

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン実験法による超高層免震建築物の地震応答シミュレーション
Title(English)	Earthquake Simulation of a Super High Rise Isolated Building by Means of Substructure Real-time Online Testing
著者(和文)	竹内貞光, 森 隆浩, 神田 亮, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 扇谷匠己
Authors(English)	Sadamitsu Takeuchi, Takahiro Mori, Makoto kanda, Daiki Sato, Tetsushi Inubushi, Narumi Ougiya
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 753-754
Citation(English)	, , , pp. 753-754
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン実験法による超高層免震建築物の地震応答シミュレーション

サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験  
高減衰ゴム系積層ゴム 超高層免震建築物 解析モデル

正会員 ○竹内貞光\*1 同 森 隆浩\*2  
同 神田 亮\*3 同 佐藤大樹\*4  
同 犬伏徹志\*5 同 扇谷匠己\*6

## 1. はじめに

免震建築物の地震応答を検討する際、高減衰ゴム系積層ゴム（以下、HDR）や鉛プラグ入り積層ゴムなどは、履歴特性をバイリニアモデルに置換して時刻歴応答解析を行うのが一般的である。HDRの履歴特性は、曲線的な挙動で、大変形時においてはハードニングするため、大変形までバイリニアモデルでモデル化することが難しい。そのため、HDRの履歴特性を再現する曲線モデル<sup>例えば1),2)</sup>が提案されている。

超高層免震建物のように上部構造の周期が長い建築物では、免震部材の解析モデルと実際の免震部材の履歴特性の違いによって上部構造の応答に差異が生じることが懸念されるため、サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験法(以下 SROLT)を用いて検証を行うこととした。

本報では、高減衰ゴム系積層ゴムを免震層に用いた超高層免震建築物の地震時における応答を SROLT により確認するとともに、修正バイリニアモデル（以下、バイリニアモデル）<sup>3)</sup>や曲線モデルである文献1)の解析モデル（以下、Kikuchiモデル）、文献2)の解析モデル(以下、DHIモデル)の解析結果との比較することで精度検証を行った。

## 2. 実験の概要

本報の対象建築物は、建築物高さ 150m、アスペクト比 5、辺長比 1 の 42 階建(階高は 1-2 階を 5.0m、3-42 階を 3.5m)の RC 純ラーメン架構とする<sup>4)</sup>。対象建築物の構造諸元を Table 1 に示す。Fig. 1 に基礎免震構造の免震部材の配置を示す。免震部材は HDR のみを使用している。使用した HDR は、せん断ひずみ 100%時のせん断弾性係数 0.62MPa、等価粘性減衰定数 0.24 である。ゴム外径は  $\phi 1100$ 、 $\phi 1200$ 、 $\phi 1400$  の 3 種類、総ゴム厚さは、すべてのサイズで 250 mm とした。免震層の等価周期は、せん断ひずみ 100%時 4.41s である。上部構造は弾性、減衰定数は剛性比例で 2% とした。

本報で実施した実験の順序と条件を Table 2 に示す。検討した地震波は EL Centoro NS 波（最大速度 75cm/s、以下 EL Centoro NS）と熊本県の益城町 k-net (KMMH161604160125) で、2016年4月16日 1:25 に観測された地震波（以下 mashiki EW）<sup>5)</sup>を用いた。Table 2 に示す通り、免震層の応答せん断ひずみが 100%、200%、270%となるように入力加速度の倍率を調整して SROLT の実験を行った。

本 SROLT<sup>6)</sup>に用いた試験体は、ゴム外径  $\phi 225$ mm、1 次形状係数  $S_1=35.2$ 、2 次形状係数  $S_2=5$  の縮小体を用いた。実験

時の面圧は基準面圧 15MPa で一定とした。試験体への水平変形は、建築物モデルの免震層と試験体のせん断ひずみが等価となるように与えた。また、HDR の水平荷重はゴムの断面積に比例するとして、建築物モデルの免震層せん断力は、試験体で得られた水平荷重に、免震層の総ゴム断面積と試験体のゴム断面積の比率分を乗じてもとめた。

## 3. 解析モデル

検討した解析モデルのひずみ依存性を Fig. 2 に示す。図中、●は本実験の No. 1 と No. 8 の正弦波加振 3 サイクル目の結果である。SROLT に用いた試験体には製造ばらつきや繰り返しによる影響があるため、EL Centoro NS の解析では、解析モデルと No. 1 の正弦波加振結果と等価水平剛性と等価減衰定数が一致するように、mashiki EW 波の地震波では No. 8 の正弦波加振結果の等価水平剛性と等価減衰定数が一致するように解析を行った。

