

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 論題(和文)            | 超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震および風応答時における累積吸収エネルギー評価(その3 中間階免震による検討)   |
| Title(English)    | The Evaluation on Cumulative Absorbed Energy of HighDamping Rubber Bearings at both the Earthquake Response and the Wind Response applying to a Super High-Rise Seismic Isolated Building - Part3 Examination for inter story isolated building |
| 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  |
| Authors(English)  | Sadamitsu Takeuchi, Makoto kanda, Takahiro Mori, Tadamichi Yamashita, 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. 873-874  |
| Citation(English) | Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 873-874  |
| 発行日 / Pub. date   | 2018, 9   |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会   |

超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震および風応答時における累積吸収エネルギー評価  
(その3 中間階免震による検討)

累積吸収エネルギー 高減衰ゴム系積層ゴム 台風  
風外乱 長周期・長時間地震動 中間階免震建築物

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

1. はじめに

著者らは、高減衰ゴム系積層ゴム（以下 HDR）を用いた超高層基礎免震建築物の地震外乱および風外乱による応答について検討を行った<sup>1)</sup>。時刻歴応答解析による耐力評価を行うとともに、繰り返し加振による安全性や HDR の水平性能の変化を、実試験体の正弦波加振実験と比較することで評価した。

本論文では、超高層中間階免震建築物の地震外乱および風外乱による応答について、免震層設置位置の違いによる影響に着目した。時刻歴応答解析により最大応答値の検討を行うとともに、繰り返し加振による安全性や水平性能の変化について評価を行う。

2. 解析モデル

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<sup>2)</sup>。対象建築物の構造諸元を Table1 に示す。建築物の粘性減衰は弾性1次固有周期(3.13s)に対して2%の初期剛性比例型とした。この対象建築物の基礎部、3層、9層、21層に免震層を設けたモデルについて検討を行う。本論文において免震層を i 層に設けたモデルは「i 層免震モデル」と呼ぶものとする。Fig.2 に対象建築物の構造軸を示す。X 方向を風方向、Y 方向を風直交方向、M 方向を振れ方向とする。Fig.3 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。本超高層中間階免震建築物は、免震層の位置によらず上部構造の重量に対して水平性能が等価になるよう設定した。

3. 解析に用いた地震外乱と風外乱

Table 2 に解析に用いた地震外乱を示す。既往地震動として El Centro NS は最大速度が 50cm/s に基準化したものと、日本建築センターで作成された BCJ-L2 を用いた。また、長周期・長時間地震動として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」<sup>3)</sup>で作成された地震動を用いた。選択したサイトは KGIN(新宿)、OSKH02(此花)の 2ヶ所である。これら地震外乱による時刻歴応答解析は 1 方向入力とした。

解析に用いた風外乱は、静止風圧実験により得られた結果を基に、最大風速を極めて稀に発生する暴風(再現期間 500 年)によって基準化された時刻歴風力波形(以下、Level2 相当

Table. 1 Structural Parameters

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

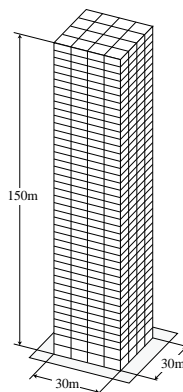
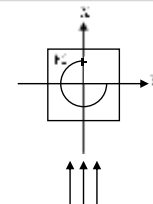
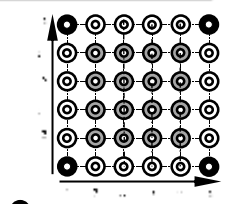


Fig.1 Model Building<sup>1)</sup>



X: Wind Direction  
Y: Across Wind Direction  
M: Torsional Direction



●: HDR φ1100 G0.6 Hr=250mm  
⊙: HDR φ1200 G0.6 Hr=250mm  
⊗: HDR φ1400 G0.6 Hr=250mm

Fig.2 Wind Direction and Structural Axes Fig.3 Arrangement of the Seismic Isolation

