

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2 累積吸収エネルギーに関する評価)
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 - Part2 The Evaluation on Cumulative Absorbed Energy -
著者(和文)	竹内貞光, 土橋健治, 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, Kenji Dobashi, 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, vol. B-2, , pp. 1013-1014
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1013-1014
発行日 / Pub. date	2017, 8
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2 累積吸収エネルギーに関する評価)

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

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

1. はじめに

その2では、ゴム体積あたりの累積吸収エネルギー(以下E/V)を用いた評価方法を述べ、検討を行う。

2. E/Vに基づく評価手順

解析で得られたE/Vと試験体を用いた正弦波加振試験結果を比較し、繰り返し耐久性や復元力特性の変化を評価する方法を以下に手順を示す。

① 正弦波加振試験

試験体を用いて風荷重や地震荷重を想定した正弦波加振試験により、E/Vと水平特性の変化や加振後の試験体の状態を確認する。

② 解析結果の正弦波置換

解析で得られたHDRの応答波形はランダム波形であることから、①で実施したHDRの試験体の結果と単純に比較できない。そこで、正弦波置換法¹⁾を用いて解析で得られた応答変位の波形を統計的に等価な正弦波に置き換える。変位波形の標準偏差 σ 、繰り返し回数 N 、継続時間 t_0 とすると置換周期 T_r 、置換振動数 f_r および置換振幅 A_r は、Table1の式(1)~(3)より算出される¹⁾。

Table.1 Comparison Details

Consideration Item	Calculation Formula	Condition
Duration Time	t_0	Analysis \leq Test
Frequency	$T_r = t_0/N$ (1)	
	$f_r = 1/T_r$ (2)	
Amplitude	$A_r = \sqrt{2} \times \sigma$ (3)	

得られた継続時間 t_0 、置換振動数 f_r 、および置換振幅 A_r と正弦波加振試験を比較した結果が、解析 \leq 試験であれば、正弦波加振試験は解析結果より繰り返し耐久性や復元力特性の変化に対して厳しい条件となっているため、比較は安全側の評価となる。

③ E/Vによる評価

E/Vの総量とE/Vの変化に対する水平特性の変化について実験結果と解析結果と比較を行う。E/Vが解析結果に対して実験結果が十分に上回っていれば耐久性に対して問題ないと言える。また、試験で得られたE/Vに対する等価剛性と1サイクルあたりの吸収エネルギーの変化と解析結果を比較することで、HDRの繰り返しによる影響を検討する。

3. 正弦波加振試験²⁾

Table.2に試験体形状を示す。試験体は、ゴム外径 ϕ 225mm、1次形状係数35.2、2次形状係数5.02である。Table.3に試験条件を示す。Test A, Bは風荷重を想定した試験で、加振条件は文献3)に記載の耐風安全性の評価において、Test Aはランクbまたはc、Test Bはランクcに相当する。ここで、ランクbは風荷重の変動成分が免震部材の降伏応力を超えない状態、ランクcは風荷重の変動成分が免震部材の降伏応力を超えている状態を示す。Test Cでは、地震荷重を想定した加振となっている。いずれの加振試験後も、試験体には損傷はなく、安全性は十分確認できている。

4. 解析結果と正弦波加振試験の比較検討

Table.4に時刻歴応答解析結果で得られた応答波形を正弦波置換法により等価な正弦波に置換した結果と正弦波加振実験の結果を示す。ここで、継続時間 t_0 は、地震外乱、台風波形については、E/Vの5%~95%の範囲の時間⁴⁾、Level2相当波形は後半の10分間とした。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。風外乱のLevel2相当波形の風向方向と台風波形は風外乱の平均成分の影響により変位波形がドリフトしているため、移動平均法により、平均成分を除いて、変動成分を抽出した。風外乱の平均成分の影響については今後の課題としたい。Table.4より、SZO024の振動数、Level2相当波形Y方向、台風波形の振幅で完全には満足していないところがあるが、解析結果はおおよそ試験結果の範囲内にあることから、本試験結果を用いて解析結果を評価することは妥当であると判断した。

5. E/Vによる評価

Fig.1にゴム体積あたりの累積吸収エネルギーと時間の変化を示す。図中、実験結果と解析結果を示しているが、実験結果と解析結果を比較する場合、解析結果に対して時間当たりのE/Vの変化の大きい実験結果と比較する。図中に示したOSKH02は、Test Cと、Level2 Y方向はTest B、台風Y方向はTest Aと比較する。E/Vの総量を比較するとOSKH02はTest Cの1/30程度、Level2 Y方向はTest Bの1/10程度、台風Y方向はTest Aの1/25程度と十分小さく耐久性は確保されているといえる。

Fig.1 a)には等価剛性の変化を、Fig.1 b)には1サイクルあたりE/Vの変化を実験結果にプロットし各点を直線結んだ。各

The Evaluation on Cumulative Absorbed Energy of High-Damping Rubber Bearings at both the Earthquake Response and the Wind Response applying to a Super High-Rise Seismic Isolated Building

-Part2 The Evaluation on Cumulative Absorbed Energy -

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

変化は、Test C の 3 サイクル目に相当する E/V 時の値を基準としている。Fig.2 において Test A のプロットはないのは 1 サイクルあたり E/V の変化がほとんどないことによる。このように各点を結ぶことで解析結果と比較することで解析結果を評価出来る。本解析結果では、いずれも等価剛性と 1 サイクルあたりの E/V の変化は-5%以下であり、繰り返しによる影響は小さい結果となった。

