

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	複数建物を有する街区免震の地震応答に関する検討 その2 最適ダンパ一量の検討と応答低減効果の比較
Title(English)	Seismic response of multiple building base isolated system Part2. Optimum damper size and response reduction effect
著者(和文)	長谷川愛理, 佐藤大樹, 李晶, 菊地優
Authors(English)	Airi Hasegawa, Daiki Sato, Jing LI, Masaru Kikuchi
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 505-508
Citation(English)	, , , pp. 505-508
発行日 / Pub. date	2023, 2
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 複数建物を有する街区免震の地震応答に関する検討

## その2 最適ダンパー量の検討と応答低減効果の比較

構造—振動

正会員 ○ 長谷川愛理<sup>\*1</sup>正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup>// 李晶<sup>\*1</sup>// 菊地優<sup>\*3</sup>

免震構造 街区免震 耐震

時刻歴応答解析 降伏せん断力係数 ダンパー量

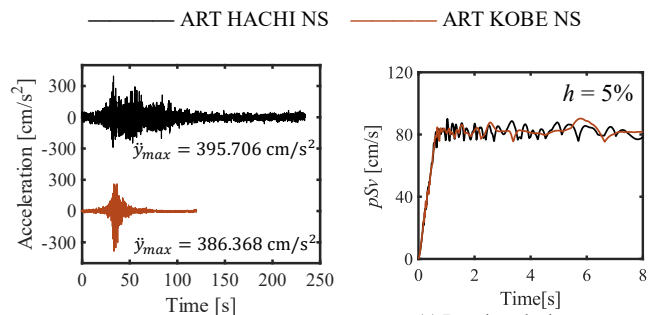
## 1. はじめに

本報その1では、免震構造協会が提案している街区免震のモデルについて固有値解析を行い、上部構造の固有周期が街区免震全体に与える影響について考察した。街区免震全体に対して、固有周期が長い建物の応答が支配的となり、街区免震全体の固有周期はそのような建物の固有周期に近づくことがわかった。

本報その2では、街区免震における免震層の最適なダンパー量について検討する。具体的には、時刻歴応答解析を行い上部構造と免震層の最大応答値から、応答低減効果が大きいダンパー量を検討する。さらにそこから得られた最適ダンパー量を用いて、街区免震モデルの応答結果を単体免震モデル、耐震モデルの結果と比較し、街区免震の応答低減効果について検討する。

## 2. 入力地震動

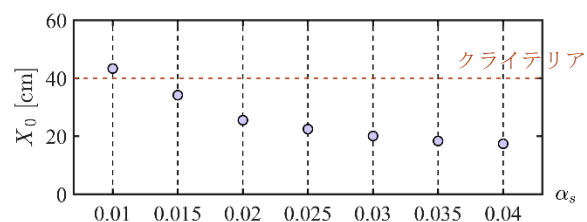
入力地震動は、コーナー周期 0.64 s 以降で擬似速度応答スペクトル  $\rho S_v(h=5\%)$  が 80 cm/s で一定となる告示波 ART HACHI(位相特性:HACHINOHE 1968 NS)と、ART KOBE(位相特性:JMA KOBE 1995 NS)の2種類を用いる。Fig. 1に時刻歴波形、Fig. 2に擬似速度応答スペクトル  $\rho S_v(h=5\%)$ を示す。

Fig. 1  
時刻歴波形Fig. 2  
擬似速度応答スペクトル

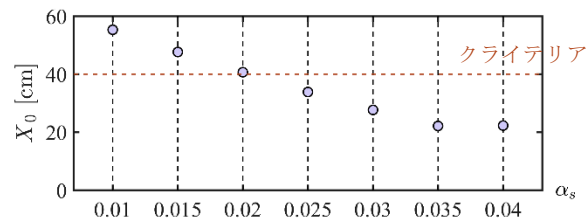
## 3. 街区免震におけるダンパー量の検討

街区免震に対してダンパー量をパラメータとした時刻歴応答解析を行い、得られた最大応答値に基づいて、本検討モデルにおける最適なダンパー量を検討する。ここで、ダンパー量とは免震層の降伏せん断力係数  $\alpha_s$  を指す。

Fig. 3~5にそれぞれ時刻歴応答解析により得られた、免震層の最大変位  $X_0$ 、上部構造の最大層間変形角  $R_{max}$ 、上部構造の最大加速度  $A_{max}$  を示す。図中の赤破線は各指標の許容上限値を表しており、Fig. 3は免震層の変位のクライテリア、Fig. 4は層間変形角のクライテリア、Fig. 5は入力地震動の最大加速度である。また(a)には ART HACHI NS を、(b)には ART KOBE NS を用いた結果を示している。Fig. 3の免震層の最大変位では、ダンパー量が大きいほど免震層の応答は低減する傾向が見られ、 $\alpha_s = 0.025$  以上でクライテリアを満足することが確認できる。Fig. 4, 5に示す上部構の応答値に着目すると、ダンパー量が過大また

