# 上部構造の目標応答性能を満足する免震設計法に関する研究 その3 目標応答変位に対する免震設計方法例

Research on the base isolation design method satisfied the target response of the superstructure

Part3 A example of base isolation design for the target response displacement

○高鹿雅樹<sup>3</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 黒田竜司<sup>2</sup> \*Masaki Koroku<sup>3</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Ryuji Kuroda<sup>2</sup>

The purpose of this study is to extend the method of base isolations design for a high-rise building using the Seismic Performance Design Diagram. This paper describes the simple design method that converts mode parameters into actual model parameters by formulas and charts.

## 3.1. はじめに

本報では、Figure3.1 に示すように上部構造の固有周 期により免震層性能に影響がある免震構造の簡易設計 方法について述べる.例として高層モデルの場合は、 Figure3.1 に示すように、免震層等価周期 *T*<sub>eq,b</sub>と上部構 造の1次固有周期 *T*<sub>s,lst</sub>の比が2.0以下になるケースが ほとんどである.そのため、本研究で提案している「応 答性能設計図表を用いた免震設計方法」<sup>1)</sup>を適用するた めには、モード座標系にて対応させる必要がある.そ のため、提案設計方法において、モード系から実モデ ルへの変換においては、複素固有値解析の収斂計算が 必要となる.そこで、本報では収斂計算を必要としな い「変換倍率式」を提案し、その設計例を示す.



#### 3.2. 設計方法例

上部構造の1次固有周期と免震層の等価周期が近い 免震建物の設計例を示す.目標クライテリアは,免震 層の変形を対象とする.

### 3.2.1. 上部構造を含む免震建物の仮定

Table3.1 に示す 41 層のモデルに対して、 $T_{eq,b}$ から免 震層の等価剛性を決定する.上部構造は 41 層の弾性モ デルとし、減衰係数は 1 次モードの剛性比例型で 2% を付与する.総質量  $m_s=69,972$ [ton]、1 次固有周期  $T_{s,ls}=2.78$ [s]である.また、上部総質量と免震層の質量 比 $\hat{m}=0.95$ とし、免震層質量  $m_b=3,683$ [ton]を(3-1)式よ り求める.免震層を含む 1 次等価周期を $T_{eq,ls}=5.39$ [s] とし、(3-2)式より免震層の等価周期  $T_{eq,b}=4.78$ [s]を求め る.周期比  $T_{eq,b}T_{s,ls}=1.72$  となり Figure 3.1 より,剛体置換不可能範囲となる<sup>1)</sup>.



$$T_{eq,b} = 2\pi \sqrt{\frac{\hat{m}m_b \left(\omega_{eq,1st}^2 m_s - k_{s,1st}\right)}{\left(\omega_{eq,1st}^2 \hat{m}m_b\right)^2 - \omega_{eq,1st}^2 \hat{m}m_b k_{s,1st}}}$$
(3-2)

#### 3.2.2. 設計用入力地震動の応答スペクトルの読取

次に複素固有値解析より、1、2 次モードの等価周期 T<sub>eq.1s</sub>=5.39[s], T<sub>eq.2nd</sub>=1.44[s]及び Figure 3.3 に示す刺激関

数を求めた.その結果より、1次 有効質量 $\overline{M}_{1st}$ =72,600[ton]となり、 (3-3) 式より 1 次有効剛性  $\overline{K}_{1st}$ =98,655[kN/m]を求める. そして、入力地震動は、 BCJ-L2(75kine 基準化)とする. Figure 3.4 の応答スペクトルより、  $T_{eq.1st}, T_{eq.2nd}$ の擬似速度応答スペク トル<sub>p</sub>S<sub>v40,1st</sub>=0.536[m/s], <sub>p</sub>S<sub>v40,2nd</sub>= 0.614[m/s] また、入力変位

D<sub>40,1st</sub>=0.459[m], D<sub>40.2nd</sub>=0.141[m]を求める.

