

非線形粘性要素を有する同調粘性マスダンパーの応答特性に関する研究

栗田研究室

4106059 都丸 貴文

4106102 渡邊 真吾

1. 研究背景・目的

振動時の建物への入力エネルギーを付加した振動系の共振現象を利用した運動エネルギーに変換することで、建物の応答を低減させるダンパーがある。同調粘性マスダンパーはこのようなダンパーの一種であり、回転慣性を利用することで小さい付加質量でも大きな慣性力を得ることが可能である¹⁾。

同調粘性マスダンパーの粘性体は非線形力学特性を有しており²⁾、ある入力のレベルに対して最適設計システムとなるようダンパーの設計を行った場合、想定した入力レベル以外では最適値からのずれにより応答低減効果が低下することが予想される。そこで、本研究では、地震動の入力レベルと同調粘性マスダンパーの応答低減効果との関係について検討を行い、応答低減効果の低下を許容できる入力レベルの範囲を把握することを目的とする。

2. 対象とする制振装置の機構

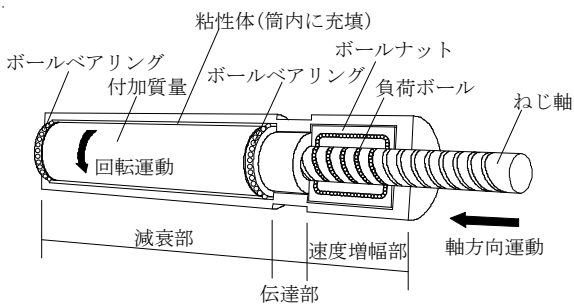


図1 減衰こま

本研究で扱う同調粘性マスダンパーとは、回転慣性質量を利用した同調質量型ダンパーに粘性体を付加したものである。回転慣性質量とは、図1に示す減衰こまのように、ボールねじとボールベアリングとを組み合わせた機構によって、軸方向運動を付加質量の回転運動に変換することで実質量の数千倍もの慣性力を得ることが可能な機構である。また、筒内に充填された粘性体のせん断抵抗によって得られる減衰力 Q_d はダンパー速度 \dot{x}_d に対して非線形性を有し式①のように表される。ここで、 c_α は非線形粘性体の減衰係数、 α は非線形粘性ダンパーの非線形特性を表す乗数である。

$$Q_d = c_\alpha \cdot \text{sgn}(\dot{x}_d) \cdot |\dot{x}_d|^\alpha \quad \dots ①$$

3. 解析モデル

図3に同調粘性マスダンパーを有する1質点系モデルを示す。対象建物は同調粘性マスダンパーを有する小規模な1層鉄骨構造建物を想定し、質量100[tonf]、固有周期0.5[sec]、減衰定数2[%]とした。質量比(建物質量に対する回転慣性質量の比)は、回転慣性質量を利用した慣性質量効果の増幅を考慮し10[%]とした。また、最適な支持部材剛性 k_{bopt} 、及び装置

粘性体の減衰係数 c_{dopt} は定点理論に基づく加速度最適設計法¹⁾により定め、装置粘性体の非線形性を考慮する際、平均エネルギー吸収量に基づく置換法²⁾(式②)により非線形減衰係数 c_α に置換する。なお、ダンパー最大変位 x_{dmax} の値は想定する入力地震動に対して収束計算により定めるものとし、非線形特性を表す乗数 α の値は0.35を用いた。

$$c_\alpha = \frac{\alpha + 2}{3} \cdot \frac{(\omega_k \cdot x_{dmax})^{-\alpha}}{\beta_\alpha} \cdot c_{dopt} \quad \dots ②$$

