

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2：街区免震の設計例
Title(English)	Design method of multiple building base-isolated system for seismic isolation layer and superstructure Part 2: Examples of design for multiple building base-isolated system
著者(和文)	長谷川愛理, 佐藤大樹, 李晶
Authors(English)	Airi Hasegawa, Daiki Sato, Jing Li
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 913-914
Citation(English)	, 構造II, , pp. 913-914
発行日 / Pub. date	2024, 8
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2: 街区免震の設計例)

免震構造 街区免震 エネルギー法  
等価入力地震波 応答スペクトル スペクトル法

正会員 ○長谷川 愛理\*1 同 佐藤 大樹\*2  
同 李 晶\*2

1. はじめに

本報その1では疑似等価応答スペクトルの適用範囲の決定法について検討した。本報その2では、疑似等価地震波により得られた応答スペクトルを用いて、日本免震構造協会(JSSI)が提案した街区免震(JSSIモデル)<sup>1)</sup>に対し、JSSIで用いた設計用地震波以外のより大きな地震波を対象とした場合における、免震層および上部構造の変更方法について示す。

2. 街区免震の設計

2.1 設計方針

本設計手法のフローをFig. 1に示し、以下の手順で街区免震の設計を行う。

Step0: 設計諸元を設定する。総質量  $\Sigma m$ 、履歴系ダンパーの降伏せん断力係数  $\alpha_{h,y}$ 、免震層の降伏変形  $\delta_y$ 、アイソレータの周期  $T_b$  を設定する。設計用地震動を決定し、エネルギー速度換算値  $V_E$ 、履歴系ダンパーの等価繰り返し数  $n_h$ 、粘性系ダンパーの等価繰り返し数  $n_v$  を設定する。

Step1: エネルギー法を用いて免震層の設計を行う。最大変形についてクライテリア  $\delta_{0c}$  の判定を行い、NGの場合は設計変更する。

Step2:  $\Sigma m$  モデルの時刻歴応答解析を行い疑似等価地震波の抽出および疑似等価応答スペクトルの作成を行う。

Step3: 疑似等価応答スペクトルより上部構造の設計を行う。層間変形角についてクライテリア  $R_c$  の判定を行い、NGの場合は設計変更する。

2.2 設計諸元の設定 (Step0)

Step0について本設計で用いる値をTable 1に示す。なお、 $\Sigma m$ 、 $\alpha_{h,y}$ 、 $\delta_y$ 、 $T_b$ はJSSIモデルの条件である。入力地震動には基成促波<sup>2)</sup>のOS1(本報その1参照)を用いる。

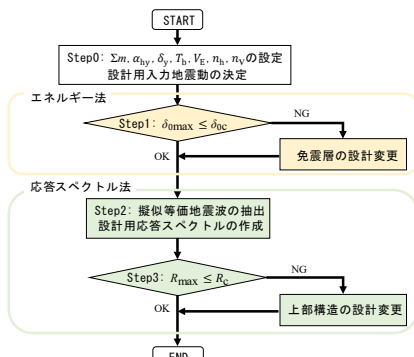


Fig. 1 設計フロー

$\Sigma m$ [kN · cm/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{h,y}$	$\delta_y$ [cm]	$T_b$ [s]	$V_E$ [cm/s]	$n_h$	$n_v$
19811.09	0.022	1.4	4.55	350	10.5	7.88

2.3 免震層の設計 (Step1)

免震層にはアイソレータと履歴系ダンパーおよび粘性系ダンパーを用いる。履歴系ダンパーの復元力特性はノーマルバイリニア型とする。Fig. 2に免震層の変位  $\delta_0$  とせん断力  $Q_0$  の関係を示す。ここで、 $Q_y$ 、 $Q_{0D}$  はそれぞれ免震層の降伏せん断力、最大せん断力を、 $\delta_y$ 、 $\delta_{0D}$  は免震層の降伏変形および最大変形を、 $k_0$ 、 $k_y$ 、 $k_{0eq}$  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。

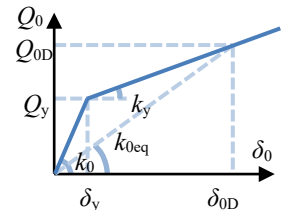


Fig. 2 免震層の変位とせん断力の関係

エネルギー法<sup>3)</sup>により得られた免震層の予測曲線をFig. 3に示す。まず、JSSIで用いた条件<sup>1)</sup>と同様  $\alpha_{h,y} = 0.022$  としたとき、Fig. 3における①、②が順に定められる。その結果、免震層のクライテリア  $\delta_{0c} = 40\text{cm}$  を超えることが確認できる。

