

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 1 応答性能設計図表を用いた免震設計法の概要

Research on the Seismic Isolation Design Method that Satisfies the Target Response of the Upper Structure
Part 1 Outline of the Seismic Isolation Design Method Using the Performance Based Design Diagram

豊田悠紀子³, 秦一平¹, 中山勝仁²
Yukiko Toyoda³, Ippei Hata¹, Katsuhito Nakayama²

This paper proposes the design method for determining the parameters of the isolation story which is satisfied the target response of the upper structure of the base- isolated building. In Part 1, it shows the outline of the proposed design flow chart using the performance based design diagram.

1. 1. はじめに

本研究では、上部構造の目標応答性能を満足する免震層の設計方法について述べる。

本設計方法は、石丸・秦らによって提案されている「応答性能設計図表を用いた設計方法^{[1],[2],[3]}」を用いる。この設計方法は、設計用入力地震動に対して、目標応答性能を満足する免震層性能を選択することが可能である。ただし、高層モデルのような上部構造の固有周期と免震層の等価周期が近い場合の設計方法は、まだ示されていない。

そこで本研究では、応答性能設計図表を用いた設計方法を上部構造の目標応答性能を満足する免震設計法へと拡張する事を目的とする。なお、本研究で対象とする目標応答性能は、「上部構造の層間変形角」とする。上部構造の目標応答性能を満足する設計法へ拡張する為には、以下の項目が必要となる。

- 上部構造の影響による固有周期の伸長比率
- 目標とする層間変形角の限界値

その 1 では、応答性能設計図表を用いた設計方法の概要と上記 2 項目について示す。その 2 では、提案設計法による設計例を示す。

1. 2. 応答性能設計図表を用いた設計方法の概要

応答性能設計図表を用いた免震構造の目標応答性能を満足する設計方法について述べる。応答性能設計図表を用いた設計方法は Figure1-1 に示す設計用入力地震動の応答スペクトルと、Figure1-2 に示す応答性能設計図表により、目標応答性能を満足する免震層パラメータを逆算的に求めることができる。Figure1-1 は、設計用入力地震動の粘性減衰定数 $h=40\%$ の速度応答スペクトル $S_{v,40}$ と擬似速度応答スペクトル $pS_{v,40}$

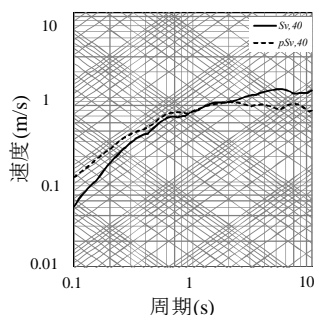


Figure1-1 応答スペクトル

である。ここでは、その 2 の設計例で用いる BCI-L2 を 100(kine)に基準化したものを示している。この応答スペクトルと Figure1-2 に示す応答性能設計図表を用いることで、Figure1-3 に示すような免震層の弾塑性要素と粘性要素のパラメータを決定することができる。Figure1-2 は、速度に対して線形なオイルダンパー(リリーフ率 $\mu_v=1.0$, 2 次減衰比 $p_v=1.0$)を仮定し、バイリニア係数 $p_d=0.30$ とした応答性能設計図表である。縦軸に応答加速度倍率 ABS_{max}/A_{40} , 横軸に応答変位倍率 D_{max}/D_{40} を示し、粘性減衰定数 h_0 と塑性率 μ_d の関係のグラフとなっている。各記号は、 ABS_{max} :応答加速度 (m/s^2), D_{max} :応答変位(m)である。 A_{40} , D_{40} は、Figure1-1 の応答スペクトルから、免震構造物の等価周期 T_b 時の $pS_{v,40}$ を読み取り、その読取値と(1-1)式により求まる値である。以上より、基準座標応答値 ABS_{max} , D_{max} を満足する免震層性能を選択するには、 ABS_{max}/A_{40} と D_{max}/D_{40} を計算し、Figure1-2 より、目標応答性能を満足する範囲の免震層性能を選択すれば良い。

