

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 台風シミュレーションを用いた風応答解析による免震ダンパーの疲労損傷度評価－風向変化が疲労損傷度に与える影響－                                                                                                               |
| Title(English)    | Evaluation of fatigue damage of seismic isolation damper by wind response analysis using typhoon simulation - Influence of wind direction change on fatigue damage - |
| 著者(和文)            | 馬橋聖生, 佐藤大樹                                                                                                                                                           |
| Authors(English)  | Sei Mabashi, Daiki Sato                                                                                                                                              |
| 出典(和文)            | 日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 1035-1036                                                                                                                                   |
| Citation(English) | Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 1035-1036                                                                                                   |
| 発行日 / Pub. date   | 2018, 9                                                                                                                                                              |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会                                                                                                                                                        |

台風シミュレーションを用いた風応答解析による免震ダンパーの疲労損傷度評価  
ー風向変化が疲労損傷度に与える影響ー

正会員 ○馬橋聖生\*<sup>1</sup> 同 佐藤大樹\*<sup>1</sup>

|            |       |         |
|------------|-------|---------|
| 免震構造       | 疲労損傷度 | 10 分間評価 |
| 台風シミュレーション | 風応答解析 | 風向変化    |

## 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。

本報では、文献 [1] において算出された台風シミュレーションの風速、風向変化を用いて風外力の時刻歴波形を作成し、風応答時刻歴応答解析により免震用鋼材ダンパーの疲労損傷度を評価する。本報では、風向を固定した際の最大平均風速時 10 分間の評価 (以下、10\_000, 10\_225, 10\_450)、風向を固定した際の強風イベント全時刻の評価 (以下、A\_000, A\_225, A\_450)、風向変化を与えた際の強風イベント全時刻の評価 (以下、M\_000, M\_225, M\_450) の 3 ケースにおける免震ダンパーの疲労損傷度について比較する。

## 2. 解析モデル概要

解析モデルは、超高層免震建物を対象とした高さ  $H=100$  m の 11 質点せん断型モデルとし、平面積  $A=400$  m<sup>2</sup>、辺長比  $B/D=1$ 、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し、ダンパーの降伏せん断力係数は 0.04 とした [2]。

## 3. 台風シミュレーションを用いた強風イベントの作成

本報では文献 [1] の結果の中から、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) をそれぞれ 5 つ選定した。以下に、本解析で設定した再現期間 500 年相当の風速  $U_{500}$  (地表面粗度区分 II, 地上高さ 10m) を示す。

$$U_{500} = 40.0 \text{ [m/s]}$$

なお、10 分間頂部平均風速  $U_H$  は式(2)より求めた。

$$U_H = U_{500} K_D K_S E_H \quad (1)$$

ここで、 $K_D$ : 風向係数 ( $K_D=1$ )、 $K_S$ : 季節係数 ( $K_S=1$ )

$E_H$ : 風速の鉛直分布係数 (地表面粗度区分 III に換算)

Fig. 1, 2 に各強風イベントの平均風速の時刻歴波形を示し、Fig. 3, 4 に風向変化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中で、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する。風洞実験 [3] より得られた風力データを、Fig. 1 の平均風速の変化に一致するように変換して入力風外力の時刻歴波形を作成する [2]。

式(1)より求めた最大 10 分間頂部平均風速  $U_{Hmax}$  を示す。

$$U_{Hmax} = 50.41 \text{ m/s}$$

本解析では、台風シミュレーションより算出された風向を、風洞実験 [3] が行なわれた角度に置換し風向の時刻歴波形を作成している。本報で定義する風向 0°とは建物幅  $B$  に対して正対する角度を表している。風向の置換方法は、台風シミュレーションより求めた風向を、22.5°刻みの角度に置換する。その際、それぞれの角度から正負 11.25°を支配域とし、支配域にある風向をその支配角度へ置換している。

ここで、本解析パラメータである 10\_\*\*\*とは、最大平均風速時 10 分間における風向をそれぞれ 0°, 22.5°, 45°となるように設定した場合、A\_\*\*\*とは、強風イベント全時刻において一定とし、それぞれ 0°, 22.5°, 45°となるように設定した場合、M\_000, M\_225, M\_450 とは、置換後の台風シミュレーションの風向変化 (Fig.3, 4) において、最大平均風速時の風向がそれぞれ 0°, 22.5°, 45°となるように設定した場合を表す。

