要素を無視したせん断変形のみを考慮した主系6質点系解析モデルとし、ダンパー部に設ける付加質量を含めると7質点系となる。免震層は復元材と風荷重対策用のすべり支承、そして地震対策用のダンパー部の3要素で構成される。本研究での検討対象である粘性マスダンパーは、ダンパー部に導入するものである。上部構造については、制振ダンパーなどは導入されていないものとし、主系固有の減衰として剛性比例型で2%の減衰定数を付与している。本研究の検討対象である粘性マスダンパー（VMD）とその比較対象として粘性ダンパー（VD）のダンパー部モデルを図2にダンパー諸元を表1に示す。なお表1のダンパー諸元については、参考文献2での提案値を用いた。

4種類の地震動入力と振、幅 2m/s^2 、固有周期4秒のサイン波1周期分のパルス型地動を入力波として使用した。それぞれの入力加速度時刻歴を図3に示す。

表1 ダンパー諸元

ダンパー諸元	VMD	VD
マス質量Md[ton]	12500	無し
質量比 μ [-]	0.95	無し
支持部材剛性 Kb[kN/m]	120000	1000倍
粘性減衰係数 Cd[kNs/m]	7900	7900
軸力制限要素の粘性減衰係数 Cr[kNs/m]	13200	1000倍

表3 主系固有周期

固有周期[s]	
上部構造	0.67
全体	4

表2 主系諸元

各層	質量[ton]	剛性[N/m]
免震層	3057	31254
第1層	2335	1759650
第2層	1928	2037850
第3層	1807	1938750
第4層	1800	2488300
第5層	1739	2290650
全体	12666	-

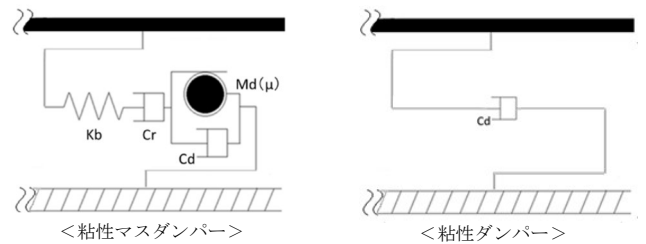
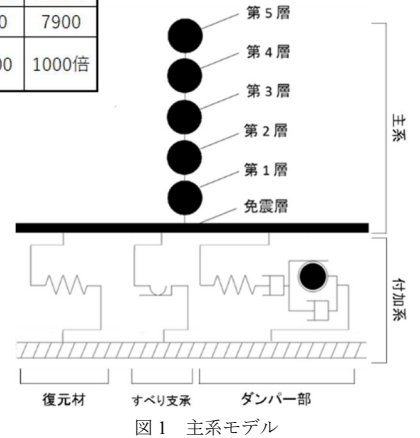


図2 ダンパー部モデル

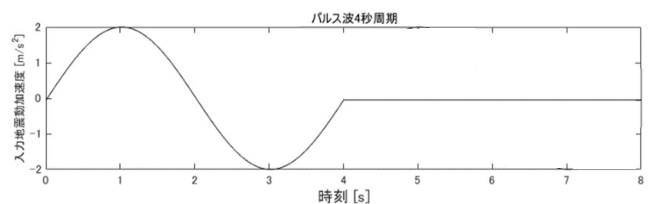
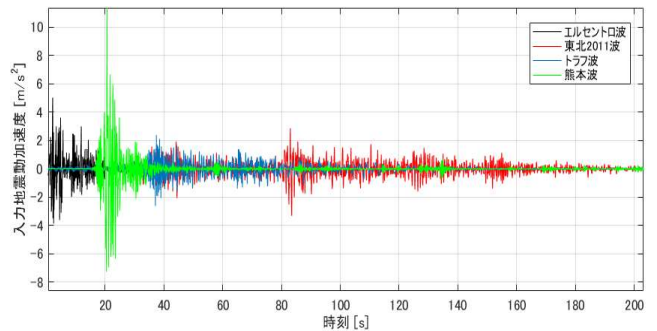


図3 入力加速度時刻歴

3. 解析結果

図4に熊本波と東北2011波の免震層時刻歴応答変位，図5に4種類の地震動波・各層の最大応答比較，図6にパルス波の固有周期を変化させたときの最大応答を示す。

図4より粘性マスダンパーの応答が粘性ダンパーやダンパー無しの場合に比べ応答が小さく，特に波形が大きい範囲での応答が小さいことがわかることから粘性マスダンパーの最大応答変位の低減効果がうかがえる。

図5から最大応答変位は地震動，階層によらず0.03m~0.06mの低減があり，最大応答加速度は地震動や階層ごとに0~1割程度の増減差がある。粘性マスダンパーにおいて屋上階応答加速度が粘性ダンパーより大きくなるのが確認できるが実設計においては屋上階応答の重要度が低いため大きなデメリットではない。これらから巨大地震動波を含む4つの地震動波すべてに粘性マスダンパーの一定の有効性が示された。

