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)	超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの累積吸収エネルギーに関する研究 （その2 累積吸収エネルギーに関する評価）
Title(English)	Study on Cumulative Absorbed Energy of a Super High-Rise Seismic Isolated Building using High-Damping Rubber Bearings -Part2 Estimation of Cumulative Absorbed Energy -
著者(和文)	竹内貞光, 土橋健治, 神田亮, 山下忠道, 扇谷匠己, 佐藤大樹, 犬伏徹志
Authors(English)	Sadamitsu TAKEUCHI, Kenji DOBASHI, Makoto kanda, Tadamichi Yamashita, Narumi OUGIYA, Daiki Sato, Tetsushi INUBUSHI
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 579-580
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 579-580
発行日 / Pub. date	2016, 8
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
（九州） 2016 年 8 月

超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの累積吸収エネルギーに関する研究
(その 2　累積吸収エネルギーに関する評価)

正会員　○竹内貞光*1　同　土橋健治*2
同　神田亮*3　同　山下忠道*4
同　扇谷匠己*5　同　佐藤大樹*6
同　犬伏徹志*7

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　超高層免震建築物

1. 序論

その 1 では，解析に用いた超高層免震建築物の概要，高減衰ゴム系積層ゴムの解析モデル，検討をおこなった地震および風外乱について示した。その 2 では累積吸収エネルギーに関する検討を行う。

2. HDR の累積吸収エネルギーに関する検討

2.1 実試験体による正弦波加振試験

実試験体に対して，正弦波加振による繰り返し試験を行った結果を示す。Fig.1 に試験体，Table.1 に試験体形状を示す。試験体は，ゴム外径 φ225mm，1 次形状係数 35.2，2 次形状係数 5.02 である。Table.2 に試験条件を示す。せん断応力 0.2±0.2MPa（荷重制御），周期 3 秒，正弦波加振を 2 時間実施した。Fig.2 に試験結果としてせん断ひずみの時刻歴を示す。長時間の加力により水平クリープが確認できる。また，せん断ひずみが±20%程度繰り返し変形をしている。Fig.3 に試験時のゴムの表面温度を計測した結果を示す。繰り返しによっても表面温度は 10℃程度と温度上昇は少ない。ここで，免震部材の安全性を検討するパラメータとして累積吸収エネルギーを定義する。累積吸収エネルギーとは，せん断力-変位関係から時間ステップごとに履歴の面積を求め合算し，単位ゴム体積当たりの量に換算したものである。本試験から繰り返し加振による単位ゴム体積当たりの累積吸収エネルギーは 0.0924kNmm/mm^3 程度である。試験体は目視と性能において損傷はなく，安全性は十分確保できるといえる。

2.2 累積吸収エネルギーに関する評価

Fig.4 に単位ゴム体積当たりの累積吸収エネルギーを時刻/継続時間に対して示す。太線の実線および 1 点鎖線は風外乱に関するもの，破線，点線，2 点鎖線は地震外乱に関するもの，黒の中線は試験結果に関するものである。Fig.5 に各入力波の最大累積吸収エネルギーを示す。

各地震外乱の最大累積吸収エネルギーを小さい順に列記すると次のようになる。El Centro NS 波＜SZ0024-ave＜AIC003-ave＜BCJ-L2＜KGIN-ave＜AIC003+σ＜SZ0024-ave＜OSKH02-ave＜KGIN+σ＜OSKH02+σ。既往波地震動 El Centro NS 波と長期周期・長時間地震動 OSKH02+σと比較すると，OSKH02+σの方が最大累積吸収エネルギーは 23 倍大きくなっている。長周期・長時間地震動で一番小さい SZO024-ave は 2.4 倍となっている。各長周期・長時間地震動は大振幅が多数繰り返されることから最大累積吸収エネルギーが大きくなっている。同じサイトの長周期・長時間地震動において ave の地震動と+σの地震動とを比べると，各地震動とも最大累積吸収エネルギーは 2 倍以上となっている。Level2 相当波形をみると風方向は，変動成分が小さいため最大累積吸収エネルギーが小さい。風直交方向は変動成分が大きく，最大累積吸収エネルギーは大きくなっている。台風波形を見ると，X 方向より Y 方向の方が最大累積吸収エネルギーが大きくなっている。これは，Y 方向の方が変動成分が大きくなる風直交方向となっている時間が長かったため，繰り返し回数が多くなったためである。