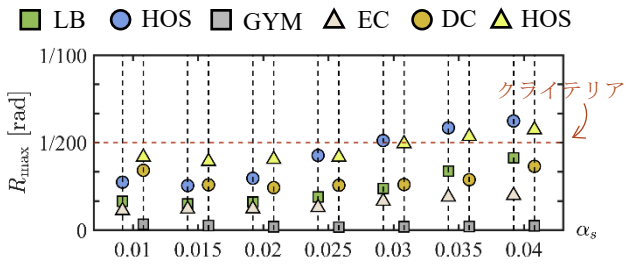


(a) ART HACHI NS

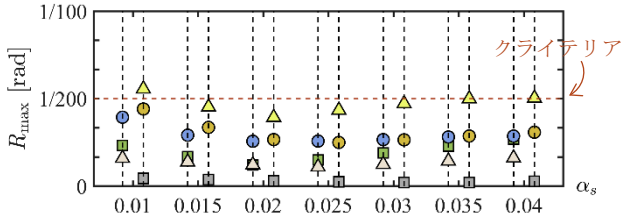


(b) ART KOBE NS

Fig. 3 免震層の最大変位

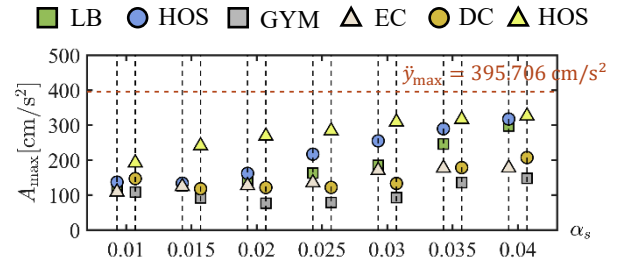


(a) ART HACHI NS

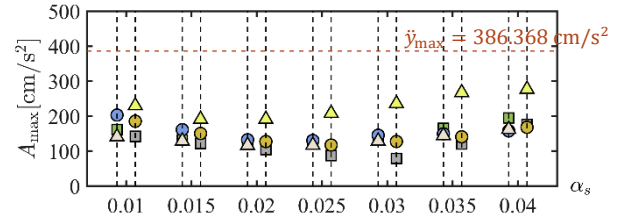


(b) ART KOBE NS

Fig. 4 上部構造の最大層間変形角

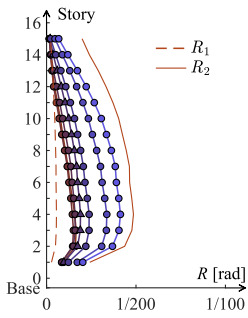
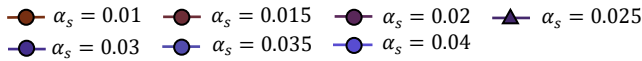


