

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風観測記録に基づく超高層免震建物の免震ダンパーの疲労損傷評価
Title	
著者(和文)	村上智一, 佐藤大樹, 田村哲郎, 普後良之, 吉江慶祐, 笠井和彦, 北村春幸
Authors	Tomokazu Murakami, Daiki Sato, TETSURO TAMURA, Yoshiyuki Fugo, Keisuke Yoshie, KAZUHIKO KASAI, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 483-484
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 483-484
発行日 / Pub. date	2015, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110010005091

風観測記録に基づく超高層免震建物の免震ダンパーの疲労損傷評価

風観測 超高層免震建物 免震ダンパー
疲労損傷評価

正会員 ○村上 智一* 同 佐藤 大樹*
同 田村 哲郎* 同 普後 良之**
同 吉江 慶祐*** 同 笠井 和彦*
同 北村 春幸****

1. はじめに

近年、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り、設計時や免震ダンパー交換時における風の疲労損傷評価が重要になっている。特に、建物が高層化すると地震力に対して相対的に風荷重が大きくなるのに加え、風外力は地震に比べ継続時間が長いといった特徴があるため、免震ダンパーの疲労損傷が危惧されている。しかし、風を対象とした免震建物の疲労損傷評価例数は地震に比べ少ない。

本報では東京工業大学すずかけ台キャンパス（神奈川県横浜市）J2 棟でこれまでの観測データの内比較的大きい応答を記録した台風時のデータ（2007 年 10 月 27 日台風 20 号¹⁾、T0720）を対象に、免震層変位より免震ダンパーの疲労損傷評価を行う。評価は、台風全体と最大変位発生時 10 分間についてそれぞれ行う。

2. 建物および観測概要

J2 棟（図 1）は、2005 年竣工、地上 20 階、塔屋 2 階、高さ 91.35 m の研究棟であり、搭状比 5、辺長比 3 の非常に扁平な形状の超高層免震建物である。免震層は天然ゴム系積層ゴム（NRB1100、NRB1200）計 16 基、鋼製ダンパー計 14 基、オイルダンパー 2 基から構成されている。そのうち NRB1100 は、鋼製ダンパーと一体型の積層ゴムとして用いられている（12 基、図 2 中■）²⁾。表 1 に鋼製ダンパー概要を示す。図 2 に免震層の概要を示す³⁾。免震層には、小地震や風応答時の免震層変位を計測できる小変形用（Small Story Drift）が X 方向（短辺）に 2 箇所、Y 方向（長辺）に 1 箇所設置されている。建物頂部の北側には三杯式風速計が設置されている。免震層の変位波形はほぼ無風と見なせる時刻での変位を全体から引くデータ処理を行い、初期値のオフセットを取り除いた。X 方向では、振れ中心が 2 つの変位計の中央にあることを確認しているため⁴⁾、両変位計の平均を用いることで振れ成分を除き、並進成分を算出している。

3. 風および免震層変位の観測記録

図 3 に T0720 接近時の風速と風向及び免震層変位の時刻歴波形を示す。図 4 に台風の経路を示す。図 5 に最大変位発生時 10 分間の免震層変位のオービットを示す。なお、図 5 の図内の矢印は風向を、数値は最大変位（絶対値）を示す。T0720 は、16 時 20 分に最大瞬間風速と最大変位を記録しており、この時間における風向きは建物の X 方向に正対しているため X 方向を風方向、Y 方向を風直行方向と定義する。最大変位（ $X=7.24\text{mm}$ 、 $Y=2.45\text{mm}$ ）は鋼製ダンパーの弾性範囲である 31.7mm 以下に収まっていることが分かる。なお、T0720 の風速の再現期間は 1 年未満と推定されている⁵⁾。

