

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	オイルダンパーを用いた超高層建物のダンパー設置率と設計精度の関係
Title(English)	Relationship between damper installation rate and design accuracy of high-rise buildings using oil dampers
著者(和文)	満田悠斗, 佐藤大樹, 渡井一樹, 笠井和彦
Authors(English)	MITSUTA Yuto, SATO Daiki, WATAI Kazuki, KASAI Kazuhiko
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 421-424
Citation(English)	, , , pp. 421-424
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## オイルダンパーを用いた超高層建物のダンパー設置率と設計精度の関係

構造—振動

正会員 ○ 満田悠斗<sup>\*1</sup>  
〃 渡井一樹<sup>\*3</sup>正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup>  
〃 笠井和彦<sup>\*4</sup>

制振構造 オイルダンパー 超高層建物

## 1. はじめに

近年、南海トラフ地震による長周期地震動<sup>1)</sup>や直下型地震動など、これまでの設計レベルを大きく上回る地震動の発生が予測されている。そのため、超高層建物においてもより高い耐震性が求められる。その対策の1つとして、オイルダンパーを用いた制振設計が挙げられるが、対象となる建物によっては、建築計画上、層間変形角を目標値に収めるために必要なダンパー量を設置できない場合がある。上野・渡井らは、笠井らの提案した層剛性非比例分配<sup>2)</sup>に、設置できる上限のダンパー量を導入した設計手法が提案している<sup>3)</sup>。この手法により、各層に対して設置可能なダンパー量を制約として設けながらも、目標層間変形角を満たすダンパー配置を得ることが可能となった。しかし、検討対象建物が1つで、設計時に必要となる設計パラメータも1パターンのみでの検討であり、検討数が少ないことが挙げられる。そこで、筆者らは、文献4)において設計パラメータの一つである設計用地震動を変えて、制振設計および解析を行ったところ、設計用地震動によって、目標値を満たす場合とそうでない場合があることを確認した<sup>4)</sup>。この結果より、既往の設計手法には改善の余地があると言え、筆者らは、設計パラメータが変化しても目標値を満たす制振設計ができるように設計手法の高度化を試みてきた。文献5)において、減衰効果係数 $D_n$ の算定に用いる定数 $\alpha$ <sup>6)</sup>を変位応答スペクトルから逆算し、その値を用いて制振設計を行ったところ、文献3), 4)で用いられていた37階建ての鋼構造建物の場合、設計用地震動が変わっても目標値を満たす設計が可能となった。しかし、20階建ての鋼構造建物の場合、逆算した定数 $\alpha$ を用いても、設計目標を満足できなかった。その原因として、一質点系に対する多質点系の1次損失剛性比の値が著しく低いため、つまり、必要なダンパー量はいってなかったためであると考察した。しかし、一質点系に対する多質点系の1次損失剛性比の値(以降、ダンパー設置率と呼ぶ)がどの程度まで低くなくても目標値を満たすのかについては、明らかになっていない。そこで、本報では、様々な設計パラメータを用いて、ダンパー設置率の異なる制振モデルを作成し、時刻歴応答解析結果より、ダンパー設置率と設計精度の関係について分析する。

## 2. 建物モデルおよび入力地震動概要

## 2.1 建物モデル概要

本報では、37階建て<sup>3)</sup>および20階建て<sup>7)</sup>の鋼構造建物(以降、37層モデル、20層モデルと呼ぶ)を用いる。本報では、ダンパーが設置されていない建物モデルを非制振モデルと呼ぶこととする。以下にそれぞれの非制振モデルの概要を記す。図1に37層モデル、図2に20層モデルの軸組図と基準階平面図を示す。37層モデルは、地上37階、建物高さ146.1mで、平面プランは各階同一の片コア形式である。図1に示すように、Y3構面のX4~X7スパンの高さ方向のみにダンパーが設置可能であると仮定し、X方向の固有周期は、1次4.87s、2次1.69s、3次1.00sである。20層モデルは、地上20階、建物高さ82mで、事務所ビルである。図2に示すように、Y2、Y3構面のX4~X6スパンの高さ方向のみにダンパーが設置可能であると仮定し、X方向の固有周期は、1次2.46sである。37層モデル、20層モデルのどちらも、長辺方向をX方