〔 ω_k : 共振時固有円振動数, β_α : α により決まる定数〕

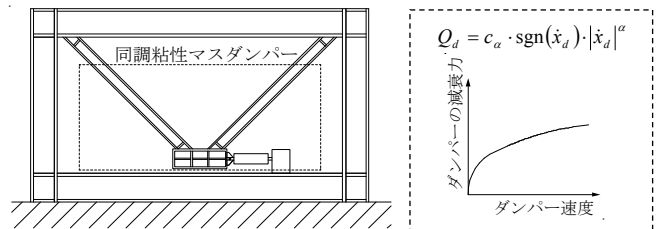


図2 ダンパー設置例

非線形性を有する

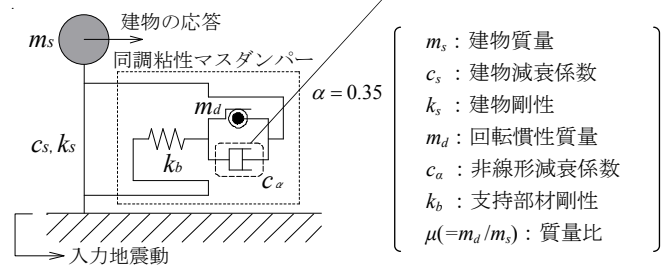


図3 1質点系モデル

4. 検討方法

同調粘性マスダンパーを、原波形の入力地震動(想定する入力レベル)に対して最適設計システムを満たすように設計し、次の2項目について検討を行った。

①地震入力レベルに対する応答特性の変化

②制振効果の低下を許容可能な入力レベルの範囲

地震入力レベルの変化を割合で示すため、原波形の最大加速度 A_0 に対して、入力最大加速度を $A_0 \times \xi$ と正規化した。 $\xi=1.0$ を基準レベルとし、 $\xi=0.2 \sim 2.0$ の範囲において ξ を0.01刻みで変化させ、各々の入力について非線形応答解析を行った。基準レベルにおける建物応答の低減率を R_s としたとき、入力レベルの変動における許容値を $R_s \times 1.05$ とし、各々の入力地震動において許容可能とする入力レベルの範囲を検討した。本検討で用いた入力地震動を、原波形の最大加速度 A_0 、ダンパー最大変位 x_{dmax} と共に表1に示す。

表1 入力地震動

入力地震動	最大加速度 A_0	ダンパー最大変位 x_{dmax}
1940年 Imperial Valley地震 El-Centro NS	341.70[gal]	8.79[cm]
1952年 Taft地震 EW	175.90[gal]	4.04[cm]
1968年十勝沖地震八戸港湾事務所 NS	229.65[gal]	4.64[cm]

5. 解析結果

5.1 応答特性について

図4、5に入力レベルの変動による建物変位と加速度の応答低減率の変化を示す。入力レベルが基準レベル ($\xi=1.0$) から変動することで、ダンパーの応答低減効果が低下していることがわかる。入力レベルが基準レベル以上 ($\xi>1$) においてはダンパーによる応答低減効果の低下は小さく、基準レベル以下 ($\xi<1$) では比較的低下が大きいためとされる。これは、図6より入力レベルが変動することでダンパーの減衰係数が最適値からずれるためであると考えられる。なおダンパー減衰係数変動比は、非線形減衰係数を等価な線形減衰係数に置換したとき、最適減衰係数との比率を表したものである。また、そのときのダンパーの減衰力 - 変位関係を図7に示す。ループの面積はダンパーの粘性体が吸収するエネルギーに相当する。最適減衰係数に比べ、 $\xi=0.2$ ではダンパーの粘性体の減衰係数が大きいため変形が小さくなり、 $\xi=2.0$ では変形が大きくなるが粘性体の減衰係数が小さいためエネルギー吸収効果が低下していると考えられる。また、建物変位と加速度の応答低減率 (図4、5) は同様の傾向を示しているため、以後の検討では建物変位の応答低減率に着目した考察を行う。

5.2 入力レベル許容範囲について

図8より、基準レベル以下 ($\xi<1$) における入力レベルの許容範囲は、基準レベル以上 ($\xi>1$) と比較して狭いことがわかる。より幅広い入力レベルに対して応答低減効果を得る

ため、想定する入力レベルよりもある程度低い入力レベル ($\xi=0.8$) で設計したダンパーの建物変位の応答低減率を図8に示す。図8、表2より設計に用いる入力レベルを $\xi=0.8$ としたダンパーは、 $\xi=1.0$ としたダンパーよりも入力レベルの低いレベルにおいて、より幅広い範囲を許容可能としていることがわかる。これは図6で示すように、入力レベルが高くなるにつれ、減衰係数変動比の変化の割合が小さくなるためと考えられる。しかし図8(c)より、基準レベル ($\xi=1.0$) より高いレベルにおいては許容可能とする範囲を狭めていることがわかる。さらに、基準レベル ($\xi=1.0$) での応答低減効果を低下させているため、設計時の入力レベルをどの程度低く設定するかは慎重な検討が必要である。

6. 結論

非線形粘性要素を有する同調粘性マスダンパーの研究より以下の知見が得られた。

- 1) 想定した入力レベル以外では応答低減効果は低下するが、その低下度合いは、想定より弱い入力レベルではダンパーの応答低減効果は大きく低下する。
- 2) 想定する入力レベルよりもある程度低い入力レベルで設計することで、低入力レベル領域においてより幅広い範囲を許容できる。

参考文献

- 1) 斉藤賢二、栗田哲、井上範夫：慣性接続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、2007.3
- 2) 斉藤賢二、井上範夫：慣性接続要素を利用した粘性ダンパーをもつ制振構造の最適応答制御に関する一考察：最適設計システムにおける線形粘性要素の等価非線形粘性要素への置換法、日本建築学会技術報告集 13 (26)、457-462、2007.12.20

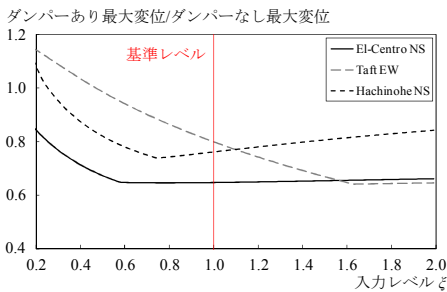


図4 建物変位低減率 - 入力レベル関係

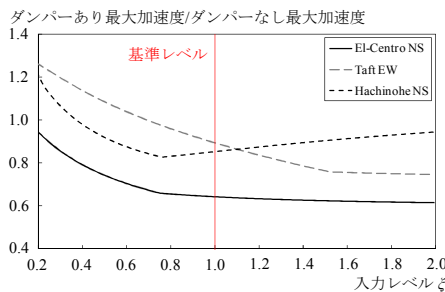


図5 建物加速度低減率 - 入力レベル関係

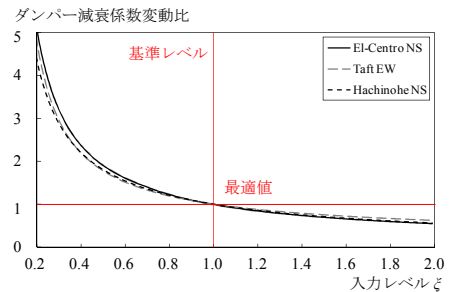


図6 ダンパー減衰係数変動比 - 入力レベル関係

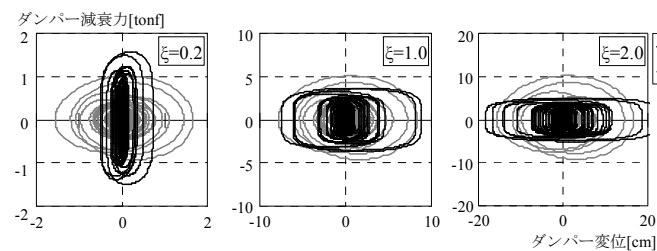


図7 ダンパー減衰力 (入力地震動: El-Centro NS×ξ)

表2 入力レベル許容範囲

	設計用入力レベル		変位応答低減率許容値
	$\xi=0.8$	$\xi=1.0$	
	入力レベル許容範囲		
El-Centro NS	0.38~2.00 以上	0.48~2.00 以上	0.68
Taft EW	0.70~2.00 以上	0.87~2.00 以上	0.84
Hachinohe NS	0.44~1.13	0.55~1.42	0.80

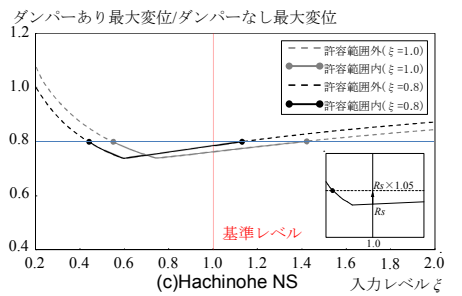
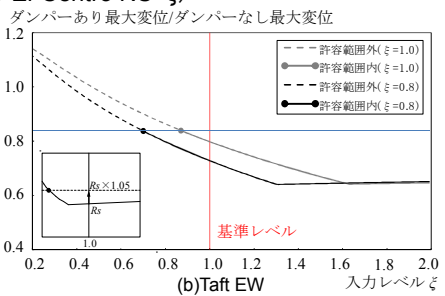
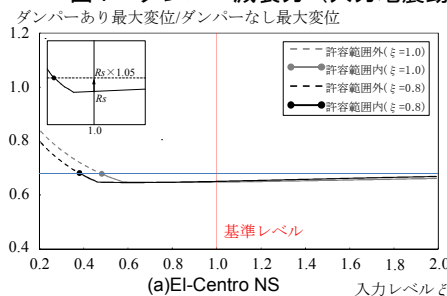


図8 入力レベル許容範囲