

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	都市免震構造の地震応答特性に関する検討（その2：最適ダンパー量の検討）
Title(English)	Seismic response of a seismically-isolated urban structure Part 2: Optimum damper size
著者(和文)	佐藤大樹, 長谷川 愛理, 李 晶, 菊地優
Authors(English)	Daiki Sato, Airi Hasegawa, Jing LI, Masaru Kikuchi
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 617-618
Citation(English)	, , , pp. 617-618
発行日 / Pub. date	2023, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

都市免震構造の地震応答特性に関する検討
(その2:最適ダンパー量の検討)免震構造 街区免震 時刻歴解析
地震応答 ダンパー量正会員 ○佐藤 大樹*¹ 同 長谷川 愛理*¹
同 李 晶*¹ 同 菊地 優*²

1. はじめに

本報その1では、レジリエントな都市の実現に向けた免震構造として街区免震を提案し、その試設計について示した。本報その2では、街区免震に対して時刻歴応答解析を行い、最大応答値の観点から街区免震全体の応答が低減される最適なダンパー量を検討する。

2. 解析モデル概要

2.1 上部構造

解析対象とするモデルは、本報その1で示した建物6種類、合計11棟が同一免震基盤を共有する街区免震である。解析モデルをFig. 1に示す。本検討では多質点せん断モデルでモデル化し、解析はX方向で行う。上部構造の減衰は瞬間剛性比例型とし、構造減衰は一次固有周期(弾性)に対して鉄骨造で $1h_u = 2\%$ 、鉄筋コンクリート造で $1h_u = 3\%$ とする。

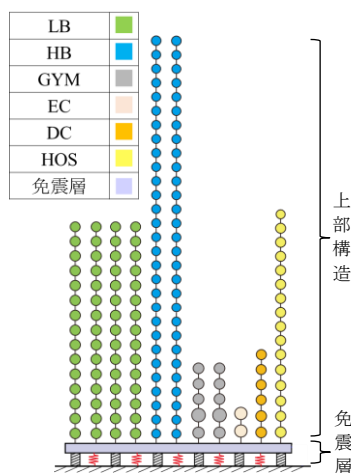


Fig. 1 解析モデル

上部構造の復元力特性は鉄骨造でノーマルトリニアモデル、鉄筋コンクリート造で武田モデルを採用した。Fig. 2に上部構造の骨格曲線を示す。ここで、 Q_1 、 Q_2 は第1、第2折れ点荷重を、 k_1 、 k_2 、 k_3 はそれぞれ1~3次の剛性を、 δ_1 、 δ_2 は第1、第2降伏変形を示す。各階重量および1次剛性 k_1 を既知とし、2次剛性 k_2 、3次剛性 k_3 はそれぞれ下式より求められる。

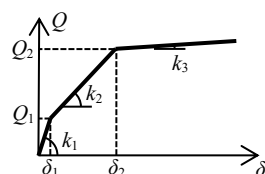


Fig. 2 上部構造の骨格曲線

$$k_2 = 0.30k_1, \quad k_3 = 0.01k_1 \quad (1), (2)$$

第2折れ点荷重 Q_2 はAi分布($C_0 = 0.12$)を用いて求めた値をさらに1.2倍する。また、第1折れ点荷重 Q_1 は割増係数(0.30)を用いて以下で求められる。

$$Q_1 = 0.30Q_2 \quad (3)$$

第1降伏変形 δ_1 、第2降伏変形 δ_2 はFig. 2の関係から下式により決まる。

$$\delta_1 = \frac{Q_1}{k_1}, \quad \delta_2 = \delta_1 + \frac{Q_2}{k_2} \quad (4), (5)$$

以上により求められた剛性と耐力を、低層住宅棟、高層

住宅棟、病院では1.5倍、防災指令センターでは1.2倍に増幅した値を採用する。

免震層を固定とした際の上部構造の1次固有周期(弾性)をTable1に示す。6種類の中で病院(HOS)、高層住宅棟(HB)の順に固有周期が長く、1秒を超える長い周期が確認できる。