4. 免震ダンパーの疲労損傷の分析

4.1 疲労損傷度評価方法

本報では、X 方向および Y 方向それぞれの 1 方向の免震層

表 1 鋼製ダンパー概要

ダンパー基数			降伏変位 (mm)	降伏荷重 (kN)	ダンパー部 高さ h (mm)
一体型	別置型	計			
12	2	14	31.7	304	374

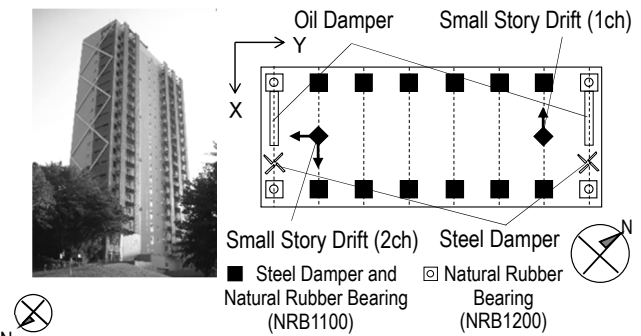


図 1 J2 棟の外観

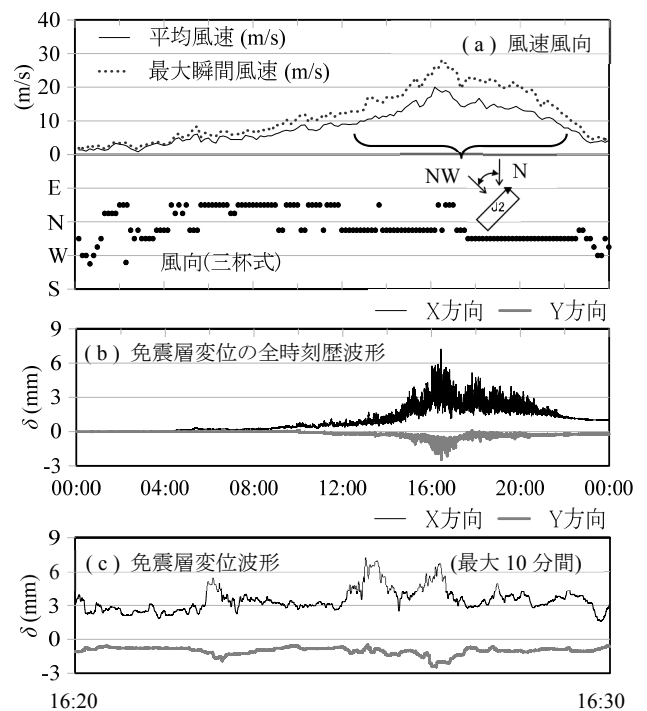
図 2 免震層の概要³⁾

図 3 風速風向と免震層変位の時刻歴波形

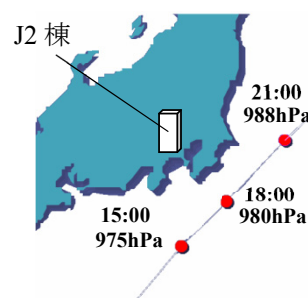


図 4 台風の経路

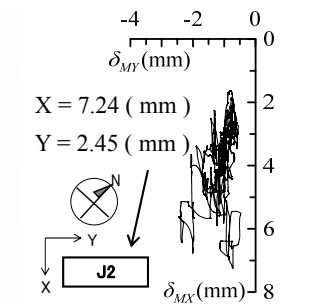


図 5 免震層変位オービット

変位を対象として疲労損傷評価を行う。疲労損傷度（D 値）は、免震層変位の時刻歴波形にレインフロー法⁶⁾で免震層全変位振幅 δ_i を抽出し、Miner 則を用いて算出する。

$$D = \sum D_i = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{N_f} \quad (1)$$

ここで、 D_i : δ_i の疲労損傷度

N_i : δ_i の等価繰返し回数

N_f : δ_i における破断回数（式(2a)）である。

N_f は免震層の平均せん断変形角 γ_i (%)との関係式である式(2a)により算出する。 γ_i は、全変位振幅 δ_i を鋼製ダンパー高さ h (表1)で除した式(2b)で表される⁷⁾。

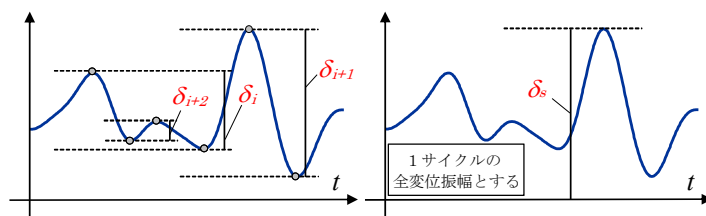
$$\gamma_i = 35 N_f^{-0.15} + 3620 N_f^{-0.80}, \quad \gamma_i = \frac{\delta_i}{h} \times 100 \quad (2a, b)$$

なお、変位計の分解能³⁾より、D 値の算出において、0.1 mm 以下の δ_i は無効と判断する。一方、最大変位発生時 10 分間の変位波形は初期値から平均値を有する(図 3(c))。本報では変動成分の D 値に平均成分の D 値を加えて、最大変位発生時 10 分間の D 値を評価する事とした。具体的には、最大変位発生時 10 分間の変位波形に対してレインフロー法により変動成分の全変位振幅 δ_i を算出し(図 7(a)) D 値を評価する($D(\delta_i)$)。さらに、平均変位を考慮した最大変位を 1 サイクルの全変位振幅 δ_s とし(図 7(b)) D 値を算出する($D(\delta_s)$)。

4. 2 免震ダンパーの疲労損傷度の分析

表 2 に台風全体および最大変位発生時 10 分間の免震ダンパーの D 値を示す。図 8 に台風全体と最大変位発生時 10 分間における D 値と全変位振幅の関係を示す。図 8 におけるプロットは算出した δ_i を 0.1mm 刻みの変位レンジに区分し、その区間の D_i を合計した結果を示している。なお、 $N_i=1$ は各変位レンジの δ_i が 1 サイクルでの値を表す。表 2 より T0720 の台風全体による D 値のオーダーは $10^{-8} \sim 10^{-10}$ と小さい値を示すが、これは本報で対象とした T0720 の風速の再現期間が 1 年未満と低いためである。