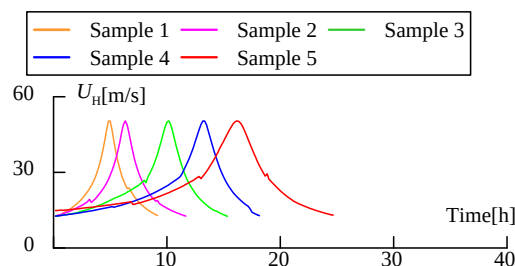


Fig.1 Wind speed time history of S500

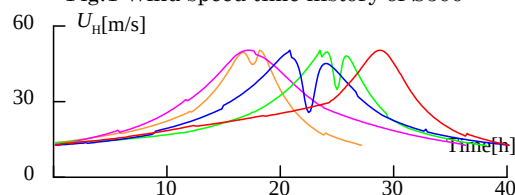


Fig.2 Wind speed time history of L500

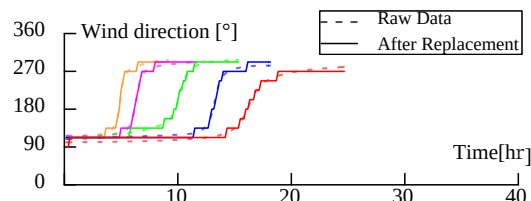


Fig.3 Wind direction time history of S500

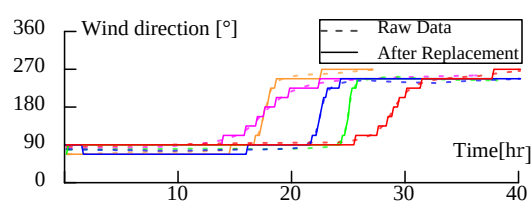


Fig.4 Wind direction time history of L500

\*<sup>1</sup> 東京工業大学

\*<sup>1</sup> Tokyo Institute of Technology

#### 4. 風応答解析結果

##### 4.1 風向を一定とした場合の疲労損傷度評価

Table.1 に全時刻における疲労損傷度  $D_F$  を示し、Table.2 に 10 分間における疲労損傷度に対する強風イベント全時刻における疲労損傷度の倍率を示す。

Table.1  $D_F$  of A\_000, 225, 450

|      |          | A_000        | A_225 | A_450 |
|------|----------|--------------|-------|-------|
| S500 | Sample 1 | <b>0.163</b> | 0.023 | 0.010 |
|      | Sample 2 | <b>0.199</b> | 0.025 | 0.015 |
|      | Sample 3 | <b>0.247</b> | 0.034 | 0.015 |
|      | Sample 4 | <b>0.252</b> | 0.040 | 0.022 |
|      | Sample 5 | <b>0.408</b> | 0.054 | 0.025 |
| L500 | Sample 1 | <b>0.646</b> | 0.088 | 0.039 |
|      | Sample 2 | <b>0.931</b> | 0.137 | 0.060 |
|      | Sample 3 | <b>0.671</b> | 0.091 | 0.033 |
|      | Sample 4 | <b>0.634</b> | 0.072 | 0.029 |
|      | Sample 5 | <b>0.638</b> | 0.090 | 0.040 |

Table.2 Value of A\_\*\*\* divided by 10\_\*\*\*

|      |          | A_000 / 10_000 | A_225 / 10_225 | A_450 / 10_450 |
|------|----------|----------------|----------------|----------------|
| S500 | Sample 1 | <b>3.9</b>     | 2.7            | 2.9            |
|      | Sample 2 | <b>4.7</b>     | 3.0            | 4.2            |
|      | Sample 3 | <b>5.9</b>     | 4.0            | 4.2            |
|      | Sample 4 | <b>6.0</b>     | 4.6            | 6.3            |
|      | Sample 5 | <b>9.7</b>     | 6.4            | 7.3            |
| L500 | Sample 1 | <b>15.4</b>    | 10.3           | 11.0           |
|      | Sample 2 | <b>22.1</b>    | 16.1           | 17.2           |
|      | Sample 3 | <b>16.0</b>    | 10.6           | 9.4            |
|      | Sample 4 | <b>15.1</b>    | 8.5            | 8.3            |
|      | Sample 5 | <b>15.2</b>    | 10.6           | 11.6           |