Table1 上部構造の1次固有周期[s]

DC	HOS	EC	GYM	LB	HB
0.891	1.676	0.419	0.191	0.840	1.526

2.2 免震層

免震層の質量は、本報その1で示した値とする。

Fig. 3に免震層の骨格曲線を示す。復元力特性はノーマルバイリニア型を用い、減衰は無減衰とする。ここで、 Q_y 、 $Q_{0,max}$ は免震層の降伏せん断力および最大せん断力を、 δ_y 、 $\delta_{0,max}$ は免震層の降伏変形および最大変形を、 k_{iso} 、 $k_{iso,y}$ 、 k_{eq} はそれぞれ免震層の初期剛性、降伏剛性、等価剛性を表している。

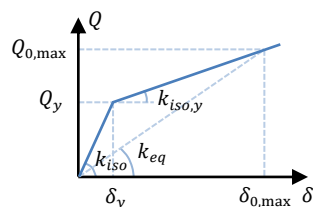


Fig. 3 免震層の骨格曲線

免震層の降伏せん断力係数を α_s 、免震層の最大せん断力係数を $\alpha_{0,max}$ とすると、免震層の降伏せん断力 Q_y と最大せん断力 $Q_{0,max}$ はそれぞれ次式より得られる。

$$Q_y = \Sigma m g \alpha_s, \quad Q_{0,max} = \Sigma m g \alpha_{0,max} \quad (6), (7)$$

ここで、 Σm は上部構造と免震層の質量の合計を、 g は重力加速度を示している。

免震層の等価剛性 k_{eq} および等価固有周期 T_{eq} は、免震層の最大変形 $\delta_{0,max}$ を用いて次で表される。

$$k_{eq} = \frac{Q_{0,max}}{\delta_{0,max}}, \quad T_{eq} = 2\pi \sqrt{\frac{\Sigma m}{k_{eq}}} \quad (8), (9)$$

免震層の初期剛性 k_{iso} は、免震層の1次固有周期 T_{iso} を用いて次式で求められる。

$$k_{iso} = \frac{4\pi^2 \Sigma m}{T_{iso}^2} \quad (10)$$

免震層の降伏変形 δ_y を次に示す。

$$\delta_y = \frac{Q_y}{k_{iso,y}} \quad (11)$$

免震層の降伏剛性 $k_{iso,y}$ は次式で得られる。

$$k_{iso,y} = \frac{(Q_{0,max} - Q_y)}{(\delta_{0,max} - \delta_y)} \quad (12)$$

以上の式に用いる設計用のパラメータは、免震層の最大変形 $\delta_{0,max} = 40$ cm、免震層の1次固有周期 $T_{iso} = 1.5$ s、免震層の最大せん断力係数 $\alpha_{0,max} = 0.1$ と設定した。免震層の

降伏せん断力係数(以下、ダンパー量) α_s は 0.01~0.04 を 0.005 刻みにした 7 ケースとする。

3. 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 pS_v (減衰定数 $h = 5\%$) 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。なお、地震波倍率はそれぞれ 1.0 倍とレベル 2 を超える 1.5 倍を採用した。Fig. 4 に時刻歴波形, Fig. 5 に擬似速度応答スペクトル pS_v ($h = 5\%$) を示す。

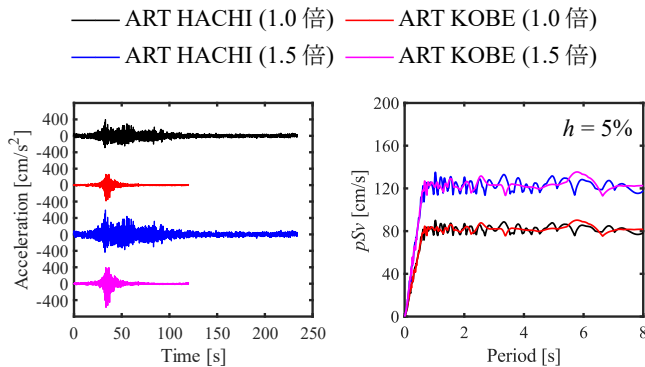


Fig. 4
時刻歴波形

Fig. 5
擬似速度応答スペクトル

4. 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。本検討に用いる入力地震動は、地震波倍率 1.0 倍の 2 波のみである。ここで、最適ダンパー量とは免震層と全ての上部構造の応答が低減しやすい値と定義する。