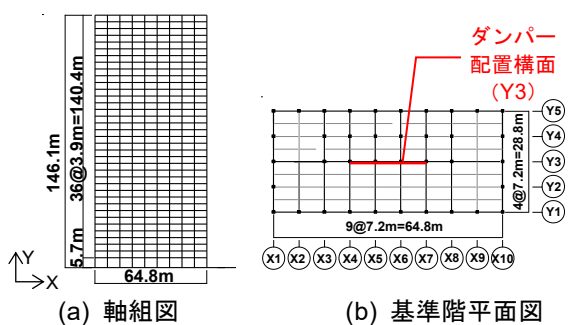


図1 37層モデルの軸組図と基準階平面図

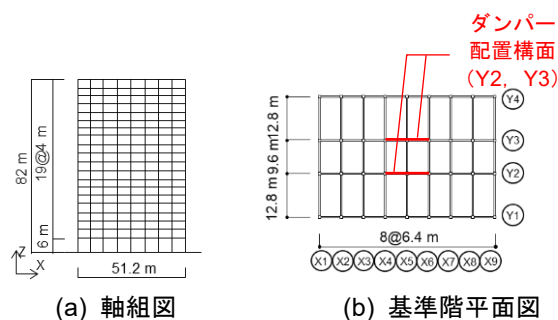


図2 20層モデルの軸組図と基準階平面図

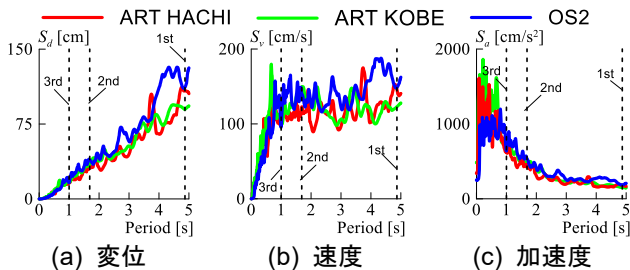
Relationship between damper installation rate and design accuracy of high-rise buildings using oil dampers

MITSUTA Yuto, SATO Daiki, WATAI Kazuki, KASAI Kazuhiko

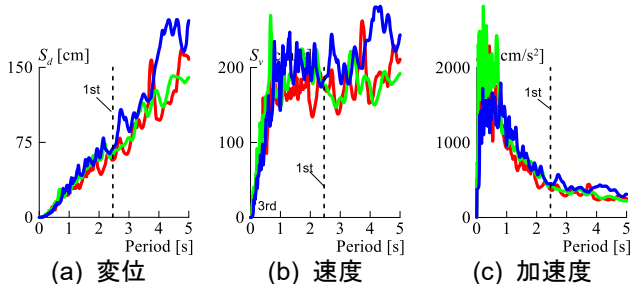
向、短辺方向を Y 方向としており、X 方向を検討対象とする。初期減衰定数  $h_0$  は、主架構の 1 次固有周期  $T_f$  に対して  $h_0 = 2\%$  となる剛性比例型とする。

## 2.2 入力地震動概要

本報では、コーナー周期 0.64s 以降で減衰定数 5% における擬似速度応答スペクトル  $\rho S_v$  が 80cm/s で一定となる告示波 ART HACHI (位相特性: HACHINOHE 1968 EW), ARTKOBE (位相特性: JMAKOBE 1995 NS) および大阪地方の基整促波である OS2<sup>り</sup>の 3 種類の地震動で検討を行う。ここで、3 章で設計・解析を行う際に、37 層モデルには 1.0 倍波、20 層モデルには 1.5 倍波を用いる。図 3 に 1.0 倍波、図 4 に 1.5 倍波における各地震動の応答スペクトルを示す。なお、解析は構造計算プログラムの RESP-D を用いて行い、積分時間間隔は 0.001 秒で出力間隔は 0.01 秒で行う。また、本報では主架構弾性で解析を行う。



(a) 変位 (b) 速度 (c) 加速度  
図 3 応答スペクトル (減衰定数 2%, 1.0 倍波)



