

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	鋼材・粘性ダンパー混在型のパッシブ制振設計法 その1 等価1 質点系の性能曲線
Title(English)	Design method for passive control system using steel and oil damper (Part.1) Performance curve
著者(和文)	前田周作, 渡井一樹, 笠井和彦, 佐藤大樹, 鈴木庸介, 飯野夏輝
Authors(English)	Shusaku Maeda, Kazuki Watai, Kazuhiko Kasai, Daiki Sato, Yousuke Suzuki, Natsuki Iino
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 875-876
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 875-876
発行日 / Pub. date	2020, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

鋼材・粘性ダンパー混在型のパッシブ制振設計法

その1 等価1質点系の性能曲線

正会員 ○前田周作*1 同 渡井一樹*2
同 笠井和彦*2 同 佐藤大樹*2
同 鈴木庸介*1 同 飯野夏輝*1

パッシブ制振構造 鋼材ダンパー 粘性ダンパー
設計法 性能曲線 等価線形化

1. はじめに

日本免震構造協会のパッシブ制振構造設計・施工マニュアル¹⁾において、オイル・粘性・鋼材・摩擦・粘弾性ダンパーをそれぞれ単独で使用した場合のパッシブ設計法がまとめられている。一方で、実務においては、複数種のダンパーを建物内に混在させる設計が散見されるが、現在の設計法ではそのような構造へは対応できていない。

複数種のダンパーを混在させる場合、並列または直列に設置することが考えられるが、本研究では鋼材・オイルダンパーの並列設置の場合に対し、既往のパッシブ制振設計法の理論に則り、これを拡張する。本報その1では等価1質点系の性能曲線の作成方法、その2では多質点系へのダンパー分配方法とその設計精度を検証する。

2. 鋼材・オイルダンパーを持つ制振構造の性能曲線

2.1 動力学特性の算出

提案手法は、マニュアルが採用した笠井らの応答設計手法²⁻⁵⁾を参考に、図1に示す3つの要素を持つ制振構造を考慮する。主架構は弾性剛性 K_f 、鋼材ダンパーは取付部材剛性 K_b とダンパー剛性 K_d を直列結合させたシステムの等価剛性 K_a として扱い、2次剛性がゼロ、降伏変位が u_{ay} の完全弾塑性とする。また、オイルダンパーは1質点系の場合には線形粘性要素として扱い、取付部材剛性は考慮しない。ただし、線形粘性要素はその2に示す方法で、多質点系に分配した後にバイリニア粘性要素に変換する。

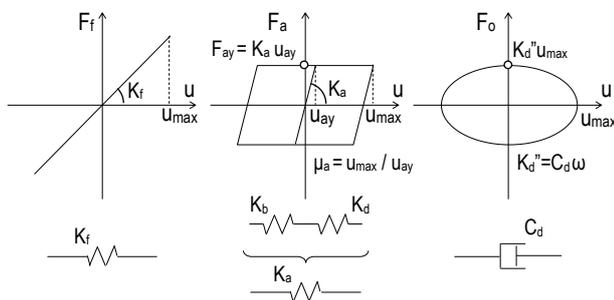


図1 各要素の履歴特性

本手法では、非制振構造の弾性周期 T_f が既知であるとして、鋼材ダンパーを設置した制振構造の弾性周期 T_{el} 、鋼材ダンパーの降伏耐力 F_{ay} 、最大塑性率 μ_a 、主架構と線形

粘性要素を考慮したシステム弾性減衰定数 h_d を与えることで種々の動的特性を算出し、目標層間変形角 θ_{max} に応答が低減できる制振構造を設計する。

まず、等価1質点系を対象に、目標とする制振構造の弾性周期 T_{el} から次式を用いて主架構と鋼材ダンパーを合わせた2次剛性比 p_a と付加系弾性剛性比 K_a/K_f を得る。

$$p_a = (T_{el}/T_f)^2, \quad K_a/K_f = (1/p_a) - 1 \quad (1a, b)$$

次に、鋼材ダンパーの塑性化を考慮した等価周期 T_{eq} は文献3から次式で表される。

$$T_{eq} = T_f \sqrt{\frac{p_a \mu_a}{1 - p_a + p_a \mu_a}} \quad (2)$$

また、制振構造の等価減衰定数 h_{eq} は、システム弾性減衰定数 h_d の疑似速度スペクトルの弾性周期 T_{el} から等価周期 T_{eq} までの範囲における平均減衰定数として与えるものとし、文献4から次式で表される。

$$h_{eq} = h'_a + h'_d \quad (3)$$

$$= \frac{2}{\mu_a \pi p_a} \ln \left(\frac{1 + p_a \mu_a - p_a}{\mu_a^2} \right) + \frac{h_d}{\mu_a} \left(\frac{\sqrt{\mu_a(1 + p_a \mu_a - p_a)} + p_a - 1}{p_a} + \ln \left(\frac{\sqrt{p_a \mu_a} + \sqrt{1 + p_a \mu_a - p_a}}{\sqrt{p_a + 1}} \right)^{\frac{p_a - 1}{p_a}} \right)$$