Level2 相当波形と台風波形の最大累積吸収エネルギーは，小さい順に列記すると次のようになる。Level2 相当波形（風方向）＜台風波形（X 方向）＜Level2 相当波形（風直

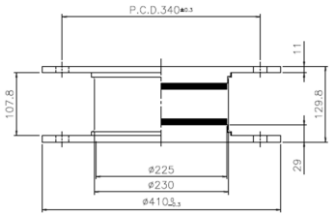

Fig.1 Laminated Rubber

Table.1 Laminated Rubber Shape

Outside diameter(mm)	φ225
Primary shape coffcient	S_1=35.2
Secondry shape coffcient	S_2=5.0
Rubber thickness(mm)	44.8

Table.2 Test condition

Surface pressure(MPa)	15
Shear stress(MPa)	0.2±0.2
Period(s)	3
Excitation	Sine wave
Excitation time(s)	7200

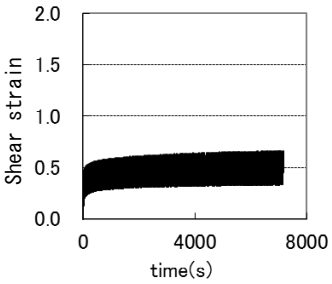

Fig.2 Time history of Shear strain

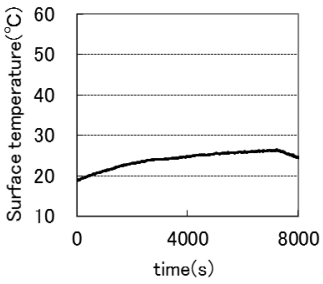

Fig.3 Time history of Surface temperature

Study on Cumulative Absorbed Energy of a Super High-Rise Seismic Isolated Building using High-Damping Rubber Bearings
-Part2 Estimation of Cumulative Absorbed Energy -

TAKEUCHI Sadamitsu, DOBASHI Kenji,
KANDA Makoto, YAMASHITA Tadamichi
OUGIYA Narumi, SATO Daiki
INUBUSHI Tetsushi

交方向）＜台風波形（Y 方向）。Level2 相当波形（風方向）と台風波形（Y 方向）とを比較すると，台風波形（Y 方向）の方が最大累積吸収エネルギーは約 22 倍大きくなっている。Level2 相当波形（風直交方向）と台風波形（Y 方向）とを比較すると，台風波形（Y 方向）の方が最大累積吸収エネルギーは約 1.2 倍とさほど差がない。

既往地震動 El Centro NS 波の最大累積吸収エネルギーは，台風波形（Y 方向）の約 1/10，BCJ－L2 の最大累積吸収エネルギーは，台風波形（Y 方向）の約 1/2 倍となっている。これより，既往波に比べて台風波形の最大累積吸収エネルギーは大きいといえる。長周期・長時間地震動と台風波形とを比べると，長周期・長時間地震動の ave の最大累積吸収エネルギーはほぼ同等，+σ は地震動によっては大きいものがある。これより，台風波形は，継続時間が非常に長いため最大累積吸収エネルギーが大きくなり，長周期・長時間地震と同等以上となることもあるので免震部材の累積吸収エネルギーについては，長周期・長時間地震動と同様に十分な注意が必要である。

2.1 節に示す試験結果と地震および風外乱の解析結果とを比較すると Fig.3 に示す通り，最大累積吸収エネルギーの一番大きかった OSKH02+σ に対して試験結果は 4 倍以上の値となっている。このことから，1 イベントに発生する地震および風外乱に関して今回用いた HDR の累積吸収エネルギーは十分安全性を有していることが確認できた。

3. まとめ

超高層免震建築物の地震および風外乱による累積吸収エネルギーによる検討を行った結果以下となった。

・地震外乱に関して，長周期・長時間地震動による最大累積吸収エネルギーは，既往地震動 El Centro NS 波に比べて 2.4 倍～23 倍と非常に大きいことが確認できる。これより，免震部材の応答評価だけでなく，累積吸収エネルギーについても十分な検討が求められる。