(a) ART HACHI NS

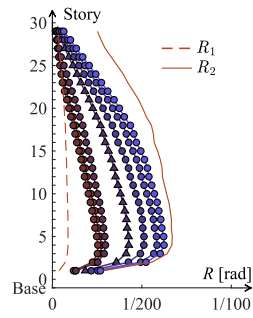


(b) ART KOBE NS

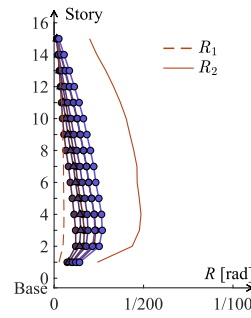
Fig. 5 上部構造の最大加速度



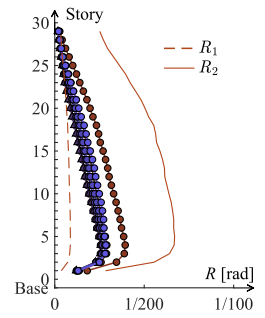
(a) LB



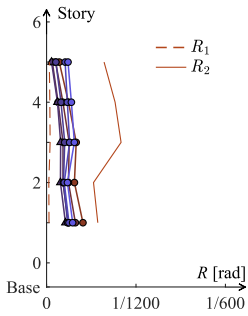
(b) HB



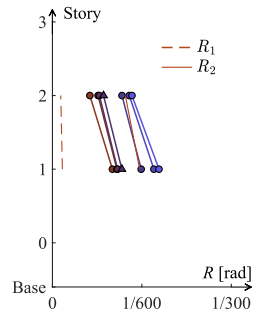
(a) LB



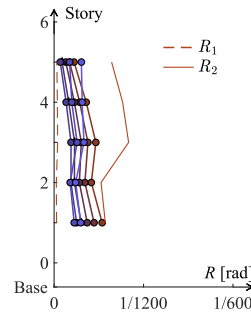
(b) HB



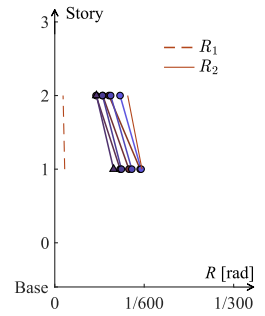
(c) GYM



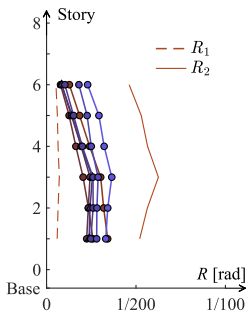
(d) EC



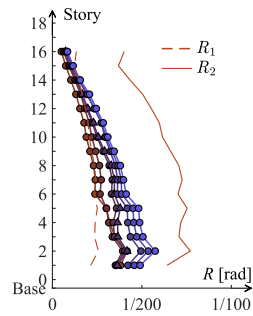
(c) GYM



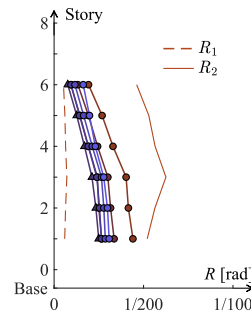
(d) EC



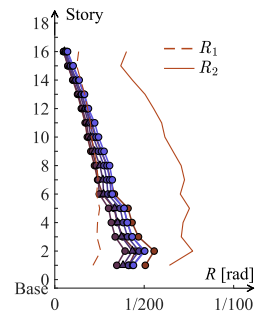
(e) DC



(f) HOS



(e) DC



(f) HOS

Fig. 6 層間変形角の高さ方向分布(ART HACHI NS)

Fig. 7 層間変形角の高さ方向分布(ART KOBE NS)

は過小であるとき応答は増大する傾向にあり、特に固有周期が長い病院(HOS), 高層住宅棟(HB)の応答値が大きいことがわかる。Fig. 4 では $\alpha_s = 0.015 \sim 0.025$  の範囲において全ての建物の最大層間変形角が許容範囲に収まっているほか、Fig. 5 についても $\alpha_s = 0.015 \sim 0.025$  の応答値は比較的小さいことが確認できる。これらの結果より、全ての建物と免震層において設計クライテリアを満たすダンパー量は $\alpha_s = 0.025$  である。

Fig. 6, 7 に上部構造の最大層間変形角の高さ方向分布を示す。Fig. 6 は ART HACHINS を、Fig. 7 は ART KOBE NS を用いており、それぞれ(a)~(f)に建物ごとの結果を示す。図中の赤破線は第一勾配の限界( $\delta_1$ )層間変形角  $R_1$  を、赤実線は第二勾配の限界( $\delta_2$ )層間変形角  $R_2$  を表している。Fig. 6, Fig. 7 より、多くの条件下で各層の最大層間変形角は第二勾配までに収まっていることが確認できる。さらにダンパー量が極端に多いとき、または極端に少ないとき、応答値は最大を示す傾向が見られる。

以上より、ダンパー量が過大または過小であるとき街区免震の応答は増大する傾向にあることがわかる。また、本検討モデルにおける最適なダンパー量は、全ての建物および免震層で設計クライテリアを満たし、応答値が比較的低い値を示す 0.025 と決定できる。

#### 4. 街区免震, 単体免震, 耐震の比較

##### 4.1. 解析モデル概要

本章では街区免震に加え、単体免震モデルおよび耐震モデルの解析を行う。以下に単体免震と耐震のモデル概要を示す。解析対象とする建物は本報その1で示した6種類とし、建物の略称も同じく、低層住宅棟を LB, 高層住宅棟を HB, 緊急避難所を GYM, エネルギーセンターを EC, 防災指令センターを DC, 病院を HOS と表す。