ここに、 h'_a は鋼材ダンパーの履歴減衰、 h'_d は線形粘性要素と主架構の粘性減衰による減衰定数である。

2.2 性能曲線の作成

応答低減効果は鋼材ダンパーおよび線形粘性要素の剛性・粘性の増加、鋼材ダンパーの塑性化による剛性の減少と履歴減衰の増加による効果のバランスで決まる。これらの減衰や周期の変化の影響を考慮して様々な状態における低減効果を求め、可視化して表す。

減衰定数変化の影響は、次式の減衰効果係数 D_h で表す。

$$D_h = \sqrt{(1 + ah_0)/(1 + ah_{eq})} \quad (4)$$

式(4)は、文献5における実地震波31波において $a = 25$ が妥当であるとされているが、模擬地震動の場合では a の値が異なる³⁾。また、主架構を弾性としたときの非制振構造を基準に、変位低減率を $R_d = u_{max}/u_f$ 、せん断力低減率を $R_a = F_{max}/F_f$ と呼ぶ。ここで u_f, F_f は非制振構造、 u_{max}, F_{max} は制振構造の最大応答である。疑似速度スペクトル $S_{pv} =$ 一定の関係を用いれば R_d, R_a の関係が次式で表される。

$$R_d = D_h T_{eq}/T_f, \quad R_a = R_d (\mu_a + K_a/K_f) / \mu_a \quad (5a, b)$$

図2には $K_a/K_f=1.0$, $h_a=0.02, 0.05, 0.10$ について様々な μ_a を代入した性能曲線を示す。非制振構造に比べて、鋼材ダンパーを設置するとシステム弾性の場合にはせん断力を増加させるが、塑性化を考慮することで変位・せん断力共に低減効果が得られる。しかし、 μ_a を大きくしすぎると変位・せん断力が再び増大する傾向があることから、文献3が指摘するように $\mu_a=4.0$ 程度として設計するのが望ましい。また、線形粘性要素により減衰を付加することで変位・せん断力の低減率はさらに高くなる

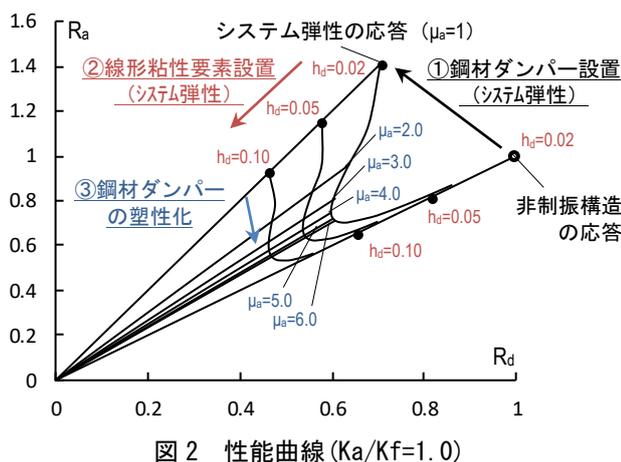


図2 性能曲線 ($K_a/K_f=1.0$)

3. 等価1質点系に対する必要ダンパー量の算出

3.1 検討対象モデル

本報では建物高さ 146.1m の建物モデル⁶⁾を用いる。なお、建物モデルは長手方向構面の並進成分のみを考慮しており、部材は弾性で A_i 分布に基づく水平力を载荷したときの層間変形とせん断力からせん断剛性を算出した。本せん断質点系モデルの1次固有周期は $T_f=4.808s$ である。

3.2 目標層間変形角を満たすダンパー設計

弾性固有周期比が $T_{el}/T_f=0.90, 0.85$ の2通りについて設計を行う。設計対象の地震動は BCJ-L2 波とし、建物モデルの固有周期における変位スペクトル ($h=0.02$) は $S_d=109.42cm$ 、1次モードを直線と仮定して算出した層間変形角は $\theta_f=0.011rad$ である。これに対し、目標層間変形角を $\theta_{max}=0.0067 (=1/150) rad$ と定め、 $R_d=0.622$ を満たす制振構造を設計する。なお、 D_h の低減係数は $a=75$ 、主架構の減衰は $h_0=0.02$ とした。

