T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

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・オンライン応答実験法による免震建築物の地震・風応答シミュレーション(その 1.長周期長時間地震動による応答)
Title(English)	Earthquake and Wind Response Simulation of a Base Isolated Building by Means of Substructure Real-time Online Testing -Part1. Response of Long Period and Long Duration Earthquake-
著者(和文)	竹内貞光, 神田亮, 森隆浩, 山下忠道, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 扇谷匠己, 室田伸夫
Authors(English)	Sadamitsu Takeuchi, Makoto kanda, Takahiro Mori, Tadamichi Yamashita, Daiki Sato, Tetsushi Inubushi, Narumi Ougiya, Nobuo Murota
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 261-262
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 261-262
発行日 / Pub. date	2019, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（北陸） 2019 年 9 月

サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験法による免震建築物の地震・風応答シミュレーション(その 1.長周期長時間地震動による応答)

正会員 ○竹内貞光*1 同 神田 亮*2
同 森 隆浩*3 同 山下忠道*4
同 佐藤大樹*5 同 犬伏徹志*6
同 扇谷匠己*7 同 室田伸夫*8

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 長周期長時間地震 免震建築物

1. はじめに

著者らは，サブストラクチャ・リアルタイム・オンライン応答実験(以下 SROLT)を用いて免震建築物の地震シミュレーションを行ってきた [1,2]。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。質点系モデルに置換した上部構造の応答は，数値解析によって，複雑な非線形挙動を示す免震部材の応答は，試験体を用いた載荷実験によってその挙動を求める。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精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。

本報では，長周期長時間地震よる免震部材の挙動を確認するため，SROLT を用いて超高層免震建築物の地震応答シミュレーションを行い，免震部材の復元力特性および時刻歴応答について確認した。免震部材は高減衰ゴム系積層ゴム（以下 HDR）とし，地震動は，建築基準整備促進事業の平成23年度「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」[3] で作成された長周期・長時間地震動のひとつで此花（OSKH02(平均)）を用いた。

2. 実験の概要

本論文の対象建築物は，Fig. 1 に示すような建築物高さ 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 [4]。対象建築物の構造諸元を Table1 に示す。Fig. 2 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φ1100，φ1200，φ1400 の 3 種類，総ゴム厚さは，すべてのサイズで 250 ㎜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，各次の減衰定数を 2%とした。

検討に用いた地震波の加速度波形を Fig. 3 に，速度応答スペクトルを Fig. 4 に示す。OSKH02(平均)は，固有周期 6～7 秒に卓越した応答を示す地震波で，継続時間は 739.8 秒と長い。

SROLT によるシミュレーションで用いた試験体諸元を Table2 に示す。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。

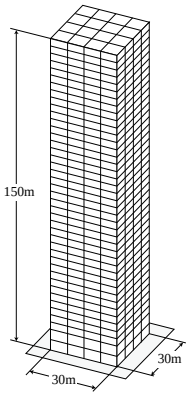

Fig. 1 Model Building[1)]

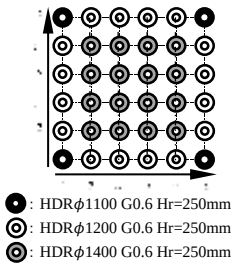

Fig. 2 Arrangement of the Seismic Isolation

Table 1 Structural Parameters

Building Weight [kN]	560424
Height [m]	150
Width・Depth [m]	30
Elastic First Natural Period [s]	3.13

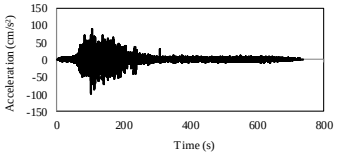

Fig. 3 Earthquake Ground Motion[3)]

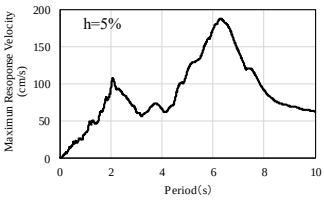

Fig. 4 Response Velocity Spectrum

Table 2 Specimen Specification

Diameter	φ 225 mm
Rubber thickness	1.6 mm×28layer
Inner plate thickness	1.0 mm×27layer
First shape coefficient	S_1=35.2
Second shape coefficient	S_2=5.0