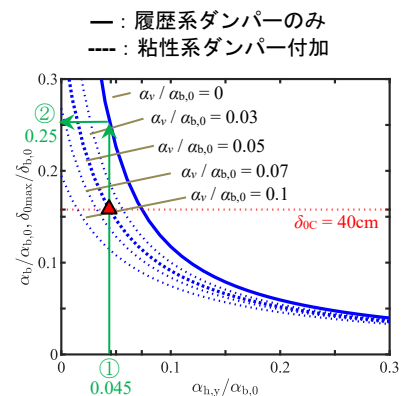


Fig. 3 免震層の予測曲線  
( $V_E = 350\text{ cm/s}$ ,  $n_h = 10.5$ ,  $n_v = 7.88$ )

そこで、本検討では  $\delta_{0max} \leq \delta_{0c}$  を満たす設計として、履歴系ダンパーはJSSIと同じとし粘性系ダンパーを追加する方法を検討する。

JSSI同様の履歴型ダンパー ( $\alpha_{h,y} = 0.022$ ) に粘性系ダンパーを追加する場合の粘性系ダンパーの減衰率  $\zeta_v$  を決定する。 $T_b = 4.55\text{ s}$  のとき、文献<sup>4)</sup>より粘性系ダンパーを付加した場合の予測曲線はFig. 3の破線になる。 $\alpha_{h,y} = 0.022$  から、①が定まる。Fig. 3より、 $\delta_{0c} = 40\text{cm}$  を満足するためには、 $\alpha_v / \alpha_{b,0} \geq 0.05$  であることがわかる(図中▲)。よって、本設計では  $\alpha_v / \alpha_{b,0} = 0.05$  を用いて次式より、必要な粘性系ダンパーの粘性係数は  $C_v = 0.156$  と決定した。ここで  $A$  は式(2)で表される。

$$C_v = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_v}{\alpha_{b,0}} \right) (A + \sqrt{A^2 + 1}) \quad , \quad A = 4n_h \left( \frac{\alpha_{h,y}}{\alpha_{b,0}} \right) + \pi n_v \left( \frac{\alpha_v}{\alpha_{b,0}} \right) \quad (1), (2)$$

2.4 上部構造の設計 (Step2, Step3)

本節では、疑似等価応答スペクトルを用いて上部構造の設計方法を示す。Fig. 4にHOSの疑似等価変位応答スペクトル  $S_{D,pep}$  を示す。図中の赤破線はクライテリア(層間変

形角  $R = 1/200$ )を示している。なお、本報では紙幅の都合上、応答が大きい HOS の結果のみを示す。Fig. 4 より、JSSI の条件 ( $T_{U,hos} = 1.676$ ,  $\zeta_{U,hos} = 2\%$ ) に該当するスペクトル値ではクライテリヤを超えていることが確認できる。そのほかの上部構造 (HB, LB, GYM, EC, DC) はクライテリヤ内に収まっており、設計変更の必要は無いことを確認した。以上より、HOS のみ設計変更を行う必要があることがわかった。

ここで、HOS の設計変更を行う上で 2 つの方法を検討する。1 つ目は、建物の減衰はそのままとし上部の固有周期を変更、すなわち剛性を変更することでクライテリヤを満たす方法であり、これを Method1 とする。上部構造における剛性の割増係数  $\lambda_k$  は、変更前の建物の周期を  $T_{Uold}$ 、擬似等価スペクトルより求められるクライテリヤを満たすために変更した周期を  $T_{Unew}$  とすると、次式で表される。

$$\lambda_k = (T_{Unew}/T_{Uold})^2 \quad (3)$$

2 つ目は、上部構造の固有周期はそのままとし、上部構造に制振ダンパーを設置することを想定して上部構造の減衰定数  $\zeta_U$  を変更することでクライテリヤを満たす方法とし、これを Method2 とする。