Table 1 Structural Parameters

Building Weight (kN)	560424
Height (m)	150
Width・Depth (m)	30
First Natural Period (s)	3.13

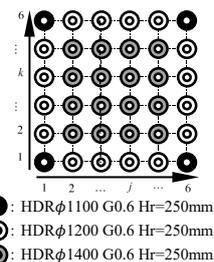


Fig. 1 Arrangement of the Seismic Isolation

Table 2 Test Conditions

Test No.	Test Condition	Target Response Shear Strain (%)	Maximum Acceleration (cm/s <sup>2</sup> )
1	Sine wave ( $\gamma=100\%$ , $F=0.33$ Hz) 3cycle	-	19.3
2	EL Centoro NS (75cm/s)	100	766.1
3	k-net(KMMH161604160125) mashiki EW $\times 1.25$	200	1444.7
4	k-net(KMMH161604160125) mashiki EW $\times 1.4$	270	1618.1
5	k-net(KMMH161604160125) mashiki EW $\times 1.5$	270	1733.6
6	Sine wave ( $\gamma=100\%$ , $F=0.33$ Hz) 3cycle	-	19.3
7	EL Centoro NS (75cm/s)	100	766.1
8	Sine wave ( $\gamma=270\%$ , $F=0.33$ Hz) 3cycle	-	52

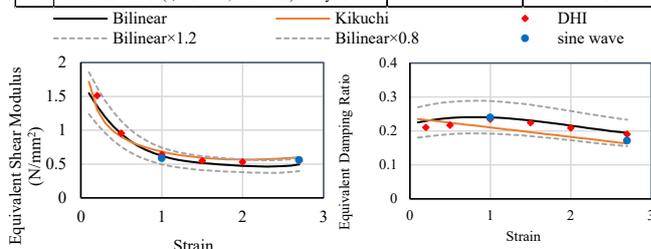


Fig. 2 Strain dependence of horizontal characteristics

Earthquake Simulation of a Super High Rise Isolated Building by Means of Substructure Real-time Online Testing

TAKEUCHI Sadamitsu, MORI Takahiro,  
KANDA Makoto, SATO Daiki,  
INUBUSHI Tetsushi, OUGIYA Narumi

#### 4. 実験結果

HDR の応答結果について、HDR の最大応答せん断ひずみを Fig. 3 に示す。最大応答せん断ひずみは解析モデル間で差は小さく、SROLT の結果とも概ね一致している。SROLT で得られた HDR の履歴と解析モデルの履歴の比較を Fig. 4 に示す。Fig. 4 (a) は EL Centro NS, Fig.4 (b) は mashiki EW×1.5 の結果である。HDR の履歴は、せん断ひずみ 200% をこえると徐々にハードニングするが、Kikuchi モデル、DHI モデルは HDR のハードニング挙動までよく一致している。

上部構造の応答結果について、EL Centro NS の結果を Fig. 5 (a) に、mashiki EW×1.5 の結果を Fig. 5 (b) に示す。解析モデルを比較すると、全体的な傾向として HDR のせん断応答ひずみの小さい EL Centro NS では、バイリニアモデルの方が他の解析モデルより応答がやや大きくなるが、mashiki EW×1.5 では、層によって他のモデルより小さくなる。ハードニングなど履歴形状の違いが影響している。SROLT の結果と解析モデルの結果を比較すると、EL Centro NS では SROLT の方が若干応答は小さいが、mashiki EW×1.5 では、SROLT の応答が層によって大きくなる傾向が見られた。また、Kikuchi モデルや DHI モデルの方が SROLT の応答結果により近い結果となった。

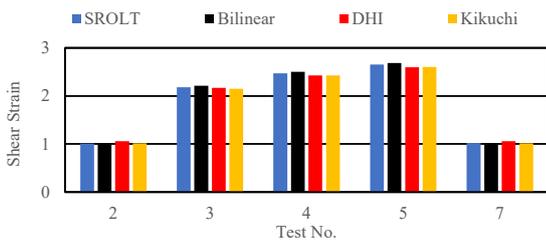
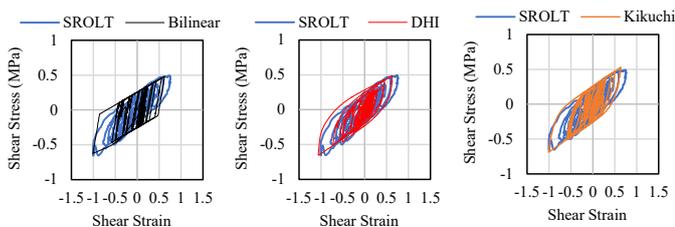