(a) 変位 (b) 速度 (c) 加速度  
図 4 応答スペクトル (減衰定数 2%, 1.5 倍波)

## 3. オイルダンパーを用いた制振設計および解析

### 3.1 設計時に必要なパラメータ

表 1 に 37 層モデルおよび 20 層モデルにおける、変位応答スペクトル (図 3, 図 4) より求められる非制振での一質点系の応答を示す。リリーフ率  $\mu_d = 2.0$ , 取付け部材剛性比  $K_b/K_f = 2.0$  として制振設計を行う。また、設置上限ダンパー量  $K''_{di,max}$  については、各層に 2000 kN 級のオイルダンパーを、37 層モデルの場合は 6 基、20 層モデルの場合は 8 基としたときの  $K''_{di,op}$  とする。加えて、ダンパーの選定を行う際に、ダンパーのリリーフ荷重  $F_{dyi}$  は要求値  $F'_{dyi}$  を用いて以下の範囲内になるように選定する。

$$0.8F'_{dyi} \leq F_{dyi} \leq 1.2F'_{dyi} \quad (1)$$

表 1 非制振時の応答

建物モデル	設計用地震動	変位応答スペクトル [cm]
37 層モデル	ART HACHI	94.25
	ART KOBE	94.17
	OS2	133.52
20 層モデル	ART HACHI	63.95
	ART KOBE	63.14
	OS2	72.90

### 3.2 制振設計

前節で示した設計パラメータを用いて、制振設計を行う。ここで、制振設計は文献 6) で示した逆算した  $\alpha$  値を用いて、文献 4) で提案された制振設計手法に基づいて行う。図 5, 図 6 に、それぞれ 37 層モデルおよび 20 層モデルにおける、作成した制振モデルを示す。また、表 2 に制振モデルの概要を示す。表 2 中のモデル名について、37 層モデルの場合は「D」、20 層モデルの場合は「N」とする。さらに、設計用地震動を ART HACHI, ART KOBE, OS2 とした場合でそれぞれ「a」, 「b」, 「c」とし、目標層間変形角  $\theta_{max}$  を 1/125 rad, 1/150 rad とした場合でそれぞれ「125」, 「150」を末尾に付ける。加えて、表 2 中の定数  $\alpha$  は、減衰効果係

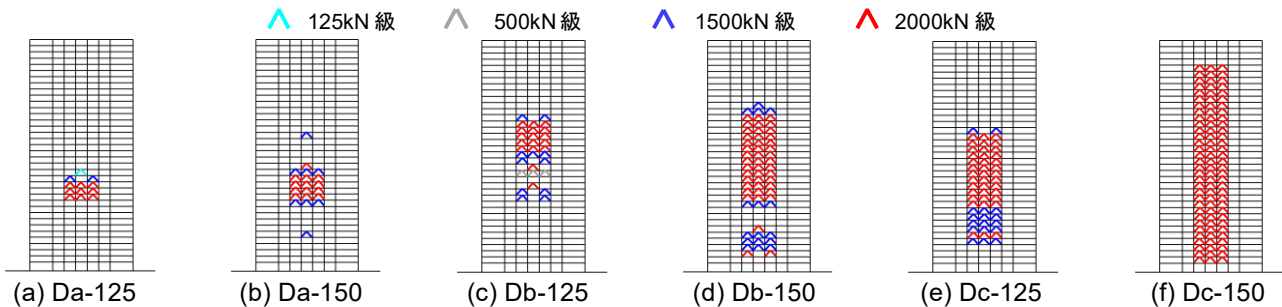


図 5 制振モデル (37 層モデル)

