

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	複数建物を有する免震システムの免震層と上部構造の設計手法 (その3: 免震層質量変化による上部構造と免震層の相互作用)
Title(English)	Design method of multiple building base-isolated system for seismic isolation layer and superstructure Part 3: Effect of Seismic Isolation Layer Mass Variation on Mutual Influence between Superstructures
著者(和文)	李晶, 佐藤大樹
Authors(English)	Jing Li, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 995-996
Citation(English)	, 構造II, , pp. 995-996
発行日 / Pub. date	2025, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

複数建物を有する免震システムの免震層と上部構造の設計手法
(その3: 免震層質量変化による上部構造と免震層の相互作用)

免震システム 複数建物 相互作用
等価入力地震波 応答スペクトル 時刻歴解析

正会員 ○李 晶*1

同 佐藤 大樹*1

1. はじめに

街区免震 (JSSI提案) は、大地震時に建物や都市機能を保護する免震システムである¹⁾。筆者らは²⁾、免震層の質量が大きい場合において、上部構造と免震層との相互作用が無視できることを利用した、上部構造設計用の疑似等価応答スペクトルおよび、適用範囲判定手法を提案している。しかし、免震層の質量が大きい場合には、上部構造と免震層での相互影響も増大する。そこで、本報では、免震層の質量を変化させ、上部構造と免震層の相互の影響を検討する。

2. 建物モデルおよび入力地震波の概要

2.1 解析モデル

本報では、一つの免震層の上に上部構造が2棟で構成される場合を検討する。上部構造は高層住宅棟 HB と病院 HOS である。HB と HOS は JSSI の報告書¹⁾と同じである。本報では、免震層のねじれは考慮せず、上部構造の X 方向のみを対象とする。建物の諸元を Table 1 に示す。

本報では相互作用の影響を検討するための解析モデルとして、Fig. 1 に示す四つのモデルを用いる。なお、各モデル総質量は同じに設定する。(a) はすべての上部構造が質点系で表現された Multiple Buildings Multi-Degrees-of-Freedom Model (MM Model) である。また、(b, c) は単一の建物の質点系を考慮するだけで、他の建物の質量を免震層に加算した Independent Buildings Multi-Degrees-of-Freedom Model (IM Model) である。なお、(d) は質量が総質量の 1 自由度モデルの Σm Model である。IM Model の

Table 1 建物種類¹⁾

建物	階数	構造	建物質量 [kN・s ² /cm]	建築面積* [m ²]	周期 [s]
HB(高層住宅棟)	29	RC	342.4	1250	1.526
HOS(病院)	16	S	536.9	5625	1.676

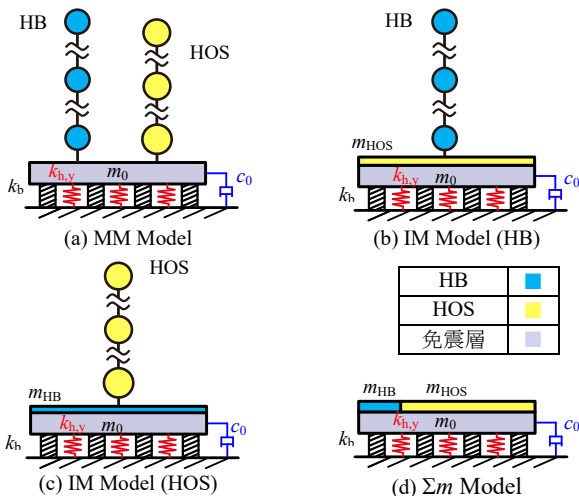


Fig. 1 解析モデル

場合、上部構造 HB および HOS の総質量はそれぞれ m_{HB} , m_{HOS} とする。上部構造は弾性として、上部構造の弾性 1 次、2 次および 3 次固有周期はそれぞれ $T_{u,1st}$, $T_{u,2nd}$ と $T_{u,3rd}$ とする。また、減衰は剛性比例減衰として、上部構造 HB の 1 次減衰定数は $\xi_{U,j} = 3\%$ 、一方、HOS は $\xi_{U,j} = 2\%$ である。なお、免震層について、免震層の質量を m_0 、アイソレーター剛性を k_b 、履歴系ダンパー剛性を $k_{h,y}$ 、粘性系ダンパー減衰係数を c_0 とそれぞれ定義する。

全ての Model における免震層の質量 m_0 は、免震層の単位重量 ($\bar{W}_0 = 20.44 \text{ kN/m}^2$) と建物の建築面積 A の倍数 r_0 により定義する。 r_0 は免震層単位質量倍数とする。

$$m_0 = r_0 \bar{W}_0 / g (A_{HB} + A_{HOS}) \quad (1)$$

ここで、 g は重力加速度である。

免震層の復元力特性を Fig. 2 に示す。免震層の中には (a) 線形のアイソレーター、(b) バイリニアの履歴系ダンパーおよび (c) 線形の粘性系ダンパーが配置されている。

