

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	間柱型粘弾性ダンパーの繰り返し加振による性能低下を考慮した制振構造の設計手法
Title(English)	Passive control design method considering performance degradation of stud-type viscoelastic dampers
著者(和文)	西海隼, 佐藤大樹, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也, 森岡宙光
Authors(English)	Hayato Nishiumi, Daiki Sato, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki, Hiromitsu Morioka
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 659-660
Citation(English)	, 構造II, , pp. 659-660
発行日 / Pub. date	2024, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

間柱型粘弾性ダンパーの繰り返し加振による性能低下を考慮した制振構造の設計手法

正会員 ○西海 隼*¹ 同 佐藤大樹*² 同 戸張涼太*³
同 安永隼平*⁴ 同 植木卓也*⁴ 同 森岡宙光*⁴

間柱型粘弾性ダンパー 性能低下 制振構造
制振設計 超高層建物 長周期地震動

1. はじめに

近年、超高層建物では制振構造の採用が一般的となってきた。本報で対象とする間柱型粘弾性ダンパーは、長時間の繰り返し加振に伴うエネルギー吸収により性能低下を生じる。そのため、ダンパー量および配置を決定する際には、超高層建物に長周期・長時間地震動が入力されることを想定し、ダンパーの性能低下による応答増大を考慮することが必要となる。

本報では、性能低下を考慮した間柱型粘弾性ダンパーを目標層間変形角を満足するように配置する手法（設計手法）を提案する。

2. 設計手法の概要

図1に設計手法のフローを示し、以降はフローに沿って設計手法の概要を示す。なお、間柱型粘弾性ダンパーは図2に示すように振幅依存性を有し、4要素でモデル化されたものを用いる^{1) 2)}。

まず、一質点系での目標変位低減率 R_d を目標層間変形角 $\theta_{\max}$ と式(2)、(3)より導出される主架構のみの層間変形角 θ_f を用いて算出し、性能曲線³⁾を用いて R_d を満たすときの塑性率 μ と必要付加系弾性剛性比 K_a/K_f を仮定する (Step1)。仮定した μ と K_a/K_f を用いて多質点系での必要付加系弾性剛性 (必要 K_{ai}) を算出する (Step2)³⁾。ここで、必要 $K_{ai} < 0$ のときは必要 $K_{ai} = 0$ とし、ダンパーは配置しない。次に、ダンパーの配置を仮定し、状態 N、R 解析⁴⁾を用いて図3のせん断モデルを作成する (Step3)。そ

して、ダンパーの復元力特性をバイリニアモデルへと置換し⁵⁾ (Step4)，付加系弾性剛性 (保有 K_{ai}) を評価する (Step5)。必要 K_{ai} と保有 K_{ai} ，仮定した μ と $\theta_{\max}$ 時の μ_i がほぼ等しくなるまでダンパーの配置を変更し Step3 に戻る。それでも収斂しない場合は，Step1 に戻り μ と K_a/K_f の仮定を変更する。そして，ダンパーの等価せん断弾性率および等価減衰定数の低下率 $\alpha_{\lambda\Omega\theta i}$ ， $H\lambda_{\Omega i}$ ⁶⁾を算出し (Step6)，性能低下を考慮した場合の付加系弾性剛性 (保有 K'_{ai}) を評価する (Step7)。必要 K_{ai} と保有 K'_{ai} がほぼ等しくなるまでダンパーの配置を変更し Step3 に戻る。それでも収斂しない場合は，Step1 に戻り μ と K_a/K_f の仮定を変更する。