6. まとめ

ゴム体積あたりの累積吸収エネルギー(以下 E/V)を用いた評価手法を提案し、繰り返しによる影響の評価を行った結果、以下となった。

・解析で得られたランダム波形を正弦波置換法により等価な正弦波と置き換えて試験体による正弦波加振試験と比較した結果、振動数、継続時間、振幅が試験で確認を行った範囲をほぼ満足していることから、試験結果と比較することは妥当であることを確認した。

Table.2 Laminated Rubber Shape

Outside diameter [mm]	φ 225
Primary shape coefficient	S ₁ =35.2
Secondary shape coefficient	S ₂ =5.0
Rubber thickness [mm]	44.8

Table.3 Test Condition

	Test A	Test B	Test C
Compression Stress [MPa]	15	15	15
Shear Stress [MPa]	0.2±0.2	0.3±0.3	—
Shear Strain	(±0.16)	(±0.28)	±2.0
Period [s]	3.0	3.0	3.0
Frequency [1/S]	0.33	0.33	0.33
Total Time [s]	7200	7200	600

Table.4 Parameters of Replacement of sine wave

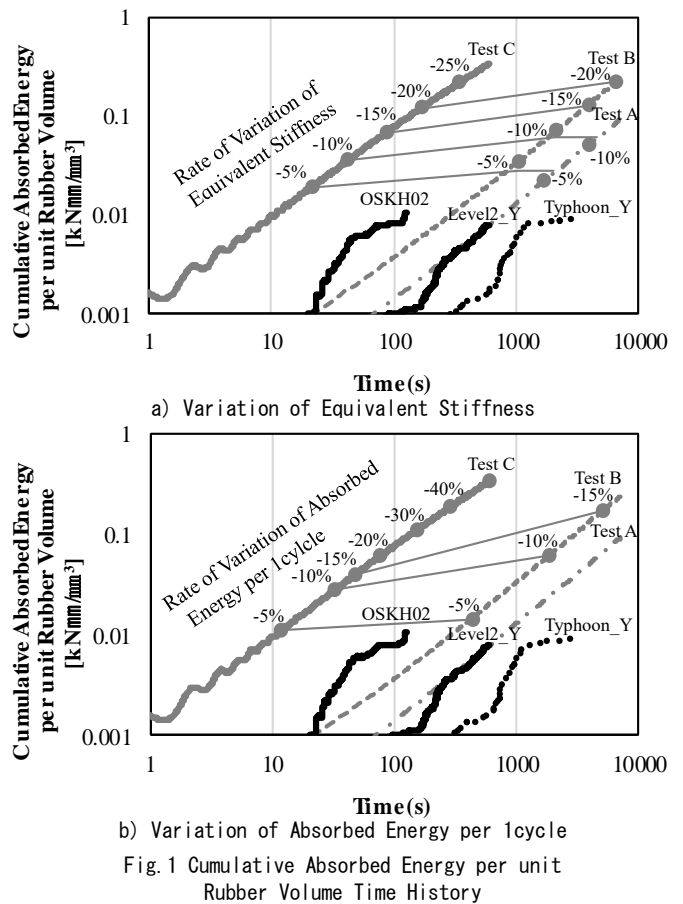
Excitation	Duration time t ₀ [s]	Replacement of Frequency [s]	Replacement of Amplitude A _r [m] (strain)	
KGIN	191.3	0.131	0.097 (0.389)	
SZO024	59.3	0.421	0.061 (0.243)	
AIC003	114.3	0.201	0.070 (0.279)	
OSKH02	127.2	0.149	0.179 (0.716)	
Level2	X	600.0	0.122	0.019 (0.077)
	Y	600.0	0.160	0.088 (0.352)
Typhoon	X	2529.8	0.179	0.090 (0.362)
	Y	2529.6	0.204	0.087 (0.347)

・E/V に対して地震外乱と風外乱の累積吸収エネルギーは正弦波加振試験と比較したところ、剛性や 1 サイクルあたりの吸収エネルギーは-5%以下であり応答に与える影響は小さいものであることが確認できた。また、解析結果の E/V は試験で確認した範囲内であり、耐久性について問題ないことが確認できた。

・今後、さらに実用化のために周期、振幅、繰り返し時間を変えた加振実験の充実やスケール効果の影響などを明らかにすることで精度の高い評価ができるようにしていきたい。

参考文献

- 1) 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
- 2) 「高減衰ゴム系積層ゴム(X0.6R タイプ)技術資料」, (株)ブリヂストン, 2017.1
- 3) 免震建築物の耐風設計指針, 日本免震構造協会, 2012. 9
- 4) 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



*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 ブリヂストン 理学博士
 *5 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)
 *6 東京工業大学未来産業技術研究所 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)
 *8 長谷工コーポレーション技術研究所 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.
 *4 Bridgestone co. Dr.Sci
 *5 Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.
 *6 Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Inst. of Technology, Dr.Eng.
 *7 Research Assoc., Kanagawa University, M. Eng.
 *8 Haseko Corporation, Technical Research Institute, M. Eng.