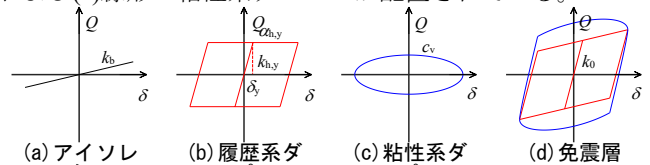


Fig. 2 免震層の復元力特性

アイソレーターの剛性 k_b 、履歴系ダンパーの弾性剛性 $k_{h,y}$ および免震層の弾性剛性 k_0 を以下にそれぞれ示す。

$$k_b = 4\pi^2 \Sigma m / T_b^2, \quad k_{h,y} = \alpha_{h,y} \Sigma mg / \delta_y, \quad k_0 = k_b + k_{h,y} \quad (2-4)$$

ここで、 T_b はアイソレーターの周期であり、 $\alpha_{h,y}$ と δ_y は履歴系ダンパーのせん断降伏係数と降伏変位である。

粘性系ダンパーの減衰係数 c_0 を以下に示す。

$$c_0 = 4\pi \xi_v \Sigma m / T_b \quad (5)$$

ここで、 ξ_v は粘性系ダンパーの減衰定数である。

免震層のパラメータはその 2 と同じ、Table 2 に示す。

Table 2 免震層のパラメータ

T_b [s]	$\alpha_{h,y}$	δ_y [cm]	ξ_v [s]	r_0
4.55	0.022	1.4	0.156	0.1-1000

2.2 入力地震波

本報では、入力地震波として基整促波 OS1³⁾を採用する。入力波のスペクトルは Fig. 3 に示し、(a) は疑似速度スペクトル、(b) はエネルギースペクトルである。

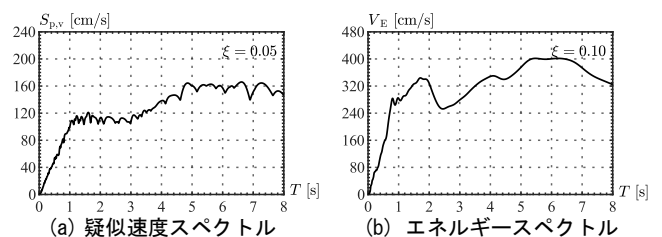


Fig. 3 入力地震波のスペクトル

3. 免震層質量変化に伴う上部構造の応答

3.1 上部構造が免震層に与える影響

図4 (a), (b) にHBおよびHOSのIM Modelの等価応答スペクトル²⁾を示す。(1)は等価加速度スペクトル $S_{A,eq}$ であり,(2)は等価変位スペクトル $S_{D,eq}$ である。凡例は、青から赤の実線が質量倍数 r_0 (0.1~1000)を示し、ピンクの実線は Σm Modelの等価応答スペクトルである。黒い点線は上部構造の弾性1-3次固有周期 $T_{u,1st}, T_{u,2nd}, T_{u,3rd}$ である。図4より、 Σm Modelと比べ、単体免震の等価応答スペクトルは上部構造の1次周期($T_{u,1st}$)付近で低下し、相対的に短周期側で増幅が見られる。特に加速度スペクトルで顕著であり、 r_0 が小さいほど増幅が大きいことが確認できる。

図5にIM Modelおよび Σm Modelの等価応答スペクトルの応答比を示す。(a)および(b)はそれぞれ上部構造の弾性1-3次固有周期に対応する加速度 $S_{A,IMeq}/S_{A,peq}$ および変位 $S_{D,IMeq}/S_{D,peq}$ の等価応答スペクトル比である。横軸は質量倍数 r_0 であり、縦軸はIM Modelに対する Σm Modelの等価応答スペクトルの応答比である。凡例は、黒、青、赤はそれぞれ上部構造の弾性1-3次固有周期を表している。丸印と四角印はそれぞれHBとHOSを示している。図5より、質量倍数 r_0 が100を超えると、IM Modelの応答は Σm Modelに近似する。一方、 r_0 が1未満では、IM Modelの応答は一定値に収束する傾向が見られる。また、免震システムは上部構造の1次モードの応答に有益だが、高次モードの応答には特に r_0 が小さい場合に増幅が見られる。

3.2 二つの上部建物間での相互作用

図6 (a), (b) に質量倍数 $r_0 = 10$ の場合、HBおよびHOSの各モデルの等価応答スペクトル²⁾を示す。(1)は等価加速度スペクトル $S_{A,eq}$ であり,(2)は等価変位スペク

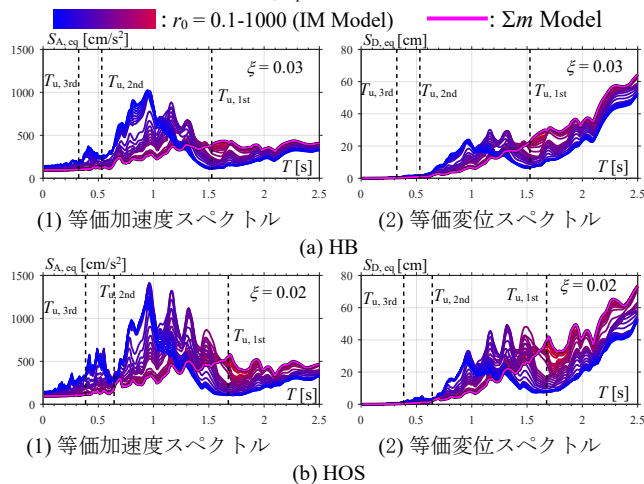


Fig. 4 等価応答スペクトル (IM Model と Σm Model)