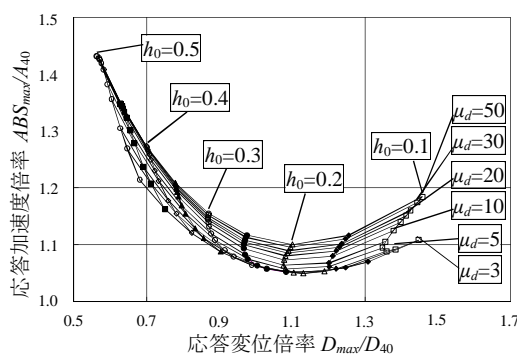


Figure1-2 応答性能設計図表

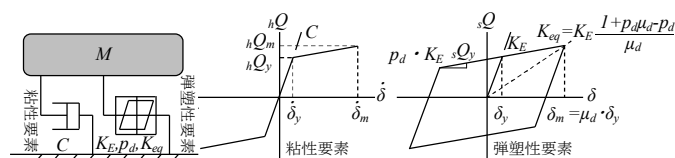


Figure1-3 応答性能設計図表の 1 質点モデル

$$\omega = 2\pi/T_b \quad A_{40} = \omega \cdot p \cdot S_{v,40} \quad D_{40} = p \cdot S_{v,40} / \omega \quad (1-1)$$

1. 3. 提案設計法のフローチャート

提案する設計法のフローチャートを Figure1-4 に示す。Figure1-4 において重要となるのは、手順⑤、⑦である。手順⑤、⑦の詳細は、次節以降に示す。

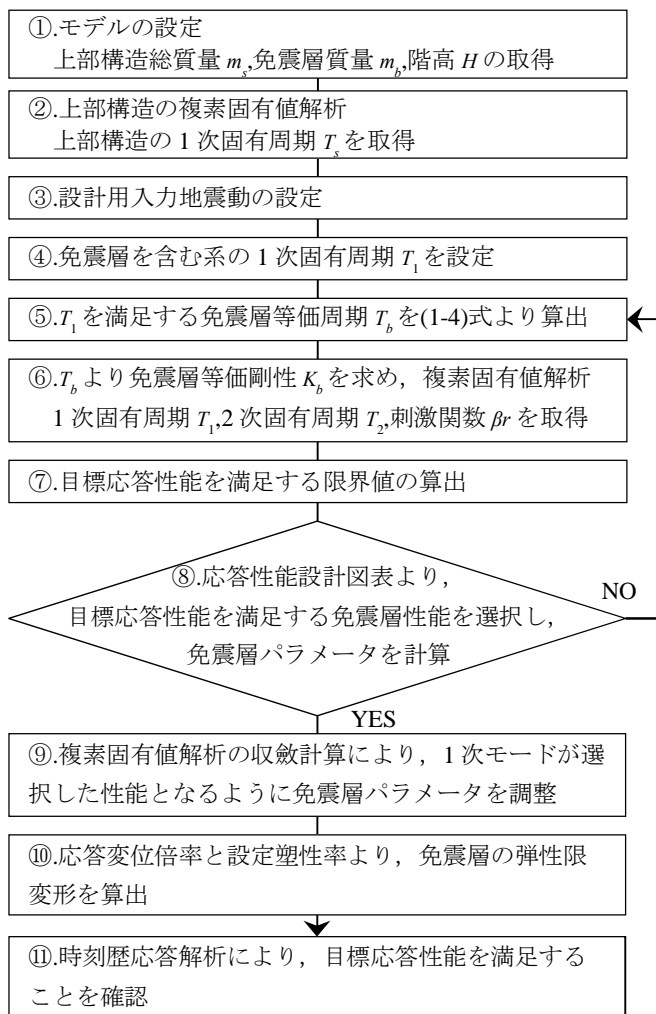


Figure1-4 提案設計法のフローチャート

1. 4. 上部構造の影響による固有周期の伸長

本節では、Figure1-4 の手順⑤について示す。上部構造の影響により、免震モデルの 1 次固有周期 T_1 は設定した免震層の等価周期 T_b と一致しない。そこで、固有周期の伸長比率を求める式を誘導する。これにより、免震層付与後の 1 次固有周期 T_1 を設定すれば、提案式から T_1 を満足する免震層等価周期 T_b を求めることが可能となる。固有周期の伸長比率は、Figure1-5 に示す上部構造と免震層からなる 2 質点系モデルの固有値問題から誘導する。ここで、

