

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	免震建築物に対するサブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験システムの構築
Title(English)	Construction of substructure real-time online response experiment system for seismic isolated buildings
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. 603-604
Citation(English)	, , , pp. 603-604
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 免震建築物に対するサブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験システムの構築

サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験  
積層ゴム 免震建築物 風応答

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

免震建築物においてその挙動に支配的な免震部材は、変位依存性、速度依存性、温度依存性、クリープ性など、多くの非線系性を有しているため、現在のところ免震建築物の地震および風外力時の挙動などをコンピュータによる数値解析によって正確にシミュレーションすることは困難である。

上記問題を解決するために、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)に着目した。SROLT を行うため、既存の動的2軸(鉛直・水平)試験機(以下、試験機)をPCで制御するシステムを構築する。SROLTでは試験機の摩擦力や慣性力、アクチュエータの遅れが、応答結果に影響を与えるため、注意が必要である。

本報では、構築したSROLTシステムが免震建築物の挙動をシミュレーションするのに十分な精度を有することを示すとともに、超高層免震建築物の風応答シミュレーションを実施した結果を示す。

## 2. サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験システムの構築

## 2.1 システムの概要

SROLTを免震建築物に適用するため、建築物を質点系モデルに置換し、上部構造を解析部分、免震層を実験部分とする。両者を振動方程式上で組み合わせることによって、地震や風外力下における免震部材の複雑な挙動を正確に考慮した建築物全体のシミュレーションを行うことができる。

本システムに用いた数値積分法は、陽な方法にモード除去法を適用した数値積分法<sup>1)</sup>である。

Fig. 1に本報で用いた試験システムの概要を示す。Fig. 1の左側破線で囲った部分が既存の試験機で、右側破線で囲った部分が新規に導入した解析や試験機を制御をするPCである。試験機の制御は、変位制御とした。

積層ゴムの動的な実験では、試験機の摩擦や慣性力の影響、アクチュエータの応答遅れなどが、SROLTの応答結果に影響を与える。本試験機は、免震部材に作用する水平荷重および鉛直荷重を、試験体直上に取り付けられた2分力計(Load Cell)により直接計測することができるため、試験機の摩擦や慣性力の影響がない。また、試験機のアクチュエータ(Actuator2)の応答遅れが小さくなるように、PCで制御を行っている。

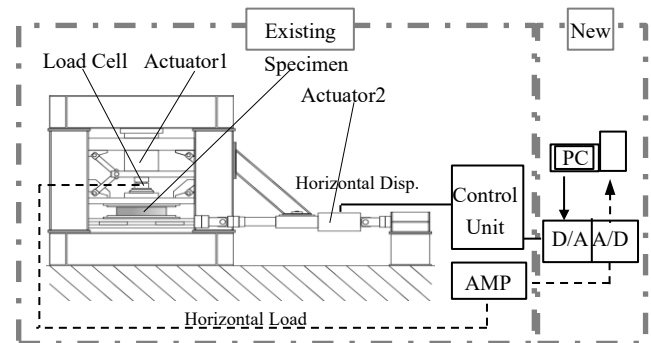


Fig. 1 Experimental Equipment

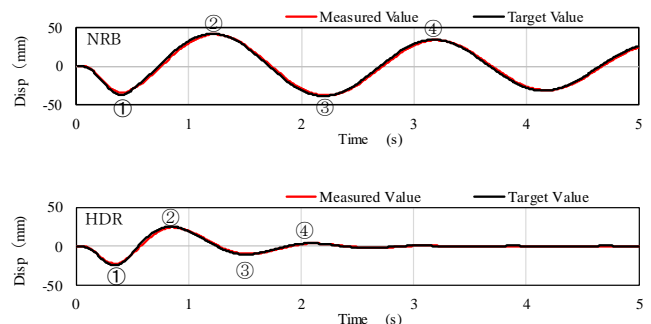


Fig. 2 Response of Displacement

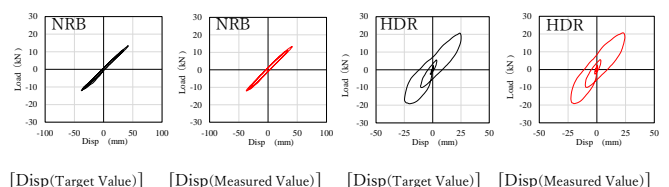


Fig. 3 Characteristic of restoring force

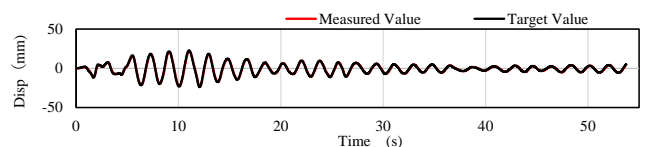
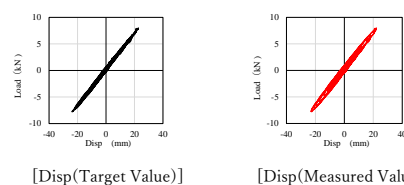
Fig. 4 Response of Displacement (ELCentor0NS 45cm/s<sup>2</sup>)

Fig. 5 Characteristic of restoring force

## 2.2 精度の検証

本システムでの精度を確認するため、1自由度系モデルを用いて SROLT の実験を行った。試験体は外径φ225mmの天然ゴム系積層ゴム(NRB)と高減衰ゴム系積層ゴム(HDR)を用いた。モデルは、積層ゴムのせん断ひずみ100%時の等価剛性に対して固有周期が2sとなるように設定した。加振は、正弦波加振(最大加速度120 cm/s<sup>2</sup>, 加振周期0.5s)の1波だけ与えて、その後自由振動とした。解析の時間間隔Δt=0.01sで実験を行った。