##### 単体免震モデル

本報では、建物1棟につき1つの免震基盤を有するモデルを単体免震と定義する。解析モデルを Fig. 8 に示す。単体免震モデルにおける免震層の質量は、各上部構造の支配面積に含まれる免震基盤の重量を合計することで算出する。そのようにして求めた免震層の質量を Table 1 に示す。ここで $m_0$ は免震層のみの質量を、 $\Sigma m$ は上部構造と免震層の合計である総質量を表している。全ての建物において、免震層の最大変形 $\delta_{0,max}$ は 40 cm, 免震層の1次固有周期 $T_{iso}$ は 1.5 s, 免震層の最大せん断力係数 $\alpha_{0,max}$ は 0.1, 降伏せん断力係数 $\alpha_s$ は 0.025(3章)とする。街区免震と同じ手法を用いた免震層の設定により得られた免震層のパラメータを Table 2 に示す。ここで、 $T_f$ はアイソレータの周期、 $k_f$ は免震層の降伏剛性、 $k_s$ は履歴型ダンパーの剛性、 $\delta_y$ は免震層の降伏変形を表している。

##### 耐震モデル

免震層を設けない耐震の解析モデルを Fig. 9 に示す。解析対象とする建物の種類は、街区免震および単体免震と同じであるが、耐震の場合は建物の剛性と耐力をそれぞれ免震の場合の2倍に増幅する。固有値解析によって得られた1~3次の耐震建物の固有周期を Table 3 に示す。免震時同様、1次固有周期が極端に長く支配的となっており、病院(HOS), 高層住宅棟(HB)の順に固有周期が長い建物であることが確認できる。

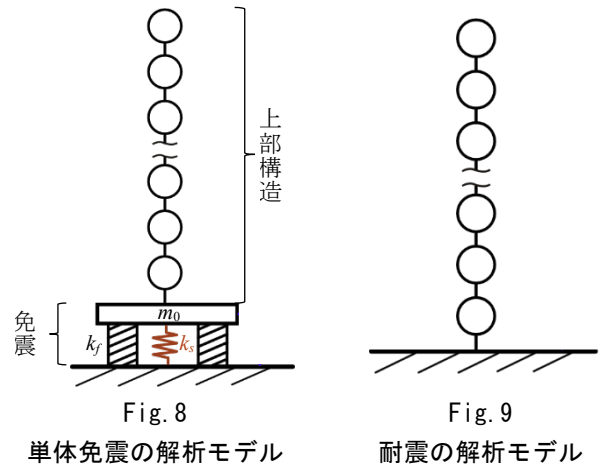


Table 1 単体免震時の質量 [kN・s<sup>2</sup>/cm]

建物	LB	HB	GYM	EC	DC	HOS
$m_0$	19.6	26.1	97.8	97.8	81.5	117.3
$\Sigma m$	248.4	368.5	362.0	250.8	256.0	654.3

Table 2 免震層のパラメータ

建物	$T_f$ [s]	$k_f$ [kN/cm]	$k_s$ [kN/cm]	$\delta_y$ [cm]
LB	4.55	473.0	3886	1.396
HB		701.7	5765	
GYM		689.2	5662	
EC		477.6	3924	
DC		487.4	4004	
HOS		1245.7	10234	

Table 3 耐震建物の固有周期 [s]

建物	1次	2次	3次
LB	0.594	0.211	0.129
HB	1.079	0.376	0.228
GYM	0.135	0.071	0.043
EC	0.296	0.114	—
DC	0.630	0.231	0.154
HOS	1.185	0.455	0.272

## 4.2. 時刻歴応答解析結果

単体免震モデル( $\alpha_s=0.025$ ), 耐震モデルについて時刻歴応答解析を行った。本章では街区免震を含めた3つのタイプのモデルについて, 最大応答値の観点から比較を行う。ここで層間変形角のクライテリアは, 免震の場合で1/200, 耐震の場合で1/100と設定する。Fig. 10(a)~(c)にそれぞれ上部構造の最大層間変形角, 上部構造の最大加速度, 免震層の最大変位を示す。図中の赤破線は各指標の許容上限値を表しており, Fig. 10(a)は層間変形角のクライテリア, Fig. 10(b)は入力地震動の最大加速度, Fig. 10(c)は免震層の変位のクライテリアである。街区免震において, 耐震と比較すると応答は大きく低減しており, 免震による応答低減効果が発揮されていることがわかる。単体免震と比較すると上部構造の最大加速度, 免震層の最大変位はほぼ同値であり, 全ての条件下においてどちらもクライテリアを満たしている。しかし上部構造の最大層間変形角に着目すると, 街区免震の応答のほうが大きくなる場合も見受けられる。