Fig. 3 HDR response shear strain



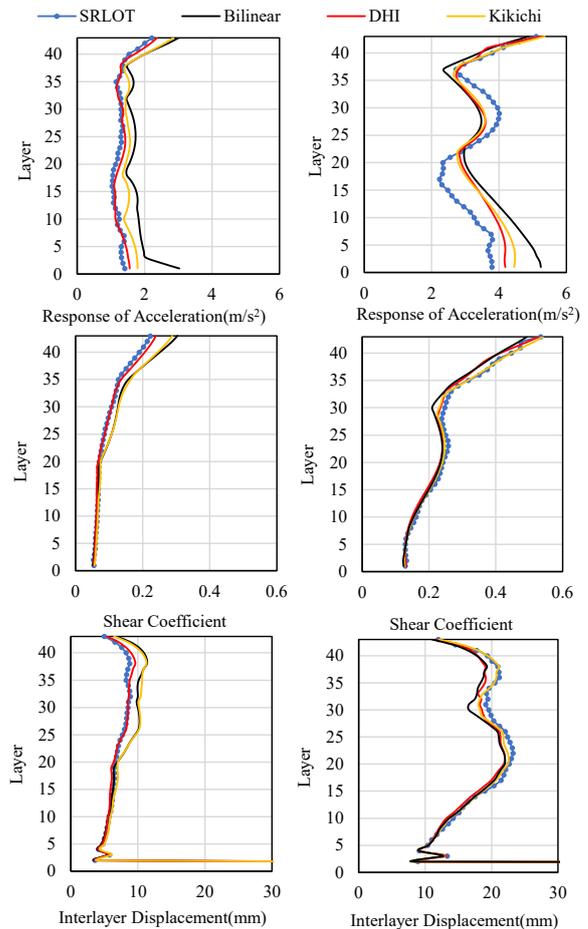
(a) No. 2 EL Centro NS (75cm/s)

(b) No. 5 mashiki EW×1.5

Fig. 4 Restoring Stress characteristics of HDR

#### 5. まとめ

HDR を免震層に用いた超高層免震建築物の地震時における応答を SROLT により確認するとともに、応答結果をバイリニアモデル、Kikuchi モデル、DHI モデルとの比較を行った。どの解析モデルも応答結果は、SROLT の応答結果と概ね近い結果であったが、HDR の曲線的な履歴を考慮した Kikuchi モデルや DHI モデルの方がより近い応答結果となることを確認した。



(a) No. 2 EL Centro NS (75cm/s) (b) No. 5 mashiki EW×1.5  
Fig. 5 Seismic response results of superstructure

#### 参考文献

- 1) Masaru Kikuchi, Ken Ishii : AN ADVANCED HYSTERESIS OF HIGH-DAMPING RUBBER BEARING FOR SEISMIC ISOLATION, 7<sup>th</sup> Structural Engineers World Congress 2019, pp.927-934, pp.593-596, 2019.4
- 2) 加藤秀章, 森 隆浩, 室田伸夫, 石井 健, 菊地 優 : 高減衰積層ゴムの変形履歴積分型復元力モデルに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 76 巻 第 667 号, pp.1721-1728, 2011.9
- 3) ブリヂストン製品カタログ, 建築免震用積層ゴム製品仕様一覧 2021 Vol.1
- 4) 免震構造設計指針, 日本建築学会, 2013.10
- 5) 防災科学技術研究所, 強震観測網 K-NET
- 6) 竹内貞光, 森 隆浩, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 扇谷匠己, 神田 亮 : 既存試験機を用いた応答遅れの小さい免震建築物用サブストラクチャー・リアルタイム・オンライン応答実験システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 28 巻, 第 68 号, pp.121-126, 2022.2

- \*1 ブリヂストン 修士(工学)
- \*2 ブリヂストン 博士(理学)
- \*3 日本大学生産工学部建築工学科 教授 博士(工学)
- \*4 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)
- \*5 近畿大学建築学部建築学科 講師・博士(工学)
- \*6 長谷工コーポレーション技術研究所 博士(工学)

- \*1 Bridgestone Co., M. Eng.
- \*2 Bridgestone Co., Dr. Sci.
- \*3 Prof., Dept. of Architectural Eng., Collage of Industrial Tech., Nihon Univ., Dr. Eng.
- \*4 Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Inst. of Technology, Dr. Eng.
- \*5 Lecturer, Faculty of Arch., Kindai Univ., Dr. Eng.
- \*6 Haseko Co., Technical Research Institute, Dr. Eng.