最大変位発生時 10 分間の D 値を基に算出した等価継続時間⁸⁾は X 方向で約 65 分、Y 方向で約 410 分と方向により大きな違いがある。最大変位発生時 10 分間の D 値において最大変位による $D(\delta_s)$ の割合は X 方向で約 82%、Y 方向で約 24%を占めている。これは図 8 より、X 方向においては $D(\delta_s)$ が卓越していることから明瞭であり、風方向においては平均変位の影響が大きいことが分かる。一方、風直交方向であるため、平均変位の影響が小さく、変動成分の影響が大きいことが分かる。



(a) Rainflow 法で全変位振幅を抽出

(b) 10 分間の最大変位を加える

図 7 10 分間の波形における平均変位の考慮

5. まとめ

超高層免震建物の免震ダンパーの疲労損傷評価を行った。T0720 の風速の再現期間は 1 年未満のため、D 値のオーダーは $10^{-8} \sim 10^{-10}$ と小さい値となった。T0720 の等価継続時間は方向で大きく違いがある。また、最大変位発生時 10 分間における風方向の D 値は平均成分の与える D 値の割合が大きいのので、平均成分の評価が重要になっている。今後は、さらに多くの観測記録を用いて検討を行っていく方針である。

謝辞

本研究で用いた J2 棟の変位観測データは、東京工業大学 GCOE プログラムから提供して頂いたものであります。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) ウェザーニュース: <http://weathernews.jp/typhoon/> (2014.2.22 参照)
- 2) 菊地岳志, 藤森智, 竹内徹, 和田章: メガブレースを用いた超高層免震鋼構造建築物の設計, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp.217-222, 2005.12
- 3) 大木洋司, 山下忠道, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章: 超高層免震建物の長期観測システム構築に関する具体的取り組み, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.73-77, 2005.6
- 4) 市原義孝, 佐藤大樹, 大木洋司, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章, 北村春幸: 観測記録に基づく超高層免震建物の応答特性に関する研究 その 2 風応答特性および振動数の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.311-312, 2008.9
- 5) 佐藤大樹, 鈴木勇人, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 超高層免震建物の観測記録に基づく風応答の分析, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, pp.251-256, 2012.12
- 6) 遠藤達雄, 安在弘幸: 簡明にされたレインフローアルゴリズム「P/V 差法」について, 材料, Vol.30, No.328, pp.89-93, 1981.1
- 7) 吉敷祥一, 大河原勇太, 山田哲, 和田章: 免震構造用 U 字形鋼材ダンパーの繰返し変形性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 73 巻, 第 624 号, pp.333-340, 2008.2
- 8) 松井正宏, 大熊武司, 田村幸雄: 耐風設計で考慮すべき強風イベントの等価継続時間, 日本風工学会年次研究発表会, pp.157-158, 2011.4

表 2 免震ダンパーの D 値

方向	D 値 (台風全体)	D 値 (10 分間)	$D(\delta_i)$	$D(\delta_s)$
X	3.29×10^{-8}	5.05×10^{-9}	9.00×10^{-10}	4.15×10^{-9}
Y	5.33×10^{-10}	1.30×10^{-11}	9.97×10^{-12}	3.03×10^{-12}

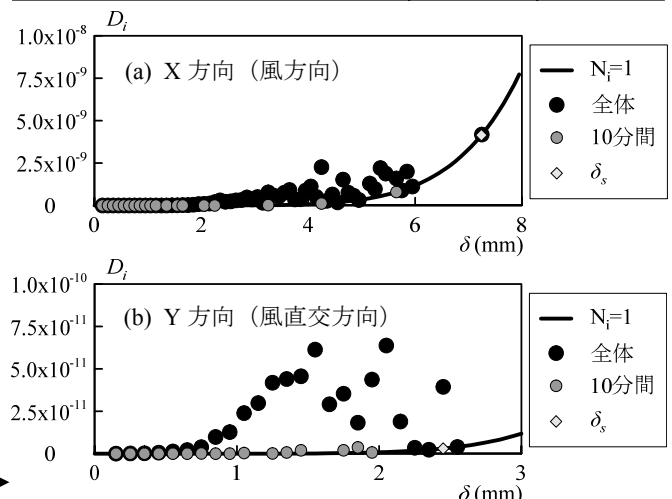


図 8 台風全体と最大変位発生時 10 分間における D 値と全変位振幅の関係

*東京工業大学

**風工学研究所

***日建設計

****東京理科大学

* Tokyo Institute of Technology

**Wind Engineering Institute

***Nikken Sekkei Ltd

****Tokyo University of Science