

台風シミュレーションを用いた免震ダンパーの風応答疲労損傷評価  
Wind-induced Cumulative Damage Evaluation for Isolated Building Damper using Typhoon Simulation

○佐藤 大樹・西嶋 一欽・吉敷 祥一

○Daiki SATO, Kazuyoshi NISHIJIMA, Shoichi KISHIKI

The number of the seismic isolated high-rise building has been gradually increasing in Japan. However, the research of cumulative damage of steel damper due to wind-induced response is not sufficient. In the high-rise seismic isolated building with the low natural frequency, the seismic isolation layer may become plasticity against the strong wind. Therefore, it is important to investigate the cumulative damage of steel damper under typhoon event in wind resistant design and the maintenance of the steel dampers. This paper presents the wind-induced cumulative damage evaluation for the isolated building dampers using typhoon simulation.

### 1. はじめに

最近では超高層建物にも免震構造が積極的に採用されるようになってきた。建物が高層化による風力の増大によって、免震層に設置された鋼材ダンパーの疲労損傷の評価が重要になってきている。

そこで本報では、超高層免震建物を想定した弾塑性解析モデルを作成し、台風シミュレーション結果を用いて、風応答時刻歴解析から風応答および台風全体での鋼材ダンパーの疲労損傷度（D 値）を評価する。

### 2. 解析モデルおよび風外力の概要

解析モデルは、超高層免震建物を対象とした高さ 100 m の 11 質点せん断型モデルとし、建物のアスペクト比に変化が及ばないように平面積を一定としたまま辺長比  $B/D=1, 2, 3$  となるモデルを 3 つ作成した<sup>1)</sup>。いずれのモデルにおいても上部構造の 1 次固有周期を 2.5 s とした。免震層は弾性のアイソレータ（免震周期 6.0 s）と完全弾塑性のダンパーでモデル化されている。ダンパーの降伏せん断力係数は 0.04 とした。

本報では文献 2) の結果のなかから、最大風速が東京での再現期間 500 年に相当し、最大風速付近の継続時間が短いものと長いもの（以下 S500, L500 と呼ぶ）を選定した。図 1 に各強風イベントの平均風速の時刻歴波形を示す。本解析では台風の発生から終了までの全時刻のなかで、頂部風速  $U_H$  が 10 m/s より大きくなった時刻から 10 m/s を下回った時刻までを一つの強風イベントと定義している。それぞれの強風イベントの継続時間は、S500 の場合で約 11 時間、L500 の場合で約 40 時間である。風洞実験<sup>3)</sup>より得られた風力データを、図 1 の平均風速の変化に一致するように変換して作成する<sup>1)</sup>。ただし、本報では風向は常に建物幅  $B$  に

対して正対するものとし、風向は変化させない。風向変化の影響については、別報にて報告する予定である。図 2(a), (b) に、風方向および風直交方向の風力時刻歴波形をそれぞれ示す。ここでは例として、 $B/D=1$  における L500 での頂部風力  $F_{10}$  を示す。図 2(a) の風方向風力は平均成分を有するのに対して、風直交方向風力は平均成分をもたない形状となっている。なお、 $B/D$  が大きくなるに従い風方向風力が増大し、逆に風直交方向風力は低下する傾向となることを確認している。

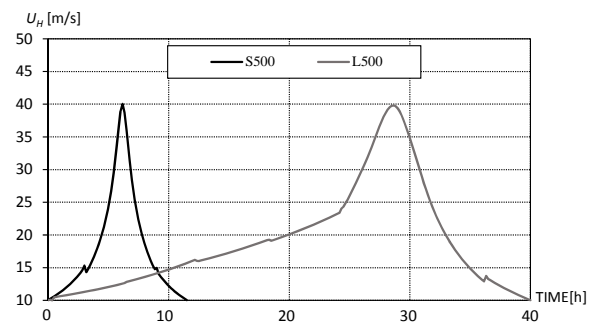


図1 平均風速の時刻歴波形

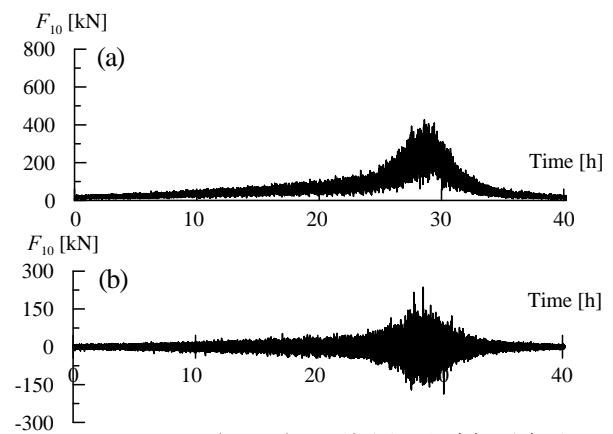


図2 L500 ( $B/D=1$ ) 頂部層風力時刻歴波形  
(a) X 方向（風方向）、(b) Y 方向（風直交方向）

### 3 風応答時刻歴応答解析結果

#### 3.1 風応答性状

図3, 4に, 免震層変形  $MF\delta$  の時刻歴波形および免震層のせん断力  $MFQ$ —変形  $MF\delta$  の履歴曲線を示す。ここでは例として  $B/D=1.0$  の結果を示す。図3より, 台風通過後の免震層変形に残留変形が生じていることがわかる。これは免震層の鋼製ダンパーが塑性化したためである(図4)。最大変形を比較すると風直交方向での応答が風方向に比べ大きな値となっている。なお, 紙幅の都合により,  $B/D=2, 3$  での結果を図示しないが,  $B/D$  が大きくなるに従い風方向風力が増大するため, 風方向の応答および残留変形は大きくなる。一方で風直交方向風力は低下するため応答は低減し, かつ弾性応答となったため残留変形は生じていないことを確認している。