Fig. 6~8 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。図中の赤破線について、Fig. 6, 7 では各指標の 1.0 倍波に対するクライテリアを、Fig. 8 では入力地震動の最大加速度 $\ddot{y}_{max}$ を表している。ここで、Fig. 7, 8 では ART HACHI の結果のみを示す。Fig. 6 の免震層の最大変位において、ダンパー量が大きいほど免震層の応答は低減していく傾向が見られ、 $\alpha_s = 0.025$ 以上でクライテリアを満たすことが確認できる。Fig. 7 および Fig. 8 に示す上部構造の応答に着目すると、ダンパー量が過大また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)の応答値が目立って大きくなっていることがわかる。Fig. 7 では $\alpha_s = 0.025$ 以下の範囲において全ての上部構造の応答値が許容範囲内に収まっているほか、Fig. 8 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。

以上より、ダンパー量を過大にすると上部構造の応答が増大し、過小にすると免震層の応答が増大する傾向にあることから、街区免震全体の応答を低減させるには適切なダンパー量の決定が重要であることがわかる。これらを踏まえると、本検討モデルにおける最適なダンパー量は、全ての上部構造および免震層で設計クライテリアを満たし、街区免震全体で比較的小さい応答を示す 0.025 と決定できる。

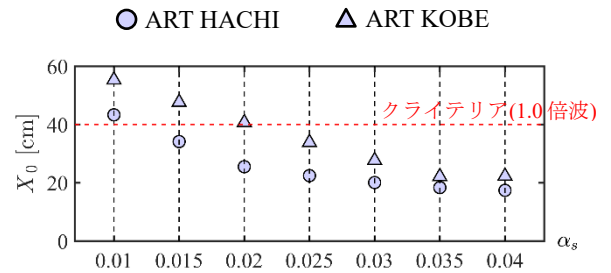


Fig. 6 免震層の最大変位

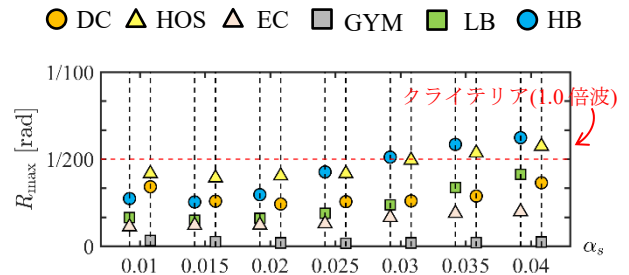


Fig. 7 上部構造の最大層間変形角(ART HACHI)

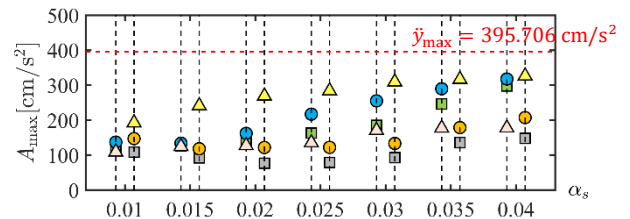


Fig. 8 上部構造の最大加速度(ART HACHI)

5. まとめ

上部構造 11 棟を有する街区免震を対象に時刻歴応答解析を行い、最大応答値の観点から街区免震全体の応答が低減される最適なダンパー量を検討した。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、設計クライテリアを超える数値が見られた。全ての条件下において基準値を満たし、比較的応答低減効果の大きい $\alpha_s = 0.025$ が本検討モデルにおける最適なダンパー量であることが確認できた。

参考文献

- 1) 日本免震構造協会：レジリエントな都市の実現構造研究会
免震システム技術 WG 活動報告書、2023 年 3 月

*1 東京工業大学

*2 北海道大学

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 Hokkaido University