3. 実験結果

SROLT によって得られた免震層の復元力特性を Fig. 5 に，免震層と 42 層目の時刻歴応答変位を Fig. 6 と 7 に，免震層と 42 層目の時刻歴応答せん断力を Fig. 8 と 9 に示す。図中，HDR の復元力モデルに文献 5）の修正バイリニアモデルで置換した時刻歴応答解析結果（以下，数値解析）を示す。Anl. 1, 2 はそれぞれ，HDR の繰り返し変形による復元力の変化を考慮しない結果と考慮した結果である。Anl. 2 は，Anl. 1 で得られた累積吸収エネルギーから，免震部材の水平特性の変化

Earthquake and Wind Response Simulation of a Base Isolated Building by Means of Substructure Real-time Online Testing
-Part1. Response of Long Period and Long Duration Earthquake-

TAKEUCHI Sadamitsu, KANDA Makoto
Takahiro MORI, YAMASHITA Tadamichi
SATO Daiki, INUBUSHI Tetsushi
OUGIYA Narumi, MUROTA Nobuo

率を評価して，変化した特性値を用いて再度解析を行った[6]。Anl. 2 は，Anl. 1 に対して HDR の水平剛性と等価減衰定数がそれぞれ約-8%，約-5%となっている。SROLT による応答結果から，HDR のせん断ひずみ 100～200%程度の振幅が多数くり返されていることが確認できる。SROLT による応答結果と，数値解析結果を比べると，最大応答変形は SROLT の応答結果が Anl. 1 の結果に対して 17%ほど大きく，Anl. 2 の結果に対して 5%ほど小さい結果となった。Fig. 6 に見られるように，免震層が大きく変形した直後の 150～200 秒の間や，250～300 秒の間において SROLT と数値解析による応答波形の差が大きくなっている。数値解析に用いた修正バイリニアモデルの減衰が SROLT の応答結果より大きくなっていることが考えられる。また，HDR の最大せん断力，42 層の最大応答変形および最大せん断力は，SROLT の応答結果の方が解析結果より大きくなっている。今後，これら応答結果に差異が生じた原因について，より詳細な検討を行っていく。

4. まとめ

長周期長時間地震よる免震部材の挙動を確認するため，SROLT を用いて超高層免震建築物の地震応答シミュレーションを行い，HDR の復元力特性および時刻歴応答について確認した結果，以下の知見を得た。

・SROLT によるシミュレーションを実施した結果，共振現象により，HDR が大変形の繰り返しを多数回発生していることが確認できた。

・SROLT によるシミュレーションで得られた最大応答変位は，HDR の復元力特性に修正バイリニアモデルを用いた数値解析で繰り返しを考慮しないモデルの結果より大きく，繰り返しを考慮したモデルより小さくなる結果であった。また，最大せん断力は，SROLT で得られた結果の方が大きくなった。

今後，これら応答結果に差異が生じた原因についてより，より詳細な検討を行っていく。

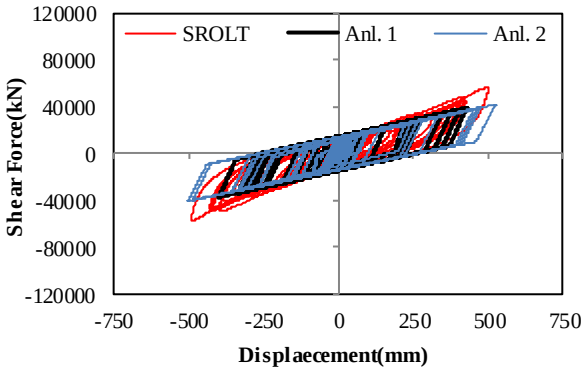

Fig. 5 Hysteresis Curve (Isolation Interface)

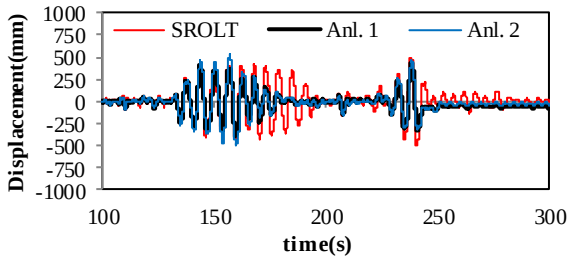

Fig. 6 Time History of Displacement (Isolation Interface)

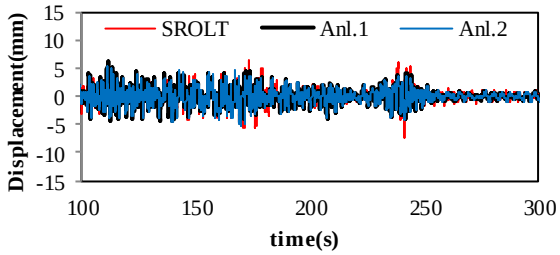

Fig. 7 Time History of Displacement (42nd Interface)

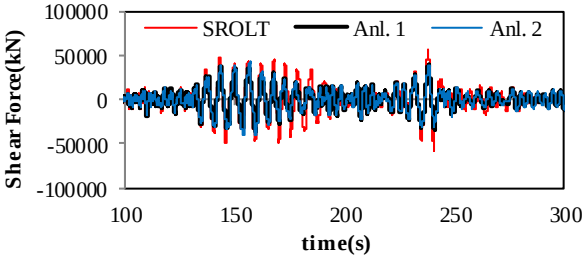

Fig. 8 Time History of Shear Force (Isolation Layer)

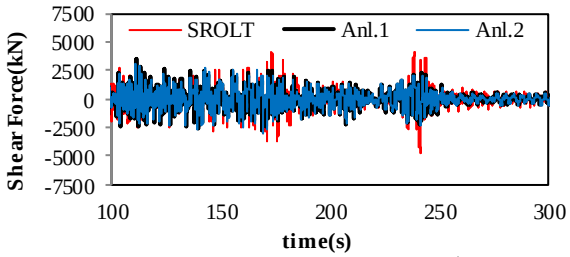

Fig. 9 Time History of Shear Force (42nd Interface)

参考文献

1) 横田健次，諸沢柾治他，高層免震建築物に関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（その 1，その 2），日本建築学会大会梗概集，pp.593-596，2016.8
2) 諸沢柾治，竹内貞光，森 隆浩，神田亮，免震建築物に関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　複数回地震が連続で作用する免震建築物の応答，日本建築学会大会梗概集，pp.867-868，2017.7
3) 大川出，佐藤智美，佐藤俊明，藤堂正喜，北村春幸，鳥井信吾，辻泰一，北村佳久，超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討-長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ３連動地震による超高層・免震建物の応答解析，建築研究所資料，No.144 号，2013.8
4) 免震構造設計指針，日本建築学会，2013.10
5) 高減衰ゴム系積層ゴム（X0.6R タイプ）技術資料，㈱ブリヂストン 2016.5
6) 加藤秀章，森 隆浩，神田亮，長周期地震動に対する免震材料の性能評価（その１）高減衰ゴム系積層ゴム支承，日本建築学会大会梗概集，pp.1005-1006，2018.9

*1 ブリヂストン　修士(工学)
*2 日本大学生産工学部建築工学科　教授　博士(工学)
*3 ブリヂストン　博士(理学)
*4 ダイナミックコントロールデザインオフィス代表・博士(工学)
*5 東京工業大学未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
*6 近畿大学建築学部建築学科 講師・博士（工学）
*7 長谷工コーポレーション技術研究所　修士(工学)
*8 ブリヂストン　Ph. D.

*1 Bridgestone Co., M. Eng.
*2 Prof., Dept. of Architectural Eng., Collage of Industrial Tech., Nihon Univ., Dr. Eng.
*3 Bridgestone co., Dr. Sci.
*4 Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.
*5 Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Inst. of Technology, Dr. Eng.
*6 Lecturer, Faculty of Arch., Kindai Univ., Dr. Eng.
*7 Haseko Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.
*8 Bridgestone co., Ph. D.