## 5. まとめ

街区免震モデル, 単体免震モデル, 耐震モデルに対して時刻歴応答解析を行い, 最大応答値に基づいた街区免震の応答低減効果について検討を行った。街区免震における最適なダンパー量の検討では, 過大または過小なダンパー量は応答を増大させる傾向にあり, 本検討モデルでは $\alpha_s=0.025$ が最も応答低減効果を発揮する最適なダンパー量であることがわかった。街区免震モデル, 単体免震モデル, 耐震モデルによる応答比較では, 耐震モデルに比べ街区免震の応答は小さい結果となり, 免震による応答低減効果が確認できた。しかし, 単体免震モデルと比較すると街区免震の応答の方が大きくなる場合もあることから, 設計の際には注意が必要である。

謝辞, 参考文献はその1にまとめて示す。

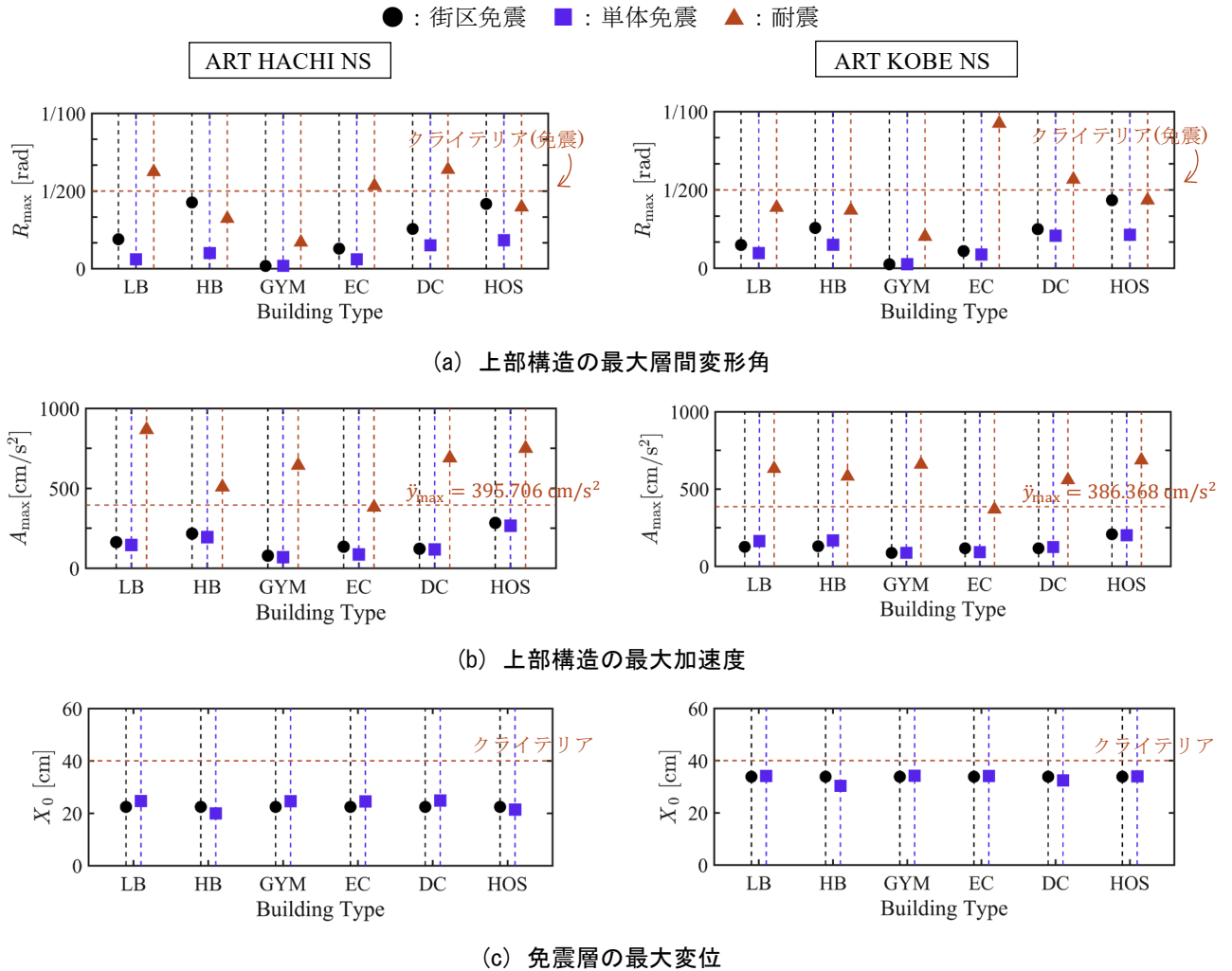


Fig. 10 最大応答値

\*1 東京工業大学 大学院生

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology \*1

\*2 東京工業大学未来産業技術研究所准教授・博士(工学) Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng \*2

\*3 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng \*3