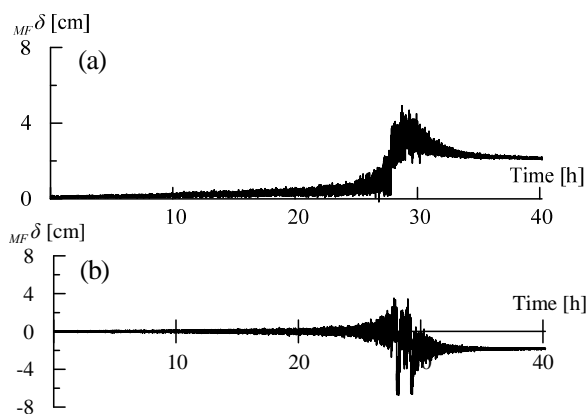


図3 L500 ( $B/D=1$ ) 免震層変位時刻歴波形  
(a) X方向(風方向), (b) Y方向(風直交方向)

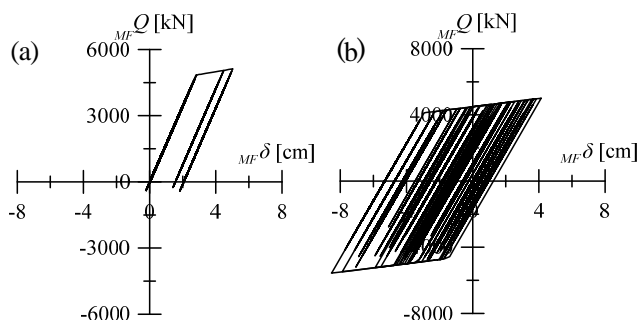


図4 L500( $B/D=1$ ) 免震層変形—荷重履歴  
(a) X方向(風方向), (b) Y方向(風直交方向)

#### 3.2 疲労損傷度評価

表1に風応答解析結果より得られた鋼材ダンパーの疲労損傷度  $D$  値を示す。ここで  $D_F$  は台風全体での  $D$  値,  $D'_{10Max}$  は, 最大風速が発生している10分間での  $D$  値を意味する。

はじめに, S500とL500での  $D_F$  の違いに着目する。S500での  $D_F$  (以下,  $s500D_F$ ) とL500での  $D_F$  (以下,

$L500D_F$ ) を比較すると,  $B/D=1$  において,  $s500D_F/L500D_F = 3.5$  (X方向), 3.8 (Y方向) である。 $B/D=2$  では  $s500D_F/L500D_F=2.9$  (X方向), 3.5 (Y方向),  $B/D=3$  では  $s500D_F/L500D_F=2.8$  (X方向), 5.0 (Y方向) となり,  $B/D$  によってバラツキが生じていることがわかる。

次に,  $D_F$  と  $D'_{10Max}$  を比較する。 $D'_{10Max}/D_F$  の値はいずれの  $B/D$  においてもL500がS500より大きな値となっていることが確認できる。これはL500の高風速の時間が長いためである。S500は高風速の継続時間が短いため, 最大風速10分間が全体の  $D$  値に締める割合は必然的に多くなる。先ほどと同様に,  $D'_{10Max}/D_F$  の値も  $B/D$  によってバラツキを有する。

表1 疲労損傷度

			$D_F$	$D'_{10Max}$	$D_F/D'_{10Max}$
$B/D=1$	S500	X	4.41E-04	3.14E-04	1.40
		Y	1.80E-02	8.25E-03	2.18
	L500	X	1.53E-03	2.92E-04	5.24
		Y	6.76E-02	7.30E-03	9.25
$B/D=2$	S500	X	5.30E-03	1.93E-03	2.75
		Y	3.24E-03	6.33E-04	5.12
	L500	X	1.55E-02	1.88E-03	8.27
		Y	1.12E-02	5.46E-04	20.56
$B/D=3$	S500	X	7.97E-03	3.97E-03	2.01
		Y	9.10E-05	2.35E-05	3.87
	L500	X	2.24E-02	3.96E-03	5.65
		Y	4.54E-04	2.45E-05	18.52

#### 4. まとめ

本報では, 超高層免震建物を想定した弾塑性解析モデルを作成し, 台風シミュレーション結果を用いて, 風応答時刻歴解析から台風全体での疲労損傷度を評価した。本報で得られた知見は限られた検討での結果であり, 今後は建物高さ, ダンパー量, 免震周期, 風向, 台風の継続時間など様々なパラメータによる影響を総合的に検討する必要がある。

#### 謝辞

本報を作成するに当たり, 京都大学大学院生の団栗直希君, 東京工業大学大学院生の馬橋聖生君に多大なる協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 馬橋聖生, 佐藤大樹: 風応答解析による超高層免震建物の免震ダンパーの疲労損傷評価—建物形状と風速レベルが疲労損傷度に与える影響—, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2018.3
- 団栗直希, 西嶋一欽: 確率台風モデルに基づくハザード適合最尤台風の決定方法, 平成29年度京都大学防災研究所研究講演発表会, B19, 2018.3
- 丸川比佐夫, 大熊武司, 北村春幸, 吉江慶祐, 鶴見俊雄, 佐藤大樹: 風洞実験に基づく高層建物の多層層風力によるエネルギー入力性状 (その2 矩形高層建築物に作用する層風力特性), 日本建築学会学術講演梗概集, B-1, pp.193-194, 2010.