T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

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)			
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			

都市免震構造	の地震応答特性は	こ関する検討					
(その2:最適ダンパー量の検討)							
免震構造	街区免震	時刻歷解析					
地震応答	ダンパー量						

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 1h11 = 2%, 鉄 筋コンクリート造で $_{1}h_{II} = 3\%$ とする。

上部構造の復元力特性 は鉄骨造でノーマルトリ 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

さ





す。ここで、Q1、Q2は第1、第2折れ点荷重を、k1、k2、 k₃はそれぞれ 1~3 次の剛性を, δ₁, δ₂は第 1, 第 2 降伏変 形を示す。各階重量および1次剛性 k1を既知 ¹⁾とし、2次 剛性 k2, 3 次剛性 k3 はそれぞれ下式より求められる。

$$k_2 = 0.30k_1$$
, $k_3 = 0.01k_1$ (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。

$$Q_1 = 0.30Q_2$$
 (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。

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

Seismic response of a seismically-isolated urban structure Part 2: Optimum damper size

正会員	○佐藤 大樹*1	同	長谷川 愛理*1
同	李 晶*1	司	菊地 優* ²

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_v, 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_{v} , $\delta_{0,max}$ は免震層



Fig.3 免震層の骨格曲線

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。

免震層の降伏せん断力係数を as,免震層の最大せん断力 係数を $\alpha_{0,\text{max}}$ 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。

 $Q_y = \Sigma m g \alpha_s$, $Q_{0,\max} = \Sigma m g \alpha_{0,\max}$ (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 keq および等価固有周期 Teq は,免震層 の最大変形 δ_{0.max}を用いて次で表される。

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

免震層の初期剛性 kiso は,免震層の1次固有周期 1Tiso を用 いて次式で求められる。

$$k_{iso} = \frac{4\pi^2 \Sigma m}{{}_1 T_{iso}^2} \tag{10}$$

免震層の降伏変形みを次に示す。

$$\delta_y = \frac{Q_y}{k_{iso}} \tag{11}$$

免震層の降伏剛性kiso,水は次式で得られる。

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

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 $\delta_{0,\text{max}} = 40$ cm, 免震層の1次固有周期 $_1T_{iso} = 1.5$ 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

SATO Daiki, HASEGAWA Airi

LI Jing, KIKUCHI Masaru

降伏せん断力係数(以下、ダンパー量)as 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。

— ART HACHI (1.0 倍) — ART KOBE (1.0 倍) - ART HACHI (1.5 倍) —— ART KOBE (1.5 倍) 200 400 h = 5%Acceleration [cm/s²⁻ 160 -400 400 [cm/s] 120 -400 400 VSv | 80 -400 400 -400 100 150 200 0 50 250 4 Time [s] Period [s] Fig. 4 Fig. 5 時刻歴波形 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X₀,上部構造の最大層間変形角 R_{max},上部 構造の最大加速度 Amax 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ÿ_{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 α_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 *α*_s = 0.015 ~ 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。



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 *a*_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

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 Tokyo Institute of Technology

*2 Hokkaido University