応答変位の時刻歴を Fig. 2 に示す。黒線が目標変位(Target value), 赤線が試験機の実変位(Measured value)である。図中①~④の各ピークの目標時間と試験機の実変位の差(以下、遅れ時間 Dt)の平均値は、NRB 試験体の実験で Dt=0.010s, HDR 試験体の実験で遅れ時間 Dt=0.015s と小さい。Fig. 3 に示す履歴図を比較すると、履歴図はほぼ一致している。次に、NRB 試験体を用いて EL Centoro NS 波で最大加速度45cm/s<sup>2</sup>の加振を行った。応答結果を Fig. 4, 5 に示す。遅れ時間 Dt は0.01s 程度と遅れ時間 Dt は小さく、履歴図はほぼ一致する。

## 3. 免震建築物の SROLT による風応答シミュレーション

本 SROLT システムを用いて、免震建築物の風外力の応答シミュレーションをおこなう。

検討した建築物は、42階建て<sup>2)</sup>のRC造建築物の超高層基礎免震構造である。使用する免震部材は、外周部にゴム外径φ1100, 1200mm, 厚さ250mmのHDRを16基、中央部にすべり支承16基を組み合わせた。HDRのせん断ひずみ100%時の等価周期は6.45sである。解析時、上部構造は弾性、各次の減衰定数は2%とした。解析の時間間隔Δt=0.01sとした。

検討に用いた風力波形は、文献3)にある極めて稀に発生する暴風(再現期間500年)に相当する風力波形(風方向)の後半10分間とした。風荷重を Fig. 6 に示す。Fig. 6 は、地表面高さ約100m位置におけるものである。

HDRの試験体は、外径φ225mmの縮小試験体を用いた。

SROLTの応答結果を Fig. 7~9 に示す。Fig. 7 に示すHDRのせん断応力の時刻歴より、せん断応力は、風荷重の変動成分より平均成分による影響の方が大きくなっている。等価な正弦波に置換すると0.44±0.16MPa(図中の赤線)となる。Fig. 8 に示すHDRのせん断ひずみの時刻歴より、風荷重の平均成分の影響でせん断ひずみは徐々に大きくなり、最大せん断ひずみは1.37となっている。Fig. 9 に示す SROLT で得られた履歴と試験前に実施したせん断ひずみ100%の正弦波加振時の履歴を比較すると、風荷重によりHDRが水平クリープ

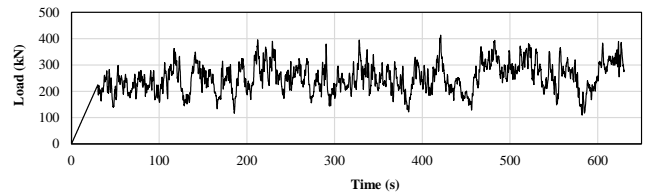


Fig. 6 Wind Force

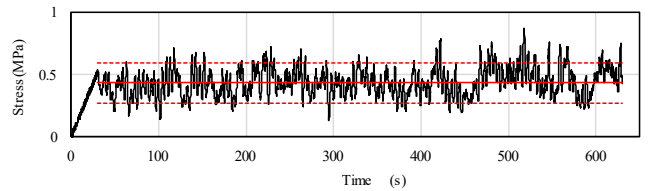


Fig. 7 Response of Stress of HDR

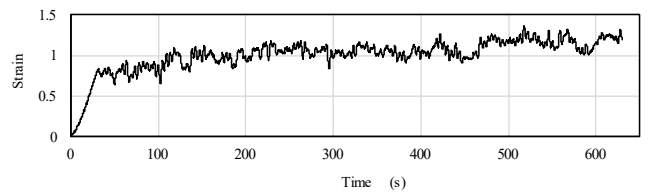


Fig. 8 Response of Strain of HDR

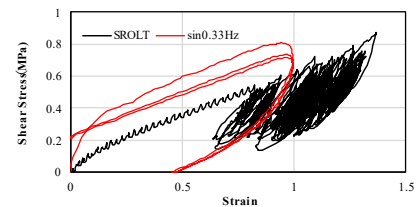


Fig. 9 Characteristic of Restoring force

し、剛性が低下しているのが確認できる。

## 4. まとめ

本報告では、構築した SROLT システムについて示すとともに、その精度を確認した。本システムの精度は免震建築物の挙動をシミュレーションするのに耐えるものであることを確認できた。また、超高層免震建築物の風応答シミュレーションにより、風荷重によるHDRの水平クリープ挙動を確認した。今後、本 SROLT システムを用いて免震建築物の地震や風外力の応答評価を行っていく。

## 参考文献

- 1) 扇谷匠己, 谷脇紗和, 神田 亮, 丸田榮藏, ハイブリッド空力振動法に適用する無条件安定と等価な陽的積分法 多自由度系弾性挙動に対する検討, 日本風工学会論文集, 第114号, pp1-15, 2009.1
- 2) 竹内貞光, 山下忠道, 神田 亮, 森 隆浩, 加藤秀章, 扇谷匠己, 梁川幸盛: 高減衰ゴム系積層ゴムを適用した超高層免震建築物のXY方向風応答シミュレーション, 構造工学論文集, Vol.60B, pp499-506, 2014.3
- 3) 扇谷匠己, 神田亮, 山下忠道, 梁川幸盛, 佐藤大樹, 原田浩之, 中村遼太郎: 台風通過時に高層免震建築物に作用する風外乱の作成とその応答に関する研究, 構造工学論文集, Vol.59B, pp427-433, 2013.3

\*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 Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.