Table. 2 Input Earthquake Motion

| Earthquake Motion | Maximum Acceleration [cm/s <sup>2</sup> ] | Duration Time [s] |
|-------------------|---|-------------------|
| El Centro NS      | 511.5                                     | 53.7              |
| BCJ-L2            | 355.7                                     | 120               |
| KGIN              | 42.1                                      | 739.82            |
| OSKH02            | 98.5                                      | 739.82            |

波形)と、文献 4) に示した台風 0418 号の風力波形(以下、台風波形)を用いる。台風波形は福岡県の朝倉観測所で実際に観測された記録に基づき、風向・風速変化をモデル化したものである。最大風速を極めて稀に発生する暴風(再現期間 500 年)に基準化している。これらの風外乱による時刻歴応答解析は X 方向、Y 方向、M 方向の 3 方向入力とした。

4. 時刻歴応答解析結果

Fig.4 に各免震モデルにおける免震層の最大応答変位を示す。Fig.5 に各免震モデルにおけるゴム体積当たりの累積吸収エネルギー（以下、E/V）を示す。ここで、E は累積吸収エネルギー、V は HDR のゴム体積を表す。全体的な傾向として最大応答変位と E/V は、免震層が上部に設置されるほど大きくなる。最大応答変位は、長周期・長時間地震が大きく（最大せん断ひずみ 230%）、風外乱による応答は小さい。E/V は風外乱の Level2 相当波形の Y 方向と台風波形の Y 方向は、長周期・長時間地震の OSKH02 とほぼ同等となっている。繰り返し変形による安全性評価は、長周期・長時間地震と同様に風外乱についても必要となる。

## 5. 正弦波置換法による評価

HDR の繰り返しによる安全性や水平性能の変化について検討するため、正弦波置換法を用いて解析で得られた時刻歴変位波形から等価な正弦波を求め、実試験体の正弦波加振実験結果と比較する<sup>5)</sup>。変位波形の標準偏差  $\sigma$ 、繰り返し回数  $N$ 、継続時間  $t_0$  とすると、置換振動数  $f_r$ 、置換振幅  $A_r$  は式 (1)、(2) から算出される。

$$f_r = 1/T_r \quad (1)$$

$$A_r = \sqrt{2} \times \sigma \quad (2)$$

Table3 に E/V の大きかった OSKH02, Level2 相当波形、台風波形の Y 方向の正弦波置換法で求めたパラメータを示す。実効継続時間  $t_0$  は、地震外乱と台風波形については、E/V の 5%~95% の範囲の時間とした<sup>6)</sup>。Level2 相当波形は後半の 10 分間の範囲とした。繰り返し回数  $N$  は、実効継続時間内に変位振幅が 0 軸を正の傾きで超える回数とした。Table3 より、免震層の設置位置によらず、実効継続時間、置換振動数はあまり変わらないが、置換振幅は免震層が上層に設置されるほど、大きくなる傾向にある。

## 6. まとめ

中間階に免震層を有する超高層免震建築物の地震外乱と風外乱による応答について検討した結果、

- ・本解析の範囲では、免震層が上階に設置されると最大応答変位、累積吸収エネルギーが大きくなる傾向である。
- ・長周期・長時間地震動と風外乱で比較した結果、累積吸収エネルギーはほぼ同等となった。
- ・正弦波置換法により等価な正弦波に置き換えた結果、免震層が上階に設置されると置換周期、継続時間は変わらないが、置換振幅が大きくなる傾向であることが確認できた。

今後、実試験体での実験結果と比較し、安全性や水平性能の変化を評価する。

### 参考文献

- 1) 土橋健治, 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, 超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震および風応答時における累積吸収エネルギー評価 (その 1, その 2), 日本建築学会大会要旨集, pp.1011-1014, 2017.8
- 2) 杉本耕作, 竹内貞光, 山下忠道, 神田亮, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 超高層中間階免震建築物の風応答性状に関する研究, 構造工学論文集, Vol.61B, pp.383-392, 2015.3
- 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・免震建築物の応答解析, 建築研究所資料, No.144号, 2013.8
- 4) 扇谷匠己, 神田亮, 山下忠道, 梁川幸盛, 佐藤大樹, 原田浩之, 中村達太郎, 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, pp.427-433, 2013.3
- 5) 佐藤大樹, 所 健, 笠井和彦, 北村春幸, 風応答振動時における粘弾性ダンパーの特性および正弦波による簡易評価手法, 日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.710, pp.571-581, 2015.4
- 6) Trifunac, M.D and Brady, A.G: A Study on Duration of Strong Earthquake Ground Motion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.65, No.3, pp.581-626, 1975.6