図3には2種の T_{el}/T_f について作成した性能曲線および θ_{max} において $\mu_a=4.0$ を満たす必要ダンパー量を算定した結果を示す。ここでは T_{el}/T_f を満たすように非制振構造の最大層せん断力と鋼材ダンパーおよび主架構を合わせたシステム降伏耐力の比 (以下、降伏耐力比) を変化させて収斂計算を繰り返し、設計条件を満たす降伏耐力比と h_d を策定した。本性能曲線は鋼材ダンパーの設置量が多くなるほど非制振構造の応答と原点、システム弾性時の応答と原点を結ぶ2つの線が成す角が大きくなり、同じ μ_a を満たすための降伏耐力比も大きくなる。1つの低減目標に

対して設計方法は複数存在し、図3a)はオイルダンパー、図3b)は鋼材ダンパーによる低減効果に主に期待するものである。以上のように、建物ごとに設計者の意図を反映させてダンパー量を調整することも可能である。なお、本設計法においてシステム弾性減衰定数を $h_d=h_0$ とすれば、文献3の鋼材ダンパーの設計手法と同様な計算結果となる。

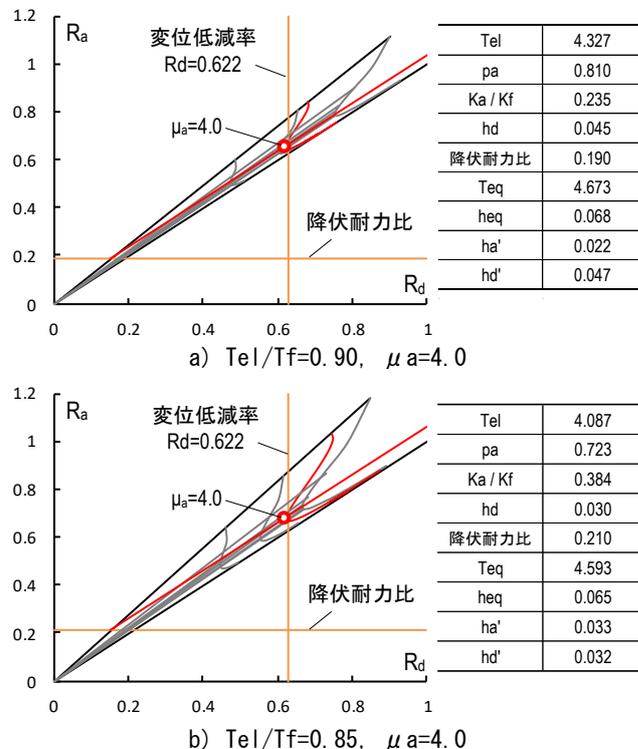


図3 等価1質点系の性能曲線と要求性能

4. まとめ

鋼材ダンパーとオイルダンパー (線形粘性要素) を持つ制振構造の等価1質点系の性能曲線を作成し、目標変位低減率を満たす必要ダンパー量を求めた。

謝辞

本研究は東京工業大学と竹中工務店との共同研究であり、一部は JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムによるものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本免震構造協会: パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第3版, 2013.1
- 2) 笠井和彦, 小川良典, 蒲武川, 清川貴世: 粘弾性ダンパーをもつ制振構造の架構の塑性化を考慮した応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第655号, pp.1625-1364, 2010.9
- 3) 笠井和彦, 伊藤浩資: 弾性ダンパーの剛性・降伏力・塑性率の調整による制振構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第595号, pp.45-55, 2005.9
- 4) 笠井和彦, 川鍋佳史: 粘性減衰・履歴減衰を併用する構造における動的特性と地震最大応答の等価線形予測法, 日本建築学会構造系論文集, 第591号, pp.43-51, 2005.5
- 5) 笠井和彦, 伊藤浩資, 渡辺厚: 等価線形化手法における一質点弾塑性構造の最大応答予測法, 日本建築学会構造系論文集, 第571号, pp.53-62, 2003.9
- 6) 佐分利和宏, 上野史也, 渡井一樹, 佐藤大樹, 笠井和彦, 前田達彦, 増田寛之: 既存超高層建物の大振幅地震動に対する制振改修, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21431, 2019.7

*1 竹中工務店

*2 東京工業大学

*1 Takenaka Corporation

*2 Tokyo Institute of Technology