・風外乱に関して，変動成分の影響により最大累積吸収エネルギーは大きくなる。Level2 相当波形と台風波形と比べると最大累積吸収エネルギーは台風波形の方がやや大きくなる。これは長時間の繰り返しによる影響が大きい。風外乱による免震部材の累積吸収エネルギーを行う際は，場合によって Level2 相当波形のみの検討でも十分であるかもしれない。

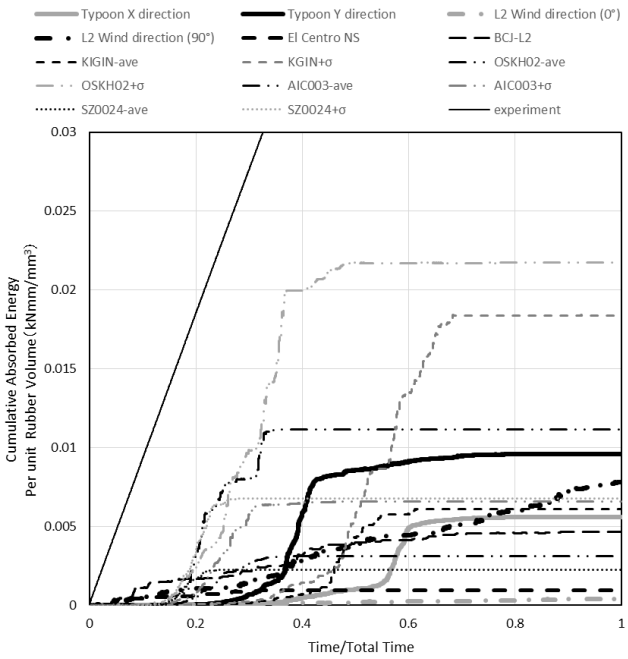

Fig.4 Relationship of Time/Total Time and Cumulative Absorbed Energy Per unit Rubber Volume

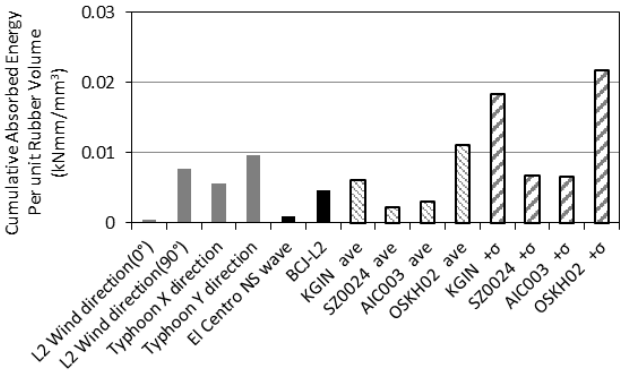

Fig.5 Maximum Cumulative Absorbed Energy Per unit Rubber Volume

・地震と風外乱を比較すると，既往波地震動 El Centro NS 波や BCJ L-2 より風外乱の最大累積吸収エネルギーは大きい。長周期・長時間地震と比べても同等以上の結果であり，風外乱による累積吸収エネルギーへの影響は大きいものであることが確認できる。

・本解析と HDR の実試験体の繰り返し試験で得られた最大累積吸収エネルギーとを比較すると，HDR の耐久性は高く問題のないことが確認できた。1 イベントに発生する地震および風外乱に対して今回用いた HDR の累積吸収エネルギーは十分安全性を有していることが確認できた。

*1 ブリヂストン　(日本大学研究員)　工修
*2 日本大学大学院生産工学研究科　大学院生
*3 日本大学生産工学部建築工学科　教授　博士(工学)
*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 長谷工コーポレーション技術研究所　修士(工学)
*6 東京工業大学建築物理研究センター
准教授・博士(工学)
*7 神奈川大学工学部建築学科　助手・修士(工学)

*1 Bridgestone Corporation, M. Eng.
*2 Grad. Student, Grad. School of Industrial Tech, Nihon Univ.
*3 Prof., Dept. of Architectural Eng., Collage of Industrial Tech., Nihon Univ., Dr. Eng.
*4Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.
*5 Haseko Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.
*6 Assoc. Prof., Structural Eng. Research Center, Tokyo Institute of Tech., Dr. Eng.
*7 Research Assoc., Kanagawa University, M. Eng.