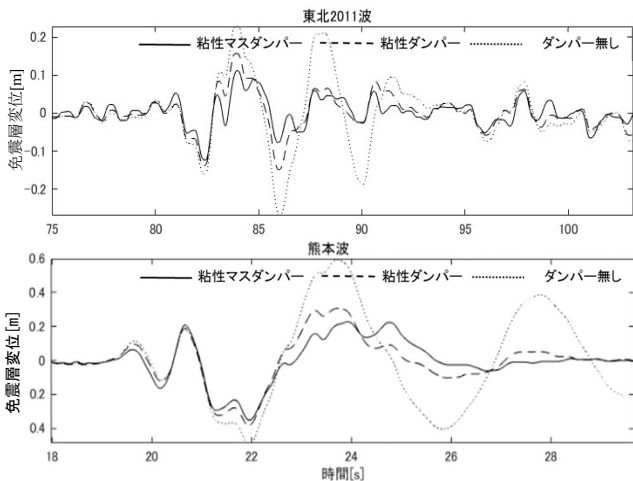


図4 熊本波・東北2011波 時刻歴応答変位

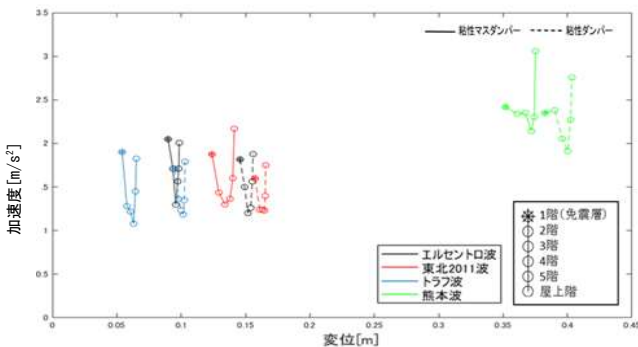


図5 各地震動比較 最大応答変位—最大応答加速度

パルス波を入力した図6から，2~6秒周期の間で粘性マスダンパーの最大応答変位，最大応答加速度が小さいことが確認できる。1~2秒周期，6秒以降の周期ではかならずしも粘性マスダンパーの応答が小さいわけではないがそれらの応答は4~5.5秒周期の応答よりも小さい。固有周期の変化によって最大応答となる4~5.5秒周期のパルス波において粘性マスダンパーによる応答が粘性ダンパーより小さいため粘性マスダンパーのパルス型地動に対する有効性の高さを示した。

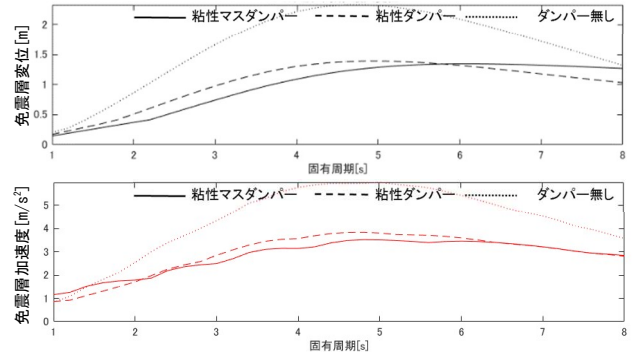


図6 パルス波 固有周期—最大応答

図7に粘性マスダンパーの基本特性を把握するために行う設計変数のパラメトリックスタディの1つの結果として付加質量の結果を示した。検討範囲として付加質量の設計上限値は実設計の限界値となる主系質量と同程度となるよう12500[ton]とした。図7より最大変位は4波とも質量が大きくなれば変位は小さくなり，最大加速度は地震動ごとに多少の増減があるが質量が大きいほど波が緩やかになる傾向があることが確認できる。そのため質量設計値はより大きいほうが変位低減効果，加速度低減効果においてメリットが大きいので，質量設計は設計上限の主系と同質量の設計を提案する。

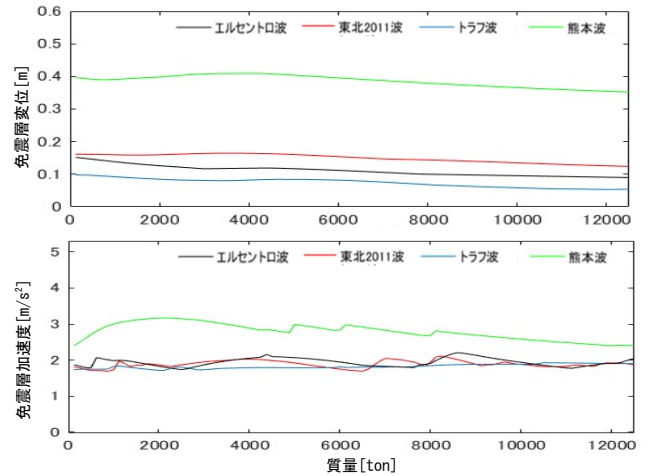


図7 付加質量—最大応答

4. まとめ

巨大地震動を含む地震動入力や繰り返し型地動入力，パルス型地動入力を受けた場合の挙動を検討した。その結果，粘性マスダンパーの地震動入力に対する一定の有効性やパルス型地動に対する高い有効性を確認した。

参考文献

- 1) 齊藤賢二，栗田哲，井上範夫：慣性質量要素を利用した線形粘性ダンパーによる一質点構造の最適応答制御と Kelvin モデル化手法に関する考察，構造工学論文集，Vol.53B，日本建築学会，pp.53-66，2007.3.
- 2) 池永昌容，五十子幸樹，井上範夫：軸力制限機構にビンガム流体を用いた粘性マスダンパーの免震構造物への適用性，日本建築学会東北支部研究報告集（福島），第77号・構造系，pp.15-18，2014.6.