## T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

## 論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	高減衰ゴム系積層ゴムを用いた超高層免震建築物の地震及び風外乱に 対する耐久性の検討 その2累積損傷エネルギーに関する評価
Title(English)	Study on Damage Estimation of a Super High-Rise Seismic Isolated Building using High-Damping Rubber Bearings under Earthquakes and Wind Excitations Part2 Cumulated Damage Energy Estimation -
著者(和文)	
Authors(English)	Sadamitsu TAKEUCHI, Makoto kanda, Tadamichi Yamashita, Narumi OUGIYA, Daiki Sato, Tetsushi INUBUSHI
出典(和文)	日本大学生産工学部第48回学術講演会講演概要,,, P13-16
Citation(English)	, , , P13-16
発行日 / Pub. date	2015, 12

高減衰ゴム系積層ゴムを用いた超高層免震建築物の地震及び風外乱に対する耐久性の検討 —その2 累積損傷エネルギーに関する評価—

(㈱ブリヂストン 〇竹内 貞光 日大生産工(学部) 土橋 健治 日大生産工 神田 亮 ダイナミックコントロールデザインオフィス 山下 忠道 ㈱長谷エコーポレーション 扇谷 匠己 東京工業大・建築物理研究センター 佐藤 大樹 神奈川大・工学 犬伏 徹志

## 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 では時刻歴応答解析結果および累積損傷エネルギー に関する検討を行う。

2. 時刻歷応答解析結果

2.1 地震外乱による応答結果

図 1(a)~(e)に免震層の応答変位の時刻歴を示す。図 2 に免震層のせん断力-変位関係を示す。

El Centro NS 波と BCJ-L2 の最大応答変位はそ れぞれ 0.14m, 0.349m で,大きな振幅が 1~3 回程 度繰り返される。長時間・長周期地震 AIC003, KGIN, OSKH02, SZO024 の最大応答変位はそれぞれ,ave で 0.142m, 0.260m, 0.444m, 0.136m, +  $\sigma$  で 0.304m, 0.485m, 0.575m, 0.259m で,大きな振幅が断続的 に多数回繰り返される。

2.2 風外乱による応答結果

図3に免震層のLevel2相当波形と台風波形による 応答変位の時刻歴を示す。図4に免震層のせん断力-変位関係を示す。Level2相当波形の最大変位は、X 方向(風方向)とY方向(風直交方向)で大きな差 はないが,振幅は風外乱の変動成分の大きいY方向 の方が大きくなっている。X方向(風方向)では, 風外乱の平均成分の影響により水平クリープが生じ ている。

台風波形の最大変位は、X 方向とY 方向で大きな 差はなく、X 方向、Y 方向ともに風方向となったと きに生じている。風外乱の平均成分の影響で水平ク リープが生じて変形が大きくなっている。最大せん 断力は、X 方向、Y 方向ともに風外乱の変動成分が 大きくなる風直交方向となったときに生じている。 Level2 相当波形と台風波形を比べると最大せん断力 および最大変位に大きな差はない。図 2 の地震用解 析モデルのせん断力-変位関係と図4の風用解析モデ ルのせん断力-変位関係を比較すると風用解析モデル



Study on Damage Estimation of a Super High-Rise Seismic Isolated Building using High-Damping Rubber Bearings under Earthquakes and Wind Excitations. - Part2 Cumulated Damage Energy Estimation-

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



(d)台風波形 Y方向図4 せん断力-変位関係

-14 -

は剛性が大きく減衰が小さくなっている。このよう な復元カモデルの違いによる影響が応答上に現れる メカニズムについては、今後の検討課題と考える。

HDR の累積損傷エネルギーに関する検
討

3.1 実試験体による正弦波加振試験

実試験体により,正弦波加振による繰り返し試験 を行った結果を示す。図5に試験体,表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。表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。

図 6 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。図 7 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,免震部材の損傷を 評価するパラメータとして累積損傷エネルギーを定 義する。累積損傷エネルギーとは,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 累積損傷エネルギーは 0.0924kNmm/mm<sup>3</sup>程度であ り,この程度では試験体には損傷はなく,安全性は 十分確保できる。

