

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	超高層制振建物の風応答時における履歴型ダンパーの疲労損傷評価 地震応答時との累積疲労損傷度の比較検討
Title(English)	Evaluation of Fatigue Damage of Hysteretic Dampers on Wind Response in Super High-Rise Building Comparison of Cumulative Fatigue Damage with Seismic Response
著者(和文)	宮本滉大, 佐藤大樹, 陳引力, 田中英之, 曾根孝行, 今野大輔, 渡井一樹
Authors(English)	Kodai Miyamoto, Daiki Sato, Yinli Chen, Hideyuki Tanaka, Takayuki Sone, Daisuke Konno, Kazuki Watai
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 633-634
Citation(English)	, 構造II, , pp. 633-634
発行日 / Pub. date	2025, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 超高層制振建物の風応答時における履歴型ダンパーの疲労損傷評価 地震応答時との累積疲労損傷度の比較検討

超高層建物 制振構造 耐風設計  
時刻歴応答解析 履歴型ダンパー 疲労損傷

正会員 ○宮本 滉大\*1 正会員 佐藤 大樹\*2  
同 陳 引力\*3 同 田中 英之\*4  
同 曾根 孝行\*4 同 今野 大輔\*4  
同 渡井 一樹\*4

### 1 はじめに

地震時における超高層建物の損傷制御や応答制御を目的として、建物に履歴型ダンパーなどの制振部材を付加する制振構造は広く普及している<sup>1)</sup>。履歴型ダンパーを付加する場合、低降伏点鋼材などを用いて、できる限り小さな荷重で早期にダンパーを塑性化させることで、高いエネルギー吸収効果が期待できる。ただし、超高層建物に履歴型ダンパーを付加した制振構造を設計する場合、長周期・長時間地震動、さらには台風などに伴う強風によって発生する多数の繰返し変形によるダンパーの累積疲労損傷を評価する必要がある。

そこで、本報では履歴型ダンパーを有する超高層制振建物を対象に、累積疲労損傷度 ( $D$  値) を評価指標として、風応答時のダンパーの疲労損傷評価を行う。また、風応答時および地震応答時の  $D$  値の比較を行う。

### 2 解析概要

#### 2.1 建物概要およびダンパー概要

本報では、文献 2) と同様の地上 45 階建ての超高層制振建物の立体モデルを用いる。本モデルの立面図を図 1 (図中、青丸は層風力入力点) に、平面図を図 2 に、建物諸元を表 1 に示す。本検討ではフレームを弾性とし、構造減衰はフレームに対して 1% の剛性比例型とする。

履歴型ダンパーである座屈拘束ブレースは文献 2) および 3) と同様の方法でモデル化を行う。建物高さ方向のダンパー配置を図 1 に、平面配置位置は図 2 に示す。

本報では、文献 2) で示した最適ダンパー量 ( $\alpha_{dy1} = 0.020$ ) を付加した制振モデル (以降、D-Model) の検討を行う。なお、最適ダンパー量  $\alpha_{dy1}$  は次式で示される。

$$\alpha_{dy1} = Q_{dy1} / \sum_{i=1}^N m_i g = 0.020 \quad (1)$$

ここで、 $Q_{dy1}$ : 第 1 層のダンパーの降伏層せん断力、 $N$ : 層数、 $m_i$ :  $i$  層の質量、 $g$ : 重力加速度である。

#### 2.2 風力の概要

本報では、建物短辺側からの風向きを想定した風方向、風直交方向、ねじれ方向の 3 方向同時入力 (図 2) とする。CFD で得られた 60 層分の風力<sup>4)</sup>を建物モデルの高さ、基準風速  $U_0 = 36 \text{ m/s}$  での風力へと変換を行った。再現期間は 500 年 (設計風速  $U_H = 56.8 \text{ m/s}$ ) とする。その後、負担面積に応じた補間により、45 層分の各層の床位置に作用する層風力へと変換した。3 方向の風力を 1 組として 45 層分の時刻歴データを 0.05 秒刻みの 700 秒とし、5 組を取り出した。本報では過渡応答の影

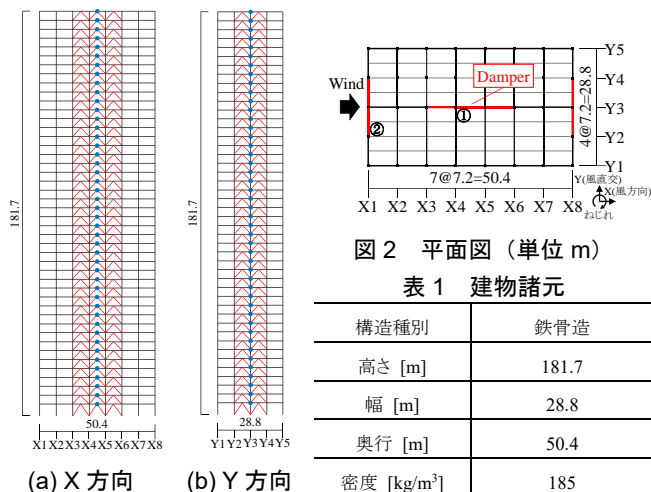


図 1 立面図 (単位 m)

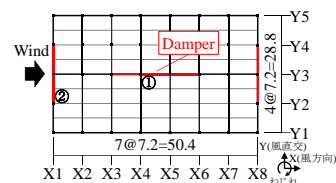


図 2 平面図 (単位 m)

表 1 建物諸元

構造種別	鉄骨造
高さ [m]	181.7
幅 [m]	28.8
奥行 [m]	50.4
密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	185
固有周期 [s]	X:4.67, Y:5.21

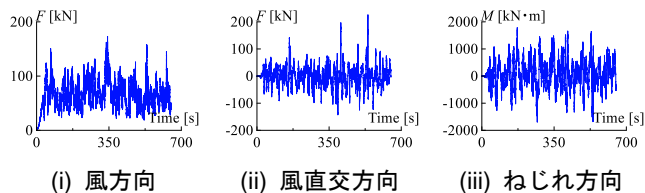


図 3 層風力の時刻歴波形

響を避けるため、各波形の前半に 50 秒のエンベロープを設け、50 ~ 650 秒の 600 秒で応答を評価する。図 3 に例として 45 層目の層風力の時刻歴波形を示す。

### 3 時刻歴応答解析による建物応答

#### 3.1 最大層間変形角と降伏変形角の比較

図 4(a), (b) に D-Model の風方向 (X 方向) および風直交方向 (Y 方向) の  $i$  層層間変形角  $R_{i,max}$  の最大値を示す。なお本報では、5 波のアンサンブル平均で応答を評価しており、図 4 には 5 波の平均値と標準偏差を示している。また、比較のために  $i$  層ダンパーの降伏変形角  $R_{dyi}$  の高さ方向分布を示す。なお、 $R_{dyi}$  は  $A_i$  分布に基づく静的荷重作用時の静的増分解析により得られた値を用いる<sup>2)</sup>。図 4(a) より風方向に着目すると、低層部でダンパーの降伏が確認できるものの、その程度は小さく、塑性率は最大で 1.6 程度であることから、建物およびダンパーに生じる変形は限りなく小さいといえる。一方で、図 4(b) より風直交方向に着目すると、 $R_{i,max}$  は風方向に比べて 2.5 ~ 4.5 倍程度大きく、塑性率は最大で 4.0 程度となり、低層 ~ 中層部においてダンパーの降伏が確認できる。

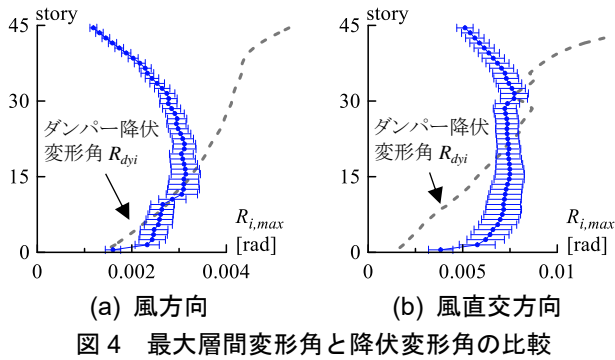


図4 最大層間変形角と降伏変形角の比較

### 3.2 累積損傷度高さ方向分布

本節では、時刻歴応答解析によって得られた各層ダンパー塑性化部の歪の時刻歴から、レインフロー法<sup>5)</sup>を用いて歪の振幅とその繰返し回数を出力し、疲労性能曲線(以降、 $S-N$ 曲線)<sup>6)</sup>およびマイナー則(式(2))を用いて累積疲労損傷度(以降、 $D$ 値)を算出する。なお、本検討では、 $S-N$ 曲線の疲労限度はないものと仮定する。

$$D = \sum D^{(k)} = \sum \frac{n^{(k)}}{N_d^{(k)}} \quad (2)$$

ここで、 $D^{(k)}$ : $k$ 番目の振幅での損傷度、 $n^{(k)}$ : $k$ 番目の振幅での繰返し回数 [回]、 $N_d^{(k)}$ :破断までの繰返し回数 [回]である。

図5に上記手順により算出した各層ダンパーの $D$ 値の高さ方向分布を示す。なお本報では、図2に示す風方向および風直交方向のダンパーそれぞれの中で、最も $D$ 値が大きくなる傾向があるダンパー①(風方向)およびダンパー②(風直交方向)の結果を示す。図5(a)より風方向(ダンパー①)に着目すると、各層ダンパーの $D$ 値は限りなく0に近く、風方向風力のダンパー疲労損傷への影響は限りなく小さいといえる。一方で、図5(b)より風直交方向(ダンパー②)に着目すると、各層ダンパーの $D$ 値は第2層で最大0.05程度となり、風方向風力に比べて風直交方向風力のダンパー疲労損傷への影響は大きいことが確認できる。

### 3.3 地震応答時<sup>6)</sup>と風応答時の $D$ 値の比較

図6に風直交方向(Y方向)に設置したダンパーの $D$ 値の最大値(0.05)と文献6)において検討対象とした告示波であるART HACHI(位相特性:Hachinohe 1968 NS<sup>7)</sup>)および基整促波であるOS1<sup>8)</sup>入力時(Y方向)の $D$ 値の最大値の比較を示す。なお、風応答時のダンパーの全歪振幅は最大で0.014程度、ART HACHI入力時は最大で0.015程度と同程度となった。OS1入力時は最大で0.026程度である。ART HACHI入力時の $D$ 値は最大で0.017程度であり、これに対して風応答時の $D$ 値は3倍程度大きくなる事が確認できる。これは、風応答時にはART HACHI入力時に比べて、最大値に近い歪振幅の繰返し回数が多くなったことが要因として挙げられる。一方で、OS1入力時の $D$ 値は最大で0.19程度であり、これに対して風応答時の $D$ 値は1/4程度小さくなった。風応答時の $D$ 値は10分

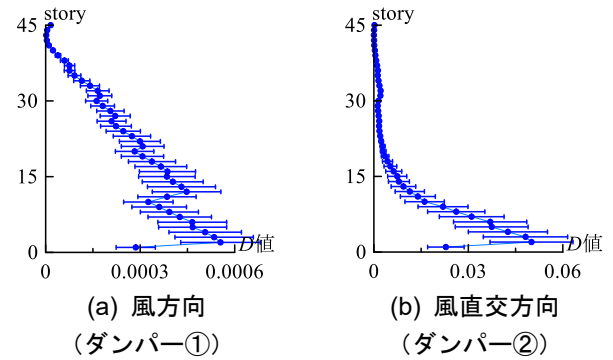


図5  $D$ 値の高さ方向分布

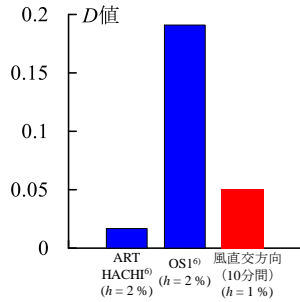


図6 風応答時と地震応答時の $D$ 値の比較

間の応答であることからOS1入力時の $D$ 値は風応答40分程度に相当するといえる。よって、台風などでは強風が数時間に及ぶ可能性があることを踏まえると、風応答によるダンパーの疲労損傷に注意する必要があると考える。

## 4 まとめ

本報では、累積疲労損傷度( $D$ 値)を評価指標として、風応答時のダンパーの疲労損傷評価を行った。また、地震応答時の $D$ 値との比較を行い、風応答時の継続時間が数時間に及ぶことを踏まえると、風応答によるダンパーの疲労損傷に注意する必要性が示唆された。

### 参考文献

- 1) 日本免振構造協会:バツシブ制振構造設計・施工マニュアル, 第4版, 2024.6
- 2) 宮本滉大, 佐藤大樹, 陳引力, 田中英之, 曾根孝行, 今野大輔, 渡井一樹:鋼材ダンパーを有する超高層制振建物の地震応答評価 その1 ダンパー量および入力波の違いによる応答値の比較検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.397-400, 2025.03
- 3) 戸張涼太ら:骨組特性値を用いた履歴型ダンパーを有する建物の制振性能評価, 構造工学論文集, Vol.59B, pp.321-327, 2013.3
- 4) 沖村将大, 佐藤大樹, 田中英之, 曾根孝行, 渡井一樹, 畔上泰彦, 今野大輔:CFDの風力による時刻歴応答解析を用いた超高層建物の応答評価, 日本建築学会技術報告集, 第30巻, 第76号, pp.1205-1210, 2024.10
- 5) 遠藤達雄, 松石正典, 光永公一, 小松角一, 高橋清文:「Rain Flow Method」の提案とその応用, 九州工業大学研究報告(工学), No.28, pp33-62, 1974.3
- 6) 宮本滉大, 佐藤大樹, 陳引力, 田中英之, 曾根孝行, 今野大輔, 渡井一樹:鋼材ダンパーを有する超高層制振建物の地震応答評価 その2 レインフロー法を用いた鋼材ダンパーの疲労損傷評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.401-404, 2025.03
- 7) 翠川三郎, 三浦弘之:1968年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化, 日本地震工学学会論文集, 第10巻, 第2号, pp.12-21, 2010
- 8) 国立研究開発法人 建築研究所:長周期地震動対策に関する技術資料・データ公開特設ページ <<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/lpe/index.html>> (参照2016-12-19)

\*1 東京科学大学 環境社会理工学院 大学院生  
 \*2 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士(工学)  
 \*3 東京科学大学 総合研究院 助教・博士(学術)  
 \*4 株式会社竹中工務店 技術研究所

\*1 Graduated Student, Institute of Science Tokyo  
 \*2 Associate Prof., IIR, Institute of Science Tokyo, Dr.Eng.  
 \*3 Assistant Prof., IIR, Institute of Science Tokyo, Ph.D.  
 \*4 Research & Development Institute, Takenaka Corporation