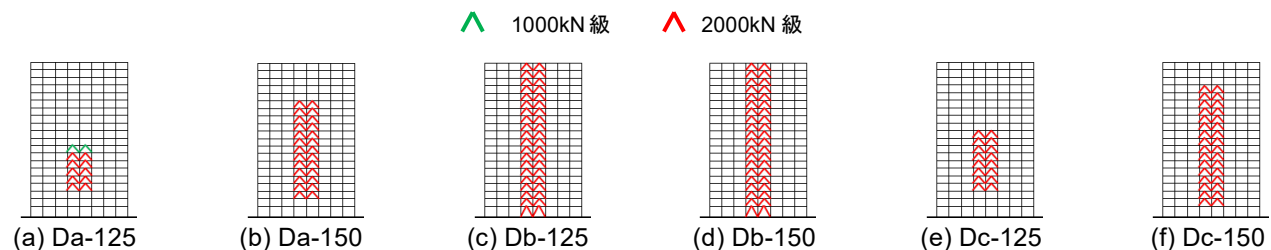


図 6 制振モデル (20 層モデル)

数  $D_h$  の算定に用いるものであり、文献 6) に示す方法により、設計用地震動の変位応答スペクトルから逆算した値を示している。これらのモデルに加えて、本報では、ダンパー設置率がどの程度まで小さくなくても目標値を満たすのか明らかにするために、図 5、図 6 に示した制振モデルのうち目標層間変形角  $\theta_{max} = 1/150$  rad のモデル (Nb モデルにおいては  $\theta_{max} = 1/125$  rad のモデル) において、ダンパーの設置数を減らしたモデルも 3 個ずつ作成する。この方法により、多質点系の 1 次損失剛性比が小さくなるため、ダンパー設置率の値が小さくなったモデルを作成することが可能となる。この方法により、新たに作成した制振モデルの概要について表 3 に示す。モデル名については、ダンパー設置率の値を末尾に付ける。

### 3.3 時刻歴応答解析

前節で示した制振モデルに設計用地震動を入力し、時刻歴応答解析を行う。表 4 に、各制振モデルにおいて、解析結果から得た最大層間変形角と目標層間変形角の比 (解析値/目標値) を全層での平均値およびダンパー設置率を示す。本報における目標値を満たすかどうかについては、文献 6) と同様に、解析結果より得られた各層の最大層間変形角と目標層間変形角の比 (解析値/目標値) を全層において平均値を算出し、その平均値が 1.1 以下になれば、目標値を満たすと評価することにする。表 4 において、平均値が 1.1 を超えているものを赤字で示す。また、図 7 に Da-150, Da-150-0.78, Da-150-0.62 モデルにおける、解析結果より得られた各層の最大層間変形角を示す。

表 2 制振モデル概要

建物モデル	モデル名	地震動	$\theta_{max}$ [rad]	$\alpha$
37 層モデル	Da-125	ART HACHI	1/125	286
	Da-150		1/150	351
	Db-125	ART KOBE	1/125	22
	Db-150		1/150	21
	Dc-125	OS2	1/125	92
	Dc-150		1/150	68
20 層モデル	Na-125	ART HACHI	1/125	68
	Na-150		1/150	86
	Nb-125	ART KOBE	1/125	7
	Nb-150		1/150	7
	Nc-125	OS2	1/125	84
	Nc-150		1/150	111

表 3 ダンパー設置率を変更した制振モデル概要

建物モデル	モデル名	地震動	ダンパー設置率
37 層モデル	Da-150-0.93	ART HACHI	0.93
	Da-150-0.78		0.78
	Da-150-0.62		0.62
	Db-150-0.86	ART KOBE	0.86
	Db-150-0.75		0.75
	Db-150-0.64		0.64
	Dc-150-0.76	OS2	0.76
	Dc-150-0.63		0.63
	Dc-150-0.57		0.57
20 層モデル	Na-150-0.87	ART HACHI	0.87
	Na-150-0.76		0.76
	Na-150-0.65		0.65
	Nb-125-0.83	ART KOBE	0.83
	Nb-125-0.79		0.79
	Nb-125-0.66		0.66
	Nc-150-0.87	OS2	0.87
	Nc-150-0.71		0.71
	Nc-150-0.63		0.63

