

地震を受けた免震U型ダンパーの残存疲労性能評価 その3 某庁舎に対する評価

正会員 ○ 川村 典久*1 同 小西 克尚*1
同 阪上 浩二*2 同 落合 徹*2
同 焦 瑜*3 同 山田 哲*4

免震構造 免震U型ダンパー 疲労損傷

1. はじめに

前報¹⁾に引き続き、東北地方太平洋沖地震を経験した庁舎を対象に免震U型ダンパーの残存疲労性能評価を実施した。本検討では前報の解析的手法、野書記録の分析および抜取試験に加え、文献2)で示されている形状変化による判定も試みた。結果をここに報告する。

2. 建物概要と地震時の野書記録

本建物は宮城県北部に立地するRC造3階建の庁舎である。免震層のシステムは鉛プラグ入り積層ゴム支承、弾性すべり支承（動摩擦係数 $\mu_d=0.01$ ）と、U45（図1）×4本タイプの免震U型ダンパー8台とで構成されており、野書板が設置されている。地震後に観察された野書記録の模写を図2に示す。南北方向に変位の主方向ならびに突出したピークが現れており、南側に400mmを超える最大変位が記録されている。野書板中心から半径約80mmの範囲には野書線が密集しており判別・模写が困難であった。

3. 形状変化による判定

文献2)では地震後のダンパー高さ H' と根本寸法 H との比を形状変化率と定義し（図3）、地震後の継続使用の一次判定管理値として形状変化率1.1を定めている。本建物のダンパー外観写真を写真1に示す。現地調査の結果、形状変化率の最大値は約1.2であり文献2)で定める二次判定が必要なレベルであった。

4. 解析的手法による推定

建物の立地する地域では震度6弱～7の強い揺れが観測された。表1に建物周辺に設置されている地震観測点と最大加速度を、図4に各観測記録の速度応答スペクトルを示す。このうち本検討では建物から最も近いJMA登米市中田町の観測記録を用いて時刻歴応答解析を行った。図5に応答解析による免震層上下の相対変位（オービット）を示す。解析結果・図2の野書記録共に水平2方向に回転が加わった軌跡を描いている。一方で最大変位や変位の主方向は解析結果と野書記録とでやや異なっている。これは建物と観測点との地盤特性の差異などによるものと考えられる。

解析結果からダンパー累積損傷値を評価する。前報¹⁾

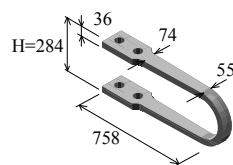


図1 U45の寸法

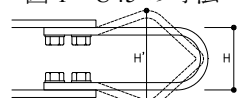


図3 形状変化率の定義



写真1 ダンパー外観

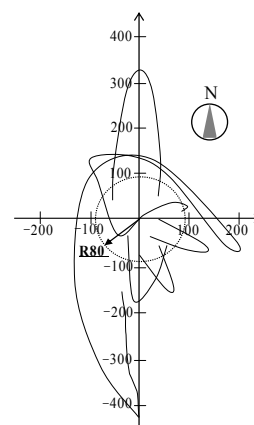


図2 野書記録

表1 観測点一覧

観測点	建物からの距離	震度(計測震度)	最大加速度[gal]	
			NS	EW
JMA登米市中田町	約4km	震度6弱(5.7)	346	425
MYG003(東和)	約10km	震度6弱(5.5)	570	781
MYG004(築館)	約16km	震度7(6.6)	2700	1268
MYG007(豊里)	約11km	震度6弱(5.8)	568	651

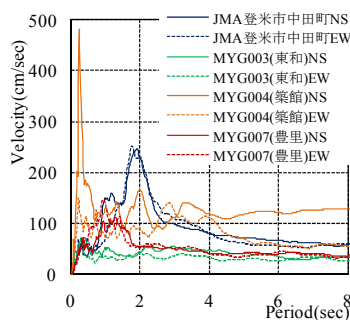


図4 速度応答スペクトル (h=5%)

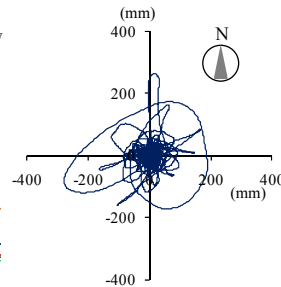


図5 オービット (解析結果)