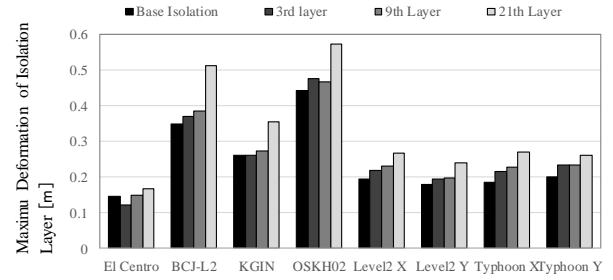


Fig4 Maximum Deformation of Isolation Layer

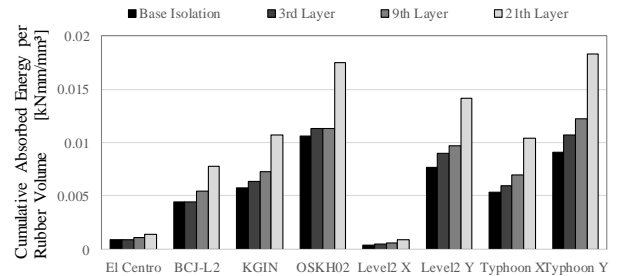


Fig5 Cumulative Absorbed Energy per Rubber Volume

Table 3 Parameters of Replacement of Sine Wave

| Excitation | a) Duration [s] |                       |                       |                        |
|------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|            | Base Isolation  | 3 <sup>rd</sup> Layer | 9 <sup>th</sup> Layer | 21 <sup>th</sup> Layer |
| OSKH02     | 127.5           | 116.9                 | 109.8                 | 113.4                  |
| Leve2 Y    | 600.0           | 600.0                 | 600.0                 | 600.0                  |
| Typhoon Y  | 2799.8          | 2718                  | 2794.4                | 2683.6                 |

| Excitation | b) Replacement of Frequency [1/s] |                       |                       |                        |
|------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|            | Base Isolation                    | 3 <sup>rd</sup> Layer | 9 <sup>th</sup> Layer | 21 <sup>th</sup> Layer |
| OSKH02     | 0.149                             | 0.162                 | 0.191                 | 0.106                  |
| Leve2 Y    | 0.160                             | 0.160                 | 0.163                 | 0.167                  |
| Typhoon Y  | 0.129                             | 0.131                 | 0.132                 | 0.140                  |

| Excitation | c) Amplitude [m] (Shear Strain) |                       |                       |                        |
|------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|            | Base Isolation                  | 3 <sup>rd</sup> Layer | 9 <sup>th</sup> Layer | 21 <sup>th</sup> Layer |
| OSKH02     | 0.179<br>(0.715)                | 0.207<br>(0.828)      | 0.227<br>(0.907)      | 0.287<br>(1.148)       |
| Leve2 Y    | 0.088<br>(0.352)                | 0.092<br>(0.369)      | 0.101<br>(0.403)      | 0.116<br>(0.465)       |
| Typhoon Y  | 0.086<br>(0.346)                | 0.093<br>(0.370)      | 0.101<br>(0.404)      | 0.116<br>(0.465)       |

\*1 ブリヂストーン 工学

\*2 日本大学生産工学部建築工学科 教授 博士(工学)

\*3 ブリヂストーン 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 神奈川大学工学部建築学科 助教・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)

\*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., FIRS, Tokyo Inst. of Technology, Dr.Eng.

\*6 Research Assoc., Kanagawa University, Dr. Eng.

\*7 Haseko Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.