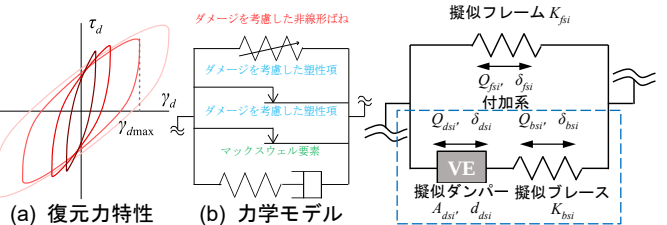
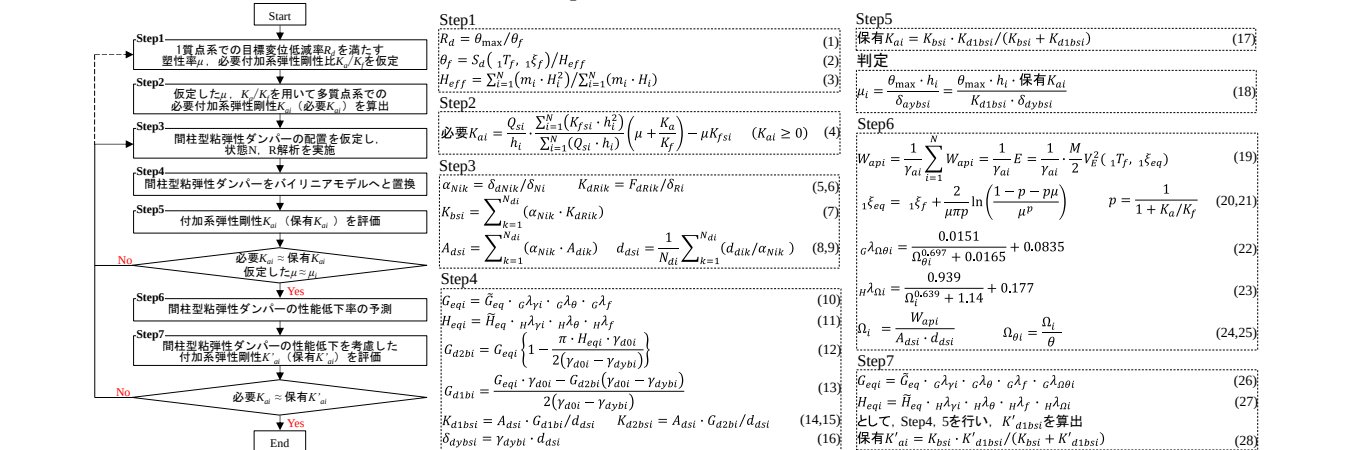


図2 間柱型粘弾性ダンパーの概要

3. 設計例題

3.1 検討対象建物，ダンパーおよび設計用地震動の概要

検討対象建物は鉄骨造 20 階建て⁷⁾の事務所ビルとする (図4)。X 方向の地震入力を設計対象とし，主架構は弾性とする。主架構の1次固有周期 T_f は 2.46 秒であり，構造減衰は T_f に対して $\zeta_f = 2\%$ となる剛性比例型とする。間



R_d : 目標応答低減率 $\theta_{\max}$: 目標層間変形角 θ_f : 主架構のみの層間変形角 S_d : 変位応答スペクトル T_f : 主架構のみの1次固有周期 ζ_f : 構造減衰の1次減衰定数 H_{eq} : 有効高さ
 m_i : 各層の質量 H_i : 各層の地面からの高さ 必要 K_{ai} : 目標層間変形角を満足する付加系弾性剛性³⁾ Q_i : 層せん断力 h_i : 各層の高さ K_{bi} : 擬似フレームの剛性率
 K_a/K_f : 仮定した必要付加系弾性剛性比 $\alpha_{\lambda\Omega\theta i}$: 性能曲線³⁾ K_{aRik} : 骨組み特性値⁴⁾ δ_{Nik} , δ_{Ri} : 状態 N 解析でのダンパーの変形および層間変形 F_{aRi} : 状態 R 解析でのダンパー力
 K_{bsi} : 擬似フレームの剛性 A_{dsi} , d_{dsi} : せん断モデルのせん断面積、厚さ N_{dsi} : 各層のダンパー設置数 A_{aik} , d_{aik} : 間柱型粘弾性ダンパー1基あたりのせん断面積、厚さ
 G_{eqi} , H_{eqi} : ダンパーの等価せん断弾性率、等価減衰定数 G_{eqi} , H_{eqi} : せん断ひずみ 100%、温度 20℃、振動数 0.33Hz のダンパーの等価せん断弾性率、等価減衰定数
 $\alpha_{\lambda\Omega\theta i}$, $\alpha_{\lambda\Omega\theta i}$: せん断ひずみ、温度、振動数補正係数¹⁾ G_{d1bi} , G_{d2bi} : バイリニアモデルの第一、第二せん断弾性率²⁾ $\gamma_{\theta i}$: 置換時に想定するせん断ひずみ⁵⁾
 $\gamma_{\theta bi}$: バイリニアモデルの折れ点せん断ひずみ³⁾ K_{d1bsi} , K_{d2bsi} : バイリニアモデルの第一、第二剛性 δ_{bbsi} : バイリニアモデルの折れ点変位 保有 K_{ai} : 付加系の第一剛性
 μ_i : 目標層間変形角時の塑性率 α_{bsi} : 付加系の折れ点変位 W_{api} : 付加系のエネルギー吸収量 $1/\gamma_{\theta i}$: 付加系の損傷分散係数の逆数¹⁾ E : 入力エネルギー M : 総質量 V_E : エネルギーベクトル
 ζ_{eq} : 建物の1次等価減衰定数 p : 二次剛性比³⁾ $\alpha_{\lambda\Omega\theta i}$, $H\lambda_{\Omega i}$: ダンパーの等価せん断弾性率、等価減衰定数の低下率⁶⁾ Q_i : エネルギー密度 Ω_i : 温度基準化エネルギー密度 θ : 初期温度