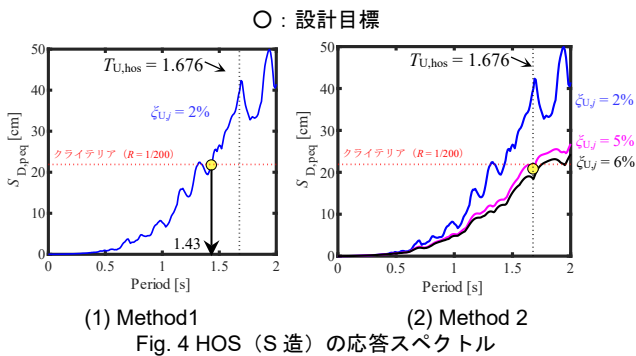


Table 2 に、HOS の変更後の設計を○印で表している。また、Table 2 に変更方法として、採用する  $\lambda_k$  と  $\zeta_U$  を示す。なお、Method1 においてクライテリヤに収まる中で最も固有周期が長い値、Method2 において最も減衰定数が小さい値を採用している。

Method	$\lambda_k$	$\zeta_U$
1	1.37	0.02
2	—	0.05

### 3. 時刻歴解析による検証

#### 3.1 免震層の検証

Fig. 5 に免震層の最大変形として、上部構造の設計変更をしていない場合、Method1, Method2 の応答を示す。また、JSSI モデルの応答も示す。ただし、いずれのモデルにおいても上部構造は弾性と

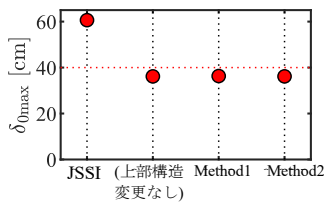


Fig. 5 免震層の最大変形

する。なお、図中の赤破線は免震層変形のクライテリヤを表している。Fig. 5 より JSSI モデルではクライテリヤを大幅に超えているが、免震層を変更したモデルではクライテリヤ内まで応答が低減していることがわかる。また、免震層を変更した 3 パターンをを比較してみると、ほぼ同程度の値を示すことが確認でき、上部構造の条件に関わらずクライテリヤを満たすことがわかる。

#### 3.2 上部構造の検証

Fig. 6 に層間変形角  $R$  の高さ方向分布を示す。灰色のプロットはそれぞれの変更前のモデルにおける応答値を、○印は Method1 の結果を、△印は Method2 結果を表している。赤破線は層間変形角のクライテリヤを指す。紙幅の都合上、本報では応答が大きい HOS と HB の結果を記載しているが、その他の建物についてはクライテリヤを満たすことを確認している。Fig. 6 より、Method1, 2 共にクライテリヤを満たすことが確認できる。以上より、擬似等価応答スペクトルを用いることで目標設計値内に収めることができた。

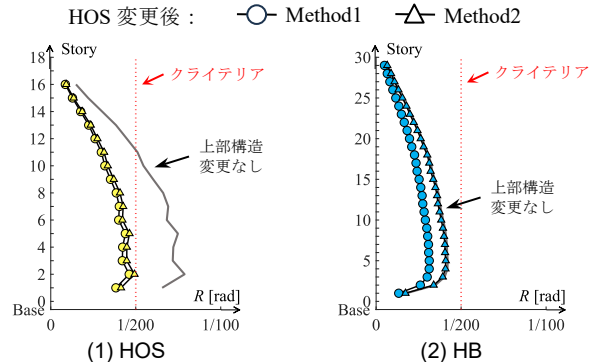


Fig. 6 層間変形角の高さ方向分布 (HOS のみ変更)

### 4. まとめ

本報その 2 では、擬似等価地震波により得られた応答スペクトルを用いて、より大きな地震波を対象とした際の JSSI モデルにおける設計条件の変更方法について検討を行った。エネルギー法および擬似等価地震波を用いて街区免震の設計を行った結果、目標設計値内に収まることを確認し、設計手法の有用性が示せた。

#### 参考文献

- (1) 日本免震構造協会：免震によるレジリエントな都市の実現を目指して～レジリエントな都市の実現構想研究会免震システム技術WG活動報告書～, 2023.5
- (2) 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, 2017.4
- (3) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 1999.11
- (4) 李晶, 佐藤大樹, AlexShegay, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也, 金城陽介：DESIGN FOR ISOLATED BUILDING WITH OIL DAMPER CONSIDERING STIFFNESS DISTRIBUTION FOR INHOMOGENEOUS MASS RATIO, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.787-788, 2022.09

\*1 東急建設株式会社 (元東京工業大学)  
\*2 東京工業大学

\*1 Tokyu Construction Co. Ltd.  
\*2 Tokyo Institute of Technology