$$\overline{K}_{1st} = \left(\frac{2\pi}{T_{eq,1st}}\right)^2 \cdot \overline{M}_{1st}$$
(3-3)  $D_{40,j} = \frac{{}_p S_{\nu,40,j}}{\omega_{eq,j}}$ (3-4)

1:日大理工・教員・建築 2:日大理工・院(前)・建築 3:日大理工・学部・建築



基準座標モデル

3.2.3. 免震層限界変形による目標クライテリア

免震層の限界変形 D<sub>b</sub>=0.50[m]とし,免震層の1次刺 激関数 β<sub>1</sub>r<sub>b</sub>=0.775 を用いて(3-5)式より,基準座標系の 目標変位に求め直すと D<sub>maxb</sub>=0.64[m]となる.また,高 次モードの影響を考慮する為、(3-6)式より1次モード 負担分 b=0.765 を求め、(3-7)式より目標応答倍率 D<sub>max</sub>/D<sub>40</sub>=1.06を求める.

$$D_{maxb} = \frac{D_b}{\beta_1 r_b}$$
(3-5)  $b = \frac{D_{401}}{D_{401} + D_{402}}$ (3-6)  
$$\frac{D_{max}}{D_{40}} = \frac{D_{maxb}}{D_{401}} \cdot b$$
(3-7)

## 3.2.4. 応答性能設計図表による免震層性能の決定

基準座標系の性能となる Figure 3.6 に示す弾塑性要素 と粘性要素をFigure3.7応答性能設計図表より決定する. 1 次モードのモードバイリニア係数  $\bar{p}_d$ =0.15 と設定し, 目標応答倍率 Dmax/D40 を満足する弾塑性性能をモード 塑性率  $\bar{\mu}_{i}$  =10, モード粘性減衰定数  $\bar{h}$  =0.2, D<sub>max,1st</sub>/D<sub>40</sub>=0.939 を読み取る. また, D<sub>max,1st</sub>=0.431[m] となる.



【粘性要素】

Figure3.6 応答性能設計図表より求まるモード性能



Figure3.7 応答性能設計図表

#### 3.2.5.変換倍率式を用いた免震層性能の設計

次に, Figure 3.7 より求めた1次モードを対象とした 基準座標系の免震層パラメータから実モデルパラメー タを求める必要がある.そのため、次報で述べる Figure3.8 に示す「変換倍率式及び図表」を用いて免震 層性能を決定する.本図表は、3.2.1.で求めた周期比  $T_{eq,b}/T_{s,1st}$ 及び Figure 3.7 より求めたモードバイリニア係 数  $ar{p}_a$ ,モード塑性率 $ar{\mu}_a$ で構成され,読み取った値を基 準座標系の性能に乗ずることで直接的に下式より免震 層性能を求めることができる.

初期剛性	$K_E = \gamma_k \cdot \overline{K}_{1st}$	(3-8)
朔性家	$\mu_{I} = \gamma \cdot \overline{\mu}_{I}$	(3-9)

バイリニア係数 
$$p_d = \gamma_p \cdot \bar{p}_d$$
 (3-10)

 $C = 2\overline{h}\,\omega_E \sum m \cdot \frac{1}{\beta_1 r_b^2}$ 減衰係数 (3-11)

弾性限変形 
$$X_{ed} = \frac{\beta_i r_b \cdot D_{max,1st}}{\mu_s}$$
 (3-12)

Table3.2 免震層性能



#### 3.3. まとめ

Figure 3.9 時刻歴応答解析結果より、目標クライテリ アを満足している事を確認でき,変換倍率図表の有効 性を示した. 次報では,変換倍率式の作成方法を示す.

#### 3.4. 参考文献

[1] 中山勝仁, 秦一平, 石丸辰治他: 応答性能設計図表 を用いた免震層の逆設計法に関する基礎的研究,日 本建築学会大会学術梗概集, pp.447-452,2012.9