表 4 設計法の精度 (解析値/目標値) の平均値およびダンパー設置率

建物モデル	設計用地震動	モデル名	平均値	$K_a^*/K_f$	$\Sigma K_a^*/\Sigma K_f$	ダンパー設置率
						$\frac{\Sigma K_a^*/\Sigma K_f}{K_a^*/K_f}$
37 層モデル	ART HACHI	Da-125	1.01	0.038	0.038	1.00
		Da-150	1.00	0.090	0.090	1.00
		Da-150-0.93	1.04	0.090	0.084	0.93
		Da-150-0.78	1.10	0.090	0.070	0.78
		Da-150-0.62	1.16	0.090	0.056	0.62
	ART KOBE	Db-125	1.00	0.102	0.102	1.00
		Db-150	1.01	0.261	0.261	1.00
		Db-150-0.86	1.06	0.261	0.224	0.86
		Db-150-0.75	1.11	0.261	0.196	0.75
		Db-150-0.64	1.15	0.261	0.168	0.64
	OS2	Dc-125	0.90	0.218	0.218	1.00
		Dc-150	0.87	0.441	0.441	1.00
		Dc-150-0.76	0.95	0.441	0.336	0.76
		Dc-150-0.63	0.99	0.441	0.280	0.63
		Dc-150-0.57	1.03	0.441	0.252	0.57
20 層モデル	ART HACHI	Na-125	0.98	0.124	0.124	1.00
		Na-150	0.90	0.218	0.212	0.97
		Na-150-0.87	1.08	0.218	0.189	0.87
		Na-150-0.76	1.12	0.218	0.165	0.76
		Na-150-0.65	1.16	0.218	0.141	0.65
	ART KOBE	Nb-125	1.13	0.540	0.501	0.93
		Nb-150	1.41	1.092	0.501	0.46
		Nb-125-0.83	1.14	0.540	0.448	0.83
		Nb-125-0.79	1.15	0.540	0.424	0.79
		Nb-125-0.66	1.16	0.540	0.354	0.66
	OS2	Nc-125	1.00	0.185	0.185	1.00
		Nc-150	0.94	0.298	0.283	0.95
		Nc-150-0.87	1.07	0.298	0.259	0.87
		Nc-150-0.71	1.15	0.298	0.212	0.71
		Nc-150-0.63	1.18	0.298	0.189	0.63

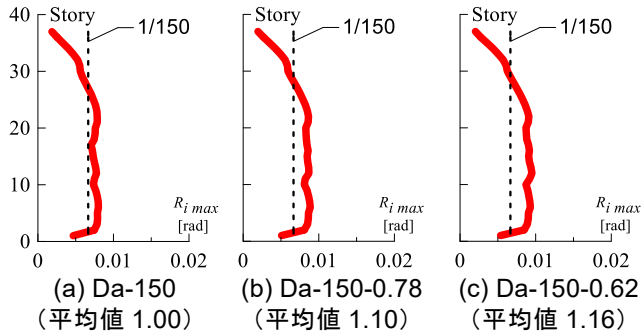


図 7 平均値が異なるモデルの最大層間変形角

#### 4. ダンパー設置率と設計精度の関係

本章では、表 4 に示した解析結果を用いて、ダンパー設置率と設計精度の関係について分析する。図 8 に、表 4 におけるダンパー設置率を横軸に、目標層間変形角に対する最大層間変形角の全層での平均値を縦軸にとったグラフを示す。図 8 中の赤線は、目標値を満たすかどうかの判断基準である目標層間変形角に対する最大層間変形角の全層での平均値が 1.1 を表している。図 8 により、ダンパー設置率と平均値には、負の相関があることが分かり、建物モデルや設計用地震動、定数  $\alpha$  に関係なく、概ね一直線になることが分かる。また、ダンパー設置率と目標層間変形角に対する最大層間変形角の全層での平均値の関係より、ダンパー設置率の値が概ね 0.85 以上になれば、目標値を満たすことが分かる。

#### 5. まとめ

本報では、様々な設計パラメータを用いて、ダンパー設

置率の異なる制振モデルを作成し、時刻歴応答解析結果より、ダンパー設置率と設計精度の関係を分析した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 横軸に一質点系に対する多質点系の 1 次損失剛性比 (ダンパー設置率)、縦軸に目標層間変形角に対する最大層間変形角の全層での平均値をとったグラフを作成したところ、建物モデルや設計用地震動、定数  $\alpha$  に関係なく、概ね一直線になることが分かる。
- 2) ダンパー設置率と目標層間変形角に対する最大層間変形角の全層での平均値の関係より、ダンパー設置率の値が概ね 0.85 以上になれば、目標値を満たすことが分かった。

#### 参考文献

- 1) 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対策について (技術的助言), 2016.06
- 2) 笠井和彦, 伊藤浩資, 小椋崇之: オイルダンパーの等価剛性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, Vol.73, No.630, pp.1281-1288, 2008.08
- 3) 上野史也, 渡井一樹, 佐藤大樹, 笠井和彦, 佐分利和宏, 前田達彦, 増田寛之: オイルダンパーと変形制御機構を併用した大振幅地震動に対する既存超高層建物の制振改修設計法, 構造工学論文集 vol.66B, pp.353-365, 2020.03
- 4) 満田悠斗, 佐藤大樹, Alex Shegay: 任意指定ダンパー量を考慮したオイルダンパー制振設計手法の検討—パラメータが設計値に与える影響—, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, 2023.02
- 5) 満田悠斗, 佐藤大樹, 笠井和彦, 渡井一樹, Alex Shegay: オイルダンパーの設置上限を考慮した超高層制振建物の設計手法の検討, 第 16 回日本地震工学シンポジウム論文集, G403-05, 2023.11
- 6) 日本免震構造協会 (JSSI): パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第 1 版, 2003.10, 第 2 版, 2005.09, 第 3 版, 2013.11
- 7) 日本建築学会: 鋼構造制振設計指針第 1 版, 2014.11

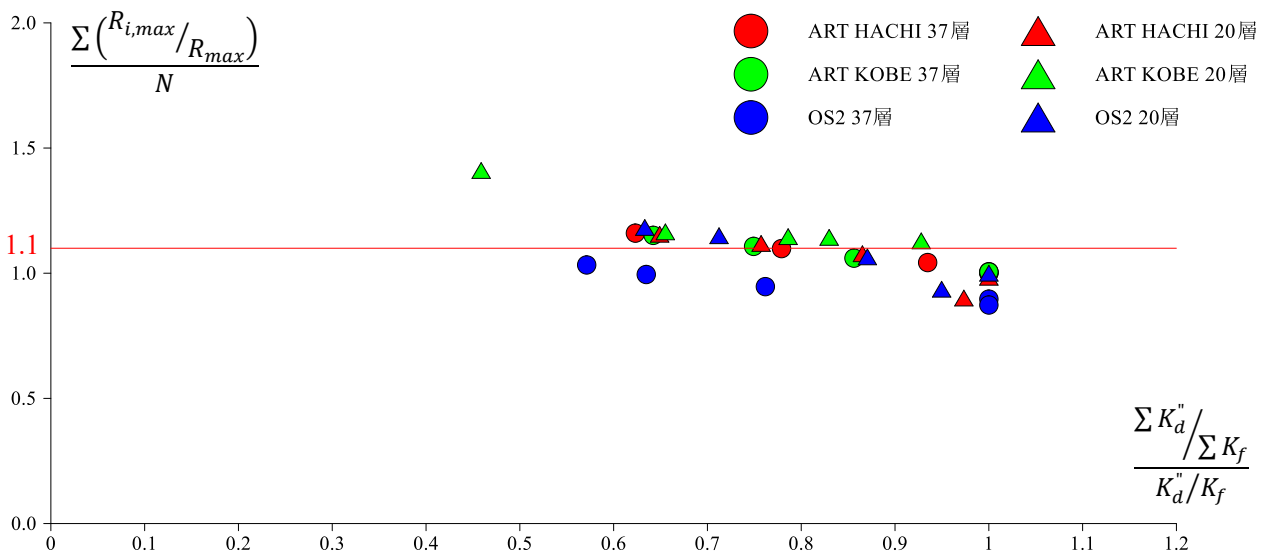


図 8 平均値とダンパー設置率の関係

\*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 大学院生

\*2 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士 (工学)

\*3 株式会社竹中工務店 技術研究所

\*4 東京工業大学 名誉教授 Ph.D

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Research & Development Institute, Takenaka corporation

Tokyo Institute of Technology, Ph.D.