の手法に倣い、変位オービットをNS方向とEW方向に投影し、レインフロー法により振幅の頻度分布をそれぞれ計数する。次いでダンパーの0°/90°方向それぞれに疲労曲線を用いて損傷値 D_{0° 、 D_{90° を算出したうえで合算して累積損傷値 D を求める。結果は0.094と

なった。また振れ影響指標 $J_f^{(4)}$ は 2.92 であった。

5. 罫書記録の分析による推定

前報¹⁾の [手法 2]によりダンパー累積損傷値の推定を行った。図 6 にピーク変位の抽出結果を、表 2 にダンパーの累積損傷値を示す。表中の P_i は $R=80\text{mm}$ 上の仮想点である。本手法による累積損傷値は 0.066 であった。

6. 抜取試験による推定

抜取対象のダンパー 2 台から、図 7 に示す試験体 4 体を用意した。罫書記録では南北方向に比較的大きな変形が記録されており、地震における変形の主方向（南北方向）と試験の荷重方向が合うように設定する。加振振幅は罫書記録による最大値とほぼ同等となる片振幅 450mm ($\delta_t=900\text{mm}/\gamma_t=317\%$)と、U45 の一般的なバイリニアモデルにおけるエネルギー吸収量と新品の試験結果とがほぼ等価となる片振幅 300mm ($\delta_t=600\text{mm}/\gamma_t=211\%$)の 2 レベルを設定し、正負交番繰返加力を行った。

図 8 に試験体 1,2 の荷重変形関係を、図 9 に試験体 2 の各回のエネルギー吸収量を示す。図 9 の点線はバイリニアモデルによるエネルギー吸収量を示している。ダンパーは破断直前まで安定した履歴ループを描き、エネルギー吸収量も大幅な低下は見られない。表 3 に各試験体が破断に至るまでの繰返し数を示す。また解析的手法より推定した本震での累積損傷に試験での損傷を累加した、2 方向特性を考慮した疲労損傷評価を図 10 に示す。試験結果と疲労性能曲線とで大きな差異は見られない。試験体 2,4 の試験結果が疲労性能曲線をやや下回っているが、これは実験値と疲労性能曲線とのばらつきや応答解析と実状との差異、余震による影響などに起因するものと思われる。

7. まとめ

非常に強い揺れを観測した地域に立地し、大きな変位を記録した建物を対象に、解析的手法や罫書記録の分析、抜取試験による免震 U 型ダンパーの残存疲労性能評価を実施し、継続使用に支障ないことを確認した。文献 2)の形状変化による判定では本建物は詳細検討対象となったが、詳細検討結果は継続使用の妥当性を示しており、今回のケースでは文献 2)の判定基準は安全側の判定を与える結果となった。

【参考文献】

- 小西他:地震を受けた免震U型ダンパーの残存疲労性能評価(その1~2), 日本建築学会学術講演梗概集(東海), B-2分冊, pp.347-350, 2012年9月
- 一般社団法人日本免震構造協会:免震建物の維持管理基準-2012-
- 吉川他:U型ダンパーの2方向特性に関する研究(その1~4), 日本建築学会学術講演梗概集(東海), B-2分冊, pp.339-346, 2012年9月
- 吉敷他:水平2方向荷重下における繰返し変形性能に関する実験—免震構造用U字形鋼材ダンパーの水平2方向特性—その1-, 日本建築学会構造系論文集 第77巻 第680号, 1579-1588, 2012年10月

表 2 累積損傷値

[罫書記録による]