Table.1 より、強風イベント全時刻において風向を一定とした場合、強風イベントの継続時間の大小に関わらず A\_000 が最大値を示すことが確認できる。紙幅の都合により、最大平均風速時 10 分間における疲労損傷度を示していないが、その場合においても風向を  $0^\circ$  とした場合が最大値を示した。Table.2 より、10 分間における疲労損傷度に対し強風イベント全体における疲労損傷度は、S500 で 1.4 ~ 9.7 倍、L500 で 8.3 ~ 22.1 倍程度となった。また、各風向で比較すると風向を  $0^\circ$  とした場合の倍率が他の角度に比べ大きいことが確認できる。

これより、累積的な影響が発生する疲労損傷度の場合、強風イベントの継続時間と想定する風向に応じて最大風速時 10 分間の疲労損傷と強風イベント全体における疲労損傷度との倍率の差に開きがある事を考慮する必要がある。

##### 4.2 風向変化を与えた場合の疲労損傷度評価

Table.3 に風向を時々刻々と変化させた場合の強風イベントにおける免震ダンパーの疲労損傷度を示す。

Table.3 より、前節に示した風向を固定した場合とは異なり、免震ダンパーの疲労損傷度が最大値を示す場合にばらつきがあることが確認できる。前節 (Table.1) では、全ての場合で最小値を示した、最大平均風速時の風向が  $45^\circ$  となる場合でも本節の結果では最大値を示している場合がある。これは、強風イベントの最大平均風速時の風向が  $45^\circ$  であっても、その他の

時刻において占められる風向が  $0^\circ$  や  $22.5^\circ$  など、免震ダンパーにとって疲労損傷度が増大しやすい状況下に置かれる時刻が長いことが原因と考えられる。また、免震層最大変位や疲労損傷度の標準偏差から、結果にばらつきが確認できるため、アンサンブル値を考慮するとこの結果に変化が出ることが考えられる。

Table.3  $D_F$  of M\_000, 225, 450

|      |          | M_000        | M_225        | M_450        |
|------|----------|--------------|--------------|--------------|
| S500 | Sample 1 | 0.061        | 0.018        | <b>0.068</b> |
|      | Sample 2 | 0.066        | <b>0.070</b> | 0.059        |
|      | Sample 3 | <b>0.106</b> | 0.053        | 0.088        |
|      | Sample 4 | <b>0.098</b> | 0.087        | 0.095        |
|      | Sample 5 | 0.094        | <b>0.161</b> | 0.152        |
| L500 | Sample 1 | 0.196        | 0.206        | <b>0.289</b> |
|      | Sample 2 | 0.240        | <b>0.356</b> | 0.286        |
|      | Sample 3 | <b>0.444</b> | 0.237        | 0.444        |
|      | Sample 4 | <b>0.444</b> | 0.162        | 0.444        |
|      | Sample 5 | 0.179        | <b>0.266</b> | 0.177        |

#### 5. まとめ

本報では、台風シミュレーションを基に強風イベントを作成し、免震ダンパーの疲労損傷度評価を行なった。

本解析より得られた知見として、実台風を想定し、風速、風向を変化させた場合、想定した強風イベントにおける最大平均風速時 10 分間での免震ダンパーの疲労損傷度を考慮しただけでは、強風イベント全体での疲労損傷度は予測できず、風向を一定とした場合においても最大平均風速時の疲労損傷度の何倍程度かを考慮するべきであるかは強風イベントの継続時間や設定風向に依存することが分かった。

今回の解析内容は、各サンプルにおいて 1 波ずつ作成された入力外力を用いた解析結果であるため、今後の検討では複数の波形におけるアンサンブル値を求め、風向が時刻とともに変化する場合における免震ダンパーの疲労損傷度に一定の傾向が示されるかを把握し、疲労損傷度を簡易かつ安全側に評価できる手法を検討する必要があると考えられる。

謝辞

本報を作成するに当たり、日建設計株式会社、泉創建エンジニアリング、神奈川大学、東京工業大学佐藤研究室による新耐風設計法研究会の皆様、京都大学大学院生の団栗直希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

- 1) 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
- 2) 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ー建物形状と風速レベルが疲労損傷度に与える影響ー, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2018.3
- 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.