図1 間柱型粘弾性ダンパーの性能低下を考慮した設計手法のフロー

Passive control design method considering performance degradation of stud-type viscoelastic dampers

NISHIUMI Hayato, SATO Daiki, TOBARI Ryota,
YASUNAGA Jumpei, UEKI Takuya, MORIOKA Hiromitsu

柱型粘弾性ダンパーは図 5 に示す寸法とし、初期温度は 20℃とする。設計用地震動は基盤促波⁸⁾である SZ2 とし、図 6 に擬似速度応答スペクトル pS_v およびエネルギースペクトル (入力エネルギーの速度換算値) V_E を示す。

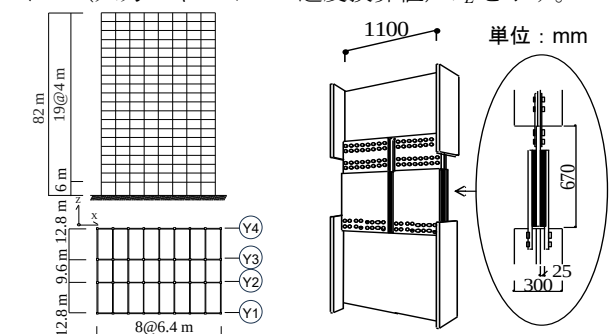


図 4 検討対象建物

図 5 間柱型粘弾性ダンパーの寸法

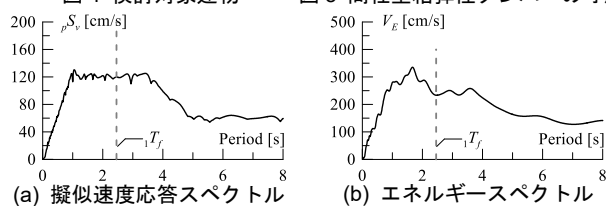


図 6 応答スペクトル

3.2 ダンパー配置の設計例

図 7(a), (b)に $\theta_{\max} = 1/100 \text{ rad.}$ とした場合の設計例を示す。図 7(a)より、 $\mu = 4$ と仮定し、ダンパーを Y2, Y3 構面の中央 2 スパンにのみ配置したモデル D-1 の場合、必要 K_{ai} と保有 K_{ai} および仮定した μ と μ_i が乖離することがわかる。モデル D-1 の判定を踏まえ、 μ の仮定およびダンパー配置を変更し、設計したモデル D-2 (図 7(b)) は、必要 K_{ai} と保有 K_{ai} および仮定した μ と μ_i が概ね一致し、必要 K_{ai} と性能低下を考慮した保有 K'_{ai} も概ね同程度であることから、目標層間変形角を満足すると判定される。