	全振幅 [mm]	組合せ	γ_t [%]	D値	合計
NS(0°方向)	$1\delta_{0^\circ}$	P1-P10	263	0.036	$\Sigma D_{0^\circ}=0.058$
	$2\delta_{0^\circ}$	P3-P8	115	0.010	
	$3\delta_{0^\circ}$	P2-P9	106	0.009	
	$4\delta_{0^\circ}$	P5-P5'	45	0.002	
	$5\delta_{0^\circ}$	P4-P4'	26	0.001	
	$6\delta_{0^\circ}$	P6-P6'	20	-	
EW(90°方向)	$1\delta_{90^\circ}$	P6-P5	122	0.004	$\Sigma D_{90^\circ}=0.007$
	$2\delta_{90^\circ}$	P4-P8	83	0.002	
	$3\delta_{90^\circ}$	P7-P7'	59	0.001	
	$4\delta_{90^\circ}$	P3-P3'	31	0.000	
	$5\delta_{90^\circ}$	P9-P9'	8	-	
	$6\delta_{90^\circ}$	P10-P10'	6	-	
	$7\delta_{90^\circ}$	P2-P2'	4	0.007	
$D=(\Sigma D_{0^\circ}+\Sigma D_{90^\circ})=0.066$					

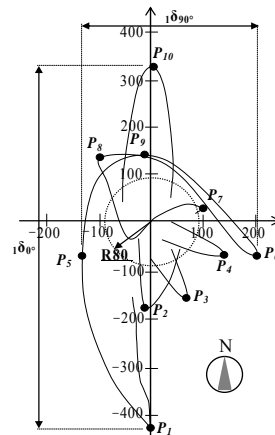


図 6 罫書記録 (ピーク値の抽出)

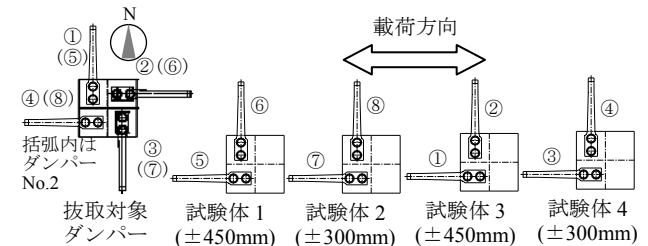


図 7 試験体

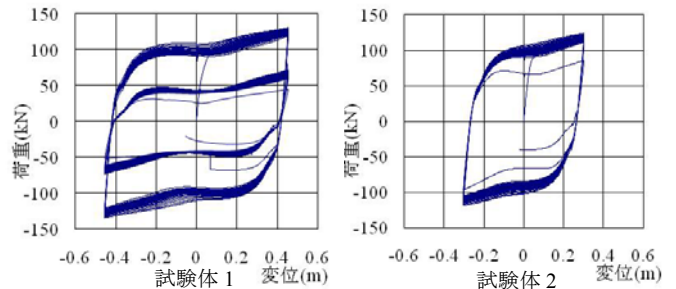


図 8 荷重-変形関係

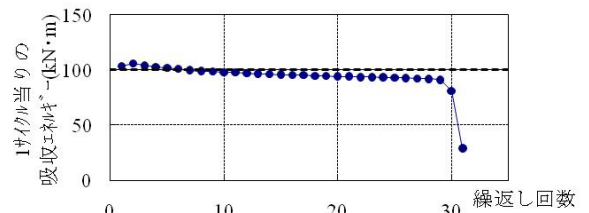


図 9 エネルギー吸収量の推移(試験体 2)

表 3 繰返し回数

試験体	ロッド No.	荷重方向	振幅 (mm)	せん断変形角 γ_t	破断までの繰返し回数
1	⑤	0°	±450	317%	19
	⑥	90°	±450	317%	59
2	⑦	0°	±300	211%	29
	⑧	90°	±300	211%	※
3	①	0°	±450	317%	20
	②	90°	±450	317%	31
4	③	0°	±300	211%	29
	④	90°	±300	211%	※

※:0°方向ダンパーロッド破断時で荷重を中止

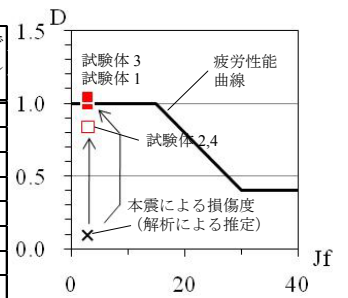


図 10 2 方向特性を考慮した疲労損傷評価

*1 新日鉄住金エンジニアリング(株)
 *2 榊山下設計
 *3 東京理科大学 助教 博士(工学)
 *4 東京工業大学 准教授 博士(工学)

Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd.
 Yamashita Sekkei Inc.
 Assistant.Prof., Tokyo University of Science, Dr.Eng.
 Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng