

免震層の初期剛性及び初期減衰係数の増減による上部構造のせん断力係数の分析

その1. 免震層の初期剛性の増減によるせん断力係数について

Analysis of Shear Force Coefficients of Superstructures Considering Variations in Initial Stiffness and Initial Damping Coefficients of Base-Isolation Layers

Part1: On the Shear Force Coefficients Governed by the Initial Stiffness in Base-Isolation Layers

○川原 悠翔¹, 秦 一平², 阿久戸 信宏², 郭 鈞桓³, 新明 諒大⁴

*Haruto Kawahara¹, Ippei Hata², Nobuhiro Akuto², Chunhuan Kuo³, Ryouta Shinmei⁴

Abstract: This study compared the trends in shear force coefficients obtained by varying the initial stiffness of the base isolation layer with those predicted by the formula proposed by Kobayashi et al. The results indicate that the proposed formula generally provides a good approximation to the time-history response analysis when the initial stiffness increases. However, it was also found that excessively high initial stiffness may lead to an underestimation of the seismic response in the upper stories.

1. はじめに

免震構造物の設計において、バイリニア型履歴で近似される免震部材のうち、初期剛性が高い支承材を用いた場合、上部構造の上層階においてせん断力係数が大きくなる傾向がある。2000年に制定された建設省告示第2009号では、免震建築物の構造方法に関する技術的基準が定められ、せん断力係数式が示されている。しかし、この式には、免震部材の初期剛性に起因する上層階のせん断力係数の増大要因は考慮されていない。そこで、小林ら^[1]は、Skinner^[2]の免震係数I（免震層と上部構造の隔絶度）および非線形係数NL（免震層の復元力特性の非線形程度）の2つの構造特性指標を導入し、免震部材によるせん断力係数の増幅を考慮した設計用せん断力係数の評価方法を提案している。

$$\alpha_i = \gamma \frac{Q_{iso} \cdot A_i (s\beta_i \cdot sQ_y + h\beta_i \cdot Q_m) + fQ_m}{Mg \cdot (sQ_y + hQ_m + fQ_m)}$$

上記の提案式では、履歴型ダンパーあるいは支承材と流体系ダンパーを併用する場合を対象とし、新たに増幅率 $s\beta_i$ および $h\beta_i$ をを導入している。

そこで本研究では小林らによるせん断力係数を基礎として、①免震部材の初期剛性を増減させた場合、②非線形型の流体系ダンパーの初期減衰係数を増減させた場合について、せん断力係数の変化傾向を比較検討する。なお、本報（その1）では、免震層を積層ゴムで構成した場合の初期剛性の変化に着目し、検討を行う。

2. 基礎免震モデルの概要

本研究は、鉄骨造（S造）10階建て建物を上部構造の検討モデルとする。上部構造の諸元と上部構造を基礎固定したときの弾性固有値解析結果をTable1に示す。

また、上部構造の検討モデルに対して、基礎免震層を設ける。免震層は積層ゴム（高減衰ゴム系積層ゴム＋天然ゴム系積層ゴム）で構成し、初期剛性を増減させたモデルをCase1とする。

免震層の概要をFig.1、免震層の基準諸元と初期剛性倍率をTable2に示す。Case1は、基準諸元に対し、初期剛性倍率 α より、(1)-(4)式で算出した免震層の諸元を免震層の検討モデルとする。

$$K_{1,\alpha} = K_1 \times \alpha \quad (1) \quad K_{2,\alpha} = K_2 \quad (2)$$

$$x_{e,\alpha} = Q_{d,\alpha} / (K_{1,\alpha} - K_{2,\alpha}) \quad (3) \quad Q_{d,\alpha} = Q_d \quad (4)$$

K_1 Initial Stiffness (Baseline model) K_2 Post-yield Stiffness (Baseline model)
 Q_d Intercept shear force (Baseline model)
 $K_{1,\alpha}$ Initial Stiffness (α -model) $K_{2,\alpha}$ Post-yield Stiffness (α -model)
 $x_{e,\alpha}$ Elastic limit displacement (α -model) $Q_{d,\alpha}$ Intercept shear force (α -model)

Table1 Parameters of the superstructure model

| Parameters of structure | | | Elastic eignvalue analysis | |
|-------------------------|------|-------------------|----------------------------|--------|
| Story | Mass | Initial Stiffness | Mode | Period |
| | ton | kN/m | | sec |
| 10 | 958 | 507700 | 1 | 1.301 |
| 9 | 743 | 546800 | 2 | 0.474 |
| 8 | 756 | 658700 | 3 | 0.289 |
| 7 | 759 | 719100 | 4 | 0.210 |
| 6 | 767 | 806700 | 5 | 0.167 |
| 5 | 769 | 833100 | 6 | 0.142 |
| 4 | 775 | 856900 | 7 | 0.125 |
| 3 | 776 | 907700 | 8 | 0.113 |
| 2 | 778 | 958400 | 9 | 0.103 |
| 1 | 798 | 818700 | 10 | 0.096 |

3. Case1の上部構造の応答性状

前章で示した検討モデルに対して、時刻歴応答解析および弾性固有値解析を行う。時刻歴応答解析で使用する入力地震動は、極めて稀に発生する地震動レベル

1：日大理工・院（前）・建築，2：日大理工・教員・建築，3：日大理工・専任職員・建築，4：日大理工・学部・建築

の第2種地盤を想定し、JMA 神戸（告示波）とする。なお、免震層を除く上部構造は弾性とする。また、上部構造を基礎固定したときの Table1 に示す弾性1次固有周期に対して、減衰定数2%の剛性比例型減衰を与えることとする。