m_s : 上部構造総質量(ton),
 m_b : 免震層質量(ton), k_s : 上部構造剛性(kN/m), k_b : 免震層等価剛性(kN/m)とする。(1-2)式の固有値問題より、1 次固有円振動数

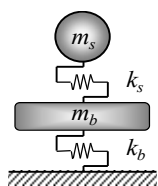


Figure1-5 2 質点系モデル

ω_1 は(1-3)式となる。免震層等価周期 T_b は、質量比 \hat{m} を用いて(1-4)式で表される。ここで、上部構造 1 次固有周期 T_s と全体の 1 次固有周期 T_1 ごとの、必要な免震層周期を Figure1-6 に示す。例として、 $T_s=2.782(s)$, $T_1=4.0(s)$ の場合、 $T_b=2.9(s)$ 程度となる。

$$|K - \omega^2 M| = 0 \tag{1-2}$$

$$\therefore M = \begin{bmatrix} m_s & \\ & m_b \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} k_s & -k_s \\ -k_s & k_s + k_b \end{bmatrix}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{(m_s + m_b)k_s + m_b k_b - \sqrt{((m_s + m_b)k_s + m_b k_b)^2 - 4m_s m_b k_s k_b}}{2m_s m_b}} \tag{1-3}$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{\hat{m} m_b (\omega_1^2 m_s - k_s)}{(\omega_1^2 \hat{m} m_b)^2 - \omega_1^2 \hat{m} m_b k_s}} \quad \therefore \hat{m} = \frac{m_s}{m_s + m_b} \tag{1-4}$$

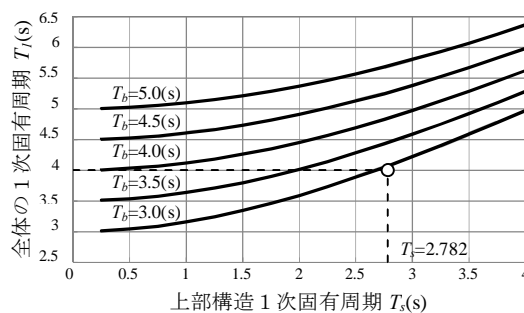


Figure1-6 免震層等価周期の判定図

1. 5. 目標応答性能を満足する限界値の算出方法

まず、各層変位限界値 D_i を(1-5)式により求め、その最小値を限界値 D_{max} とする。ここで、 D_i : 各層変位限界値(m), H_i : 各層高さ(m), R : 各モードの目標とする層間変形角, $\beta_1 r_i - \beta_1 r_{i-1}$: 層間刺激関数とする。

$$D_i = \frac{H_i R}{(\beta_1 r_i - \beta_1 r_{i-1})} \tag{1-5}$$

層間刺激関数は免震層の等価剛性を用いた複素固有値解析により求める。各モードの目標層間変形角 R は固有周期と応答スペクトルより、変位応答において、支配的となるモードを判断し、入力変位 D_{40} の比率で目標層間変形角を各モードに対して分配する。

1. 6. まとめ

その 1 では、免震構造物の上部構造の目標応答性能を満足する免震層パラメータを求める設計方法を提案した。その 2 では、設計例について述べる。

1. 7. 参考文献

[1]石丸辰治：応答性能に基づく「対震設計」入門，彰国社，2004.3
 [2]秦一平，石丸辰治，長谷川純：非線形粘性ダンパーと弾塑性ダンパーを併用した系の応答性能設計手法，日本建築学会構造系論文集，第 617 号，pp.47-54，2007.7
 [3]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