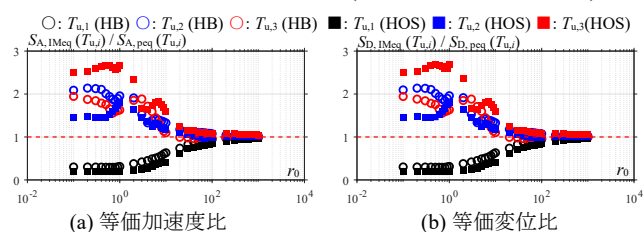


Fig. 5 等価応答スペクトルの応答比 (IM model / Σm Model)

トル変位 $S_{D,eq}$ である。凡例は、黒、青、赤、ピンクの実線はそれぞれMM Model, IM Model (HB), IM Model (HOS), Σm Modelを示している。点線は上部構造の弾性1-3次固有周期 $T_{u,1st}, T_{u,2nd}, T_{u,3rd}$ である。図6より、MM ModelはIM Modelと比べ、上部構造の1次周期($T_{u,1st}$)付近の応答が低下する。これは、両上部構造の1次周期が近いことによる相互作用の影響と考えられる。

図7にMM ModelおよびIM Modelの等価応答スペクトルの応答比を示す。(a)および(b)はそれぞれ加速度 $S_{A,MMeq}/S_{A,IMeq}$ および変位 $S_{D,MMeq}/S_{D,IMeq}$ の応答比である。凡例では、黒、青、赤はそれぞれ上部構造の弾性1-3次固有周期を表している。丸印と四角印はそれぞれHBとHOSを示している。図7より、質量倍数 r_0 が100を超えると、MM Modelの応答はIM Modelに近似する。一方、上部構造の1次固有周期の応答について、 r_0 が1未満ではMM ModelとIM Modelがほとんど同じである。 $r_0 = 1-100$ では、両上部構造の1次周期が近く、MM ModelがIM Modelより小さいことが確認できる。しかし、高次モードの応答には二つの上部建物間での相互作用の影響より、MM ModelがIM Modelより大きくなる傾向がある。

4. まとめ

本報では、免震層の質量を変化させ、上部構造と免震層の相互の影響を検討した。上部構造の応答に対して、 $r_0 < 1$ および $r_0 > 100$ の場合、両上部建物間での相互影響が小さい。一方 $r_0 = 1-100$ の場合、両上部構造の1次周期が近い際に、MMがIM Modelより小さいことが確認できる。しかし、高次モードの応答は大きくなる傾向がある。

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, 3
- 李晶, 他 2名：複数建物を有する街区免震の設計手法: その1 上部構造の等価入力地震波の提案, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2024, 3
- 国土交通省: 「長周期地震動への対策」における『基盤促波』の作成, 2017.

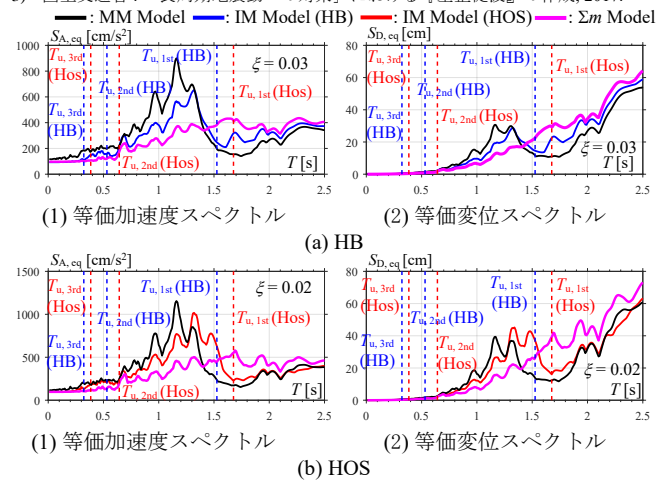


Fig. 6 等価応答スペクトル ($r_0 = 10$)

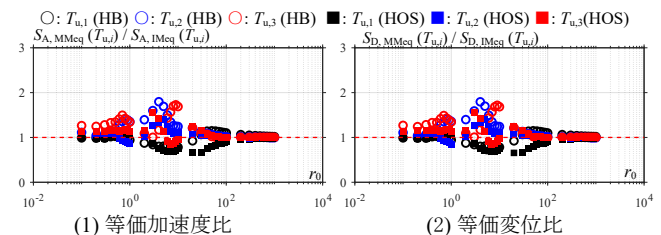


Fig. 7 等価応答比 (MM model / IM Model)

*1 東京科学大学

*1 Institute of Science Tokyo