第1章に示した小林式の推定結果と時刻歴応答解析結果の比較を Fig.2 に示す。まず、時刻歴応答解析のみを比較すると、免震層の初期剛性が增大すると、上部構造におけるせん断力係数分布が全体的に増大することが確認できる。特に上層階は、その影響が顕著に表れる傾向である。また、弾性固有値解析結果を Fig.3 に示す。せん断力係数分布の増大の要因として、初期剛性の増大によって、弾性範囲内の高次モードの卓越による影響であることが考えられる。

次に、小林式の推定結果と時刻歴応答解析結果を比較すると、いずれの初期剛性の場合も概ね近似する傾向である。しかし、初期剛性が過大となる場合は上層階において小林式による地震応答が過小評価となる可能性が存在する。

以上の結果を踏まえて、免震層の初期剛性による上部構造の応答性状の影響では、弾性範囲内における高次モードによる影響を考慮する必要がある。また、小林式による評価は概ね近似するが、初期剛性が過大となる場合は応答性状の影響を考慮する必要がある。

4. まとめ

本報では、小林らの提案式によるせん断力係数について、初期剛性を増減した場合の変化傾向比較の検討をした。その結果、小林式による評価は時刻歴応答解析結果と概ね近似するが、初期剛性が過大となる場合は応答性状の影響を考慮する必要がある。

次報（その2）では、小林らの提案式によるせん断力係数について、非線形型の流体系ダンパーの初期減衰係数を増減した場合について、せん断力係数の変化傾向比較の検討をする。

5. 参考文献

[1] 小林正人, 谷崎豪, 松田紳吾: 免震部材の多様化に対応した免震建物の設計用地震荷重分布, 日本建築学会大会構造系論文集, 第 676 号, pp.859-868, 2012.6

[2] R. I. Skinner, W. H. Robinson and G. H. McVerry, "An Introduction to Seismic Isolation", Wiley, pp.33-48, pp.171-199, 1993 (監訳 川島一彦, 北川良和: 免震設計入門, 鹿島出版会, 1996)

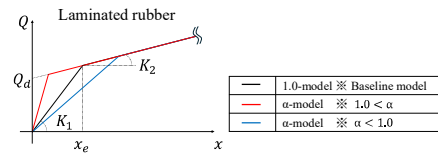


Fig.1 Overview of the Seismic Isolation Layer : Case1

Table2 Parameters of the Seismic Isolation Layer

| Parameters for Seismic Isolation Layer Standards | | | | |
|--|-------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Story | Initial Stiffness | Post-yield Stiffness | Elastic limit displacement | Intercept shear force |
| | kN/m | kN/m | m | kN |
| ISO | 133239 | 15718 | 0.025 | 2986 |

| Parameter for the multiplier relative to initial stiffness | |
|--|-----------------------------------|
| Story | Initial Stiffness ratio |
| ISO | 0.2, 0.4, 0.6, …… , 1.6, 1.8, 2.0 |

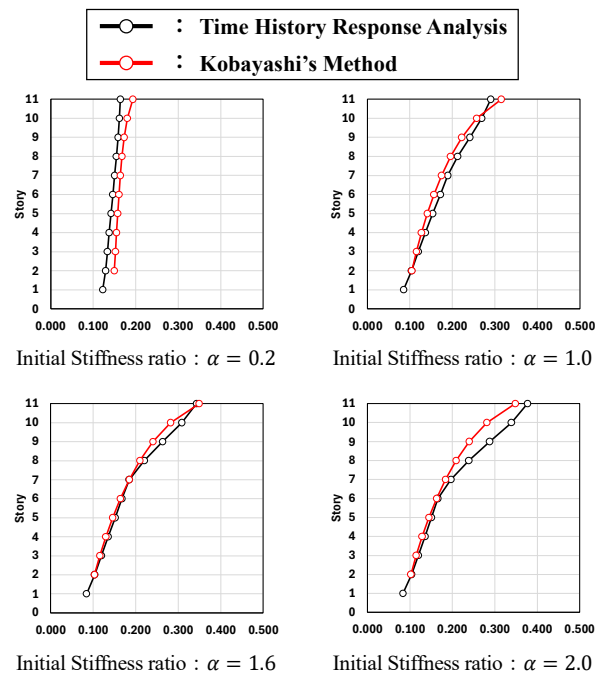


Fig.2 Comparison of Shear Modulus

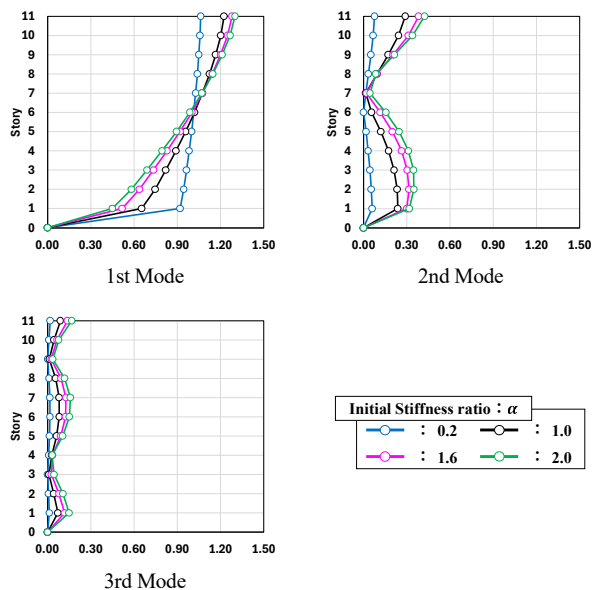


Fig.4 Stimulus function (Elastic eignvalue analysis)