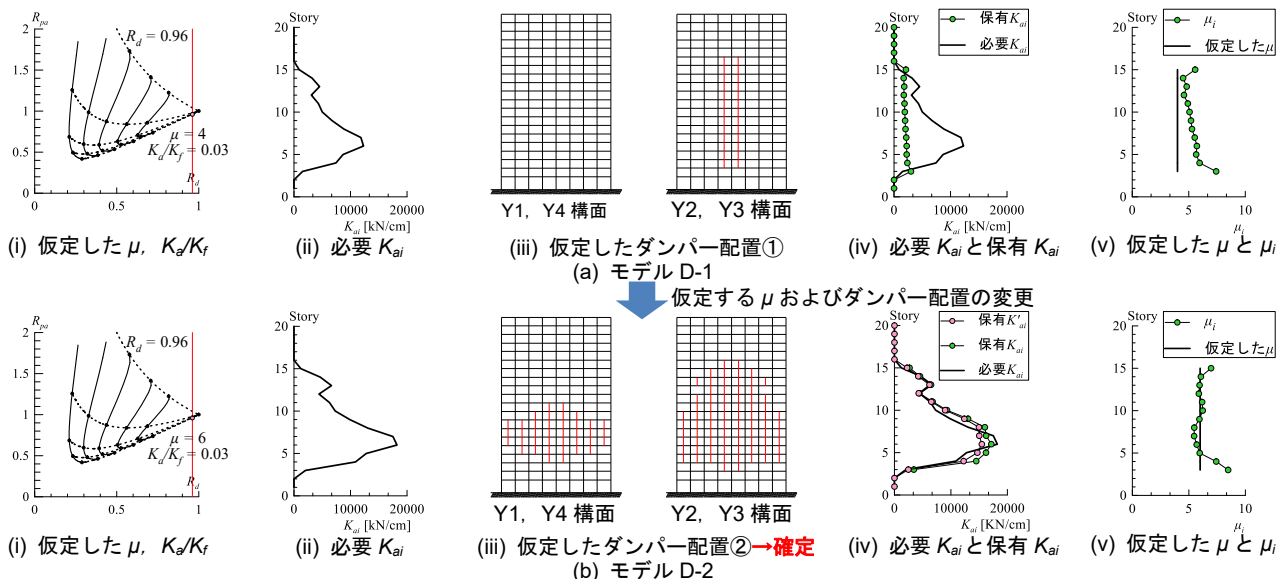


図 7 検討対象建物を用いた設計例 ($\theta_{\max} = 1/100 \text{ rad.}$)

設計手法の妥当性を確認するため、図 8 に目標層間変形角とモデル D-2 を用いた時刻歴解析における最大層間変形角の比較を示す。図 8 より、モデル D-2 の精算手法 (解析ステップごとにダンパーの性能を低下させる解析手法) の応答は目標層間変形角を満足することが確認できる。

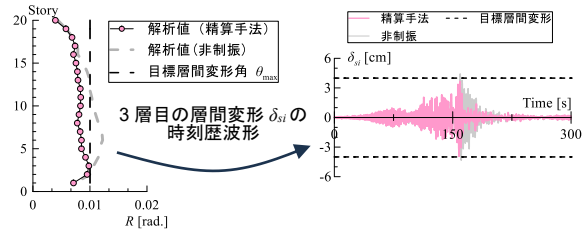


図 8 設計手法の妥当性の確認 (モデル D-2)

4. まとめ

本報では、性能低下を考慮した間柱型粘弾性ダンパーを目標層間変形角を満足するように配置する手法を提案し、設計例題を用いて設計手法の妥当性を確認した。

参考文献

- 金城陽介, 他 5 名: 高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー ～その 1 実大試験による性能評価～, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造-II, pp.595-596, 2017.8
- 森隆浩, 他 5 名: 高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー ～その 2 時刻歴応答解析用履歴モデル～, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造-II, pp.597-598, 2017.8
- 笠井和彦, 他: 弾塑性ダンパーの剛性・降伏力・塑性率の調節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, pp.45-55, 2005.9
- 樹下亮佑, 他 5 名: 間柱型粘弾性ダンパーと履歴ダンパーを並列配置した超高層制振建物のせん断モデル化手法, 日本建築学会技術報告集, pp.103-108, 2022.2
- 西海集, 他 6 名: 制振構造に用いる非線形粘弾性ダンパーのパイリニアモデルへの置換とエネルギー配分の予測, 第 16 回日本地震工学シンポジウム, 2023.11
- 安永隼平, 他 6 名: 間柱型粘弾性ダンパーの初期温度と性能低下を考慮した超高層建物の応答評価 その 3 高振動数載荷による長時間加振実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造-II, pp.479-480, 2022.8
- 日本建築学会: 鋼構造制振設計指針第 1 版, 2014.11
- 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について (技術的助言), 国住指 1111 号, 2016.6

*1 元東京工業大学
*2 東京工業大学
*3 JFE シビル
*4 JFE スチール

*1 Former Tokyo Institute of Technology
*2 Tokyo Institute of Technology
*3 JFE Civil Engineering & Construction Corporation
*4 JFE Steel Corporation