3.2 累積損傷エネルギーに関する評価

地震,風外乱による損傷を評価するため累積損傷 エネルギーを求めた。図 8(a),(b)にゴム体積当たり の累積損傷エネルギーを時刻/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。

各地震外乱の全累積損傷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+ $\sigma$ <SZ0024-ave<OSKH02-ave<KGIN+  $\sigma$ <OSKH02+ $\sigma$ 。既往波である EL Centro NS 波と 長時間・長周期地震動 OSKH02+ $\sigma$ と比較すると, OSKH02+ $\sigma$ の方が全累積損傷エネルギーは 23 倍大 きくなっている。長時間・長周期地震動で一番小さ い SZ0024-ave は 2.4 倍となっている。各長時間・ 長周期地震動は応答変形が大きく,かつ大振幅が多 数繰り返されることから全累積損傷エネルギーが大 きくなっている。同じサイトの長時間・長周期地震 動において ave の地震動と+ $\sigma$ の地震動とを比べる と,各地震動とも全累積損傷エネルギーは 2 倍以上 となっている。



図5 試験体





表 2 試験条件





図7 ゴム表面温度の時刻歴

Level2相当波形をみるとX方向(風方向)は、変動成分が小さいため全累積損傷エネルギーが小さい。 Y方向(風直交方向)は変動成分が大きく、全累積 損傷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方向の方が全累積損傷エネルギ 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全累積損傷エネルギーは、小さい順に列記すると次のようになる。Level2 相当波形(X 方向) <台風波形(X 方向) <Level2 相当波形(Y 方向) <台風波形(Y 方向)。Level2 相 当波形(X 方向)と台風波形(Y 方向)とを比較す ると、台風波形(Y 方向)の方が全累積損傷エネル

-15-



図 7 ゴム体積あたりの累積損傷エネルギーと 時刻/継続時間の関係

ギーは約22倍大きくなっている。Level2相当波形 (Y 方向)と台風波形(Y 方向)とを比較すると, 台風波形(Y 方向)の方が全累積損傷エネルギーは 約1.2倍とさほど差がない。Leve2相当波形と台風 波形の全累積損傷エネルギーはさほど差がないため, 免震部材の損傷評価を行う場合,Level2相当波形と 台風波形による評価を十分比較・検討することが望 ましい。

既往地震動 EL Centro NS 波の全累積損傷エネル ギーは、台風波形(Y 方向)の約 1/10, BCJ-L2の 全累積損傷エネルギーは、台風波形(Y 方向)の約 1/2 倍となっている。これより,通常の地震動に比べ て台風波形の全累積損傷エネルギーは大きいといえ る。長時間・長周期地震動と台風波形とを比べると, 長時間・長周期地震動の ave の全累積損傷エネルギ ーは,やや小さいかほぼ同等,+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全累積損傷エネルギーが大き くなり,長時間・長周期地震と同等以上となること もあるので免震部材の損傷評価については,長時 間・長周期地震動と同様に十分な注意が必要である。

3.1 節に示す試験結果と地震外乱および風外乱の 解析結果とを比較すると図 7(a)に示す通り,全累積 損傷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 の累積損傷は十分安全性を有 していることが確認できた。

## 5.まとめ

超高層免震建築物の地震および風外乱による損傷 評価に関して,累積損傷エネルギーによる評価を行 った結果以下となった。

・地震外乱に関して,長時間・長周期地震動による 全累積損傷エネルギーは,既往の地震動 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,損傷評価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全累積損 傷エネルギーは大きくなる。Level2 相当波形と台風 波形と比べると応答変位に大きな差異はなかったが, 全累積損傷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損傷評価を行う場合は Level2 相当波形と台風波形による評価を十分比較・ 検討することが望ましい。

・地震と風外乱を比較すると、既往の地震動 EL Centro NS 波や BCJ L-2 より風外乱の全累積損傷エ ネルギーは大きい。長時間・長周期地震と比べても 同等以上の結果であり、風外乱による累積損傷エネ 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 た全累積損傷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 の累積損傷は十分安全性を有していることが 確認できた。

-16-