

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	風応答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 その1 免震層変位波形および疲労損傷度の分析
Title(English)	Fatigue Damage Evaluation of Steel Damper of the High-Rise Seismic Isolated Building based on Wind-induced Response Observation Data Part1 Analysis of Displacement Wave and Fatigue Damage Evaluation
著者(和文)	吉江慶祐, 村上智一, 佐藤大樹, 田村哲郎, 普後良之, 佐藤利昭, 北村春幸, 笠井和彦
Authors(English)	Keisuke Yoshie, Tomokazu Murakami, Daiki Sato, TETSURO TAMURA, Yoshiyuki Fugo, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura, KAZUHIKO KASAI
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-1, , pp. 269-270
Citation(English)	, vol. B-1, , pp. 269-270
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

風応答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

その1 免震層変位波形および疲労損傷度の分析

風応答観測 超高層免震建物 免震ダンパー  
平均成分 疲労損傷評価

正会員 ○吉江 慶祐\*2 同 村上 智一\*1  
同 佐藤 大樹\*1 同 田村 哲郎\*1  
同 普後 良之\*3 同 佐藤 利昭\*4  
同 北村 春幸\*5 同 笠井 和彦\*1

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ってきた。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、風荷重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の評価が重要になってきている。現行の日本の耐風設計は、原則として構造物の弾性範囲に対する設計となっており、構造物の風応答時の最大荷重効果(各部の変形や応力)を評価して行われている。この時、風速の変動を平均化時間10分とした統計データをもとにしているため、耐風設計もこれに従って評価時間10分間として構築されている。しかし、疲労損傷等の累積的な荷重効果を考える場合には、当然ながら風の作用時間や10分を超える変動に関する情報が必要になる。1台風の風速変動を考慮した疲労評価は吉田らの研究があり、建物の供用期間中の風応答による疲労評価は、評価期間中の風速別累積作用時間を確率統計的方法と台風シミュレーションを組合せて評価し、各風速に対する単位時間当たりの疲労損傷との積により行われている<sup>2)</sup>。いわば、平均化時間10分での応答を評価して、それらの累積によって疲労損傷を評価する方法であり、建物の供用期間中の累積疲労損傷の評価には実用的な方法であるが、強風や台風の1イベント中の経時変化と10分間での疲労損傷の対応を確認する必要がある。この点について、比較検討した例は殆ど無く、特に観測記録を用いた検討は皆無であるといえる。

そこで本報では、実観測記録に基づき検討を行い、10分間毎に分割した免震層変位の時刻歴波形を用いて、平均成分を有する強風イベント全体における免震ダンパーの疲労損傷評価が出来る手法を提案する。その1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(以後、J2棟)で観測された5つの強風イベント<sup>4)</sup>を対象として、強風イベント全体の疲労損傷度と10分毎のデータの疲労損傷度の合計を比較する。

2. 建物および観測概要

J2棟(図1)では複数層における応答加速度、免震層変位および建物頂部北側の風向風速が常時観測されている。J2棟は、2005年竣工、地上20階、塔屋2階、高さ91.35mの総合研究棟であり、搭状比約5.3、辺長比3の非常に扁平な形状の超高層免震建物である<sup>6)</sup>。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<sup>7)</sup>。免震層は天然ゴム系積層ゴム支承(NRB1100, NRB1200)計16基、U型鋼製ダンパー計14基、オイルダンパー2基から構成されている。免震層には、小変

形用(±100mmレンジ)の変位計が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。X方向では、捩れ中心が2つの変位計の中央にあることを確認しているため<sup>8)</sup>、両変位計の平均を用いることで捩れ成分を除き、並進成分を算出している。建物頂部の北側には三杯式風速計、矢羽根式風向計が設置されている。風速データは3秒ごとに平均し、瞬間風速として記録される。風向は正16方位で記録される。本報では、caseA~caseEの5つの強風イベントに対して検討を行なう<sup>4)</sup>。本報では、観測記録より頂部風速5m/s以下を免震層が変位しない微風と判断し、風速5m/sから再び風速が5m/s以下になるまでを1つの強風イベントとして疲労損傷評価の対象時間としている。なお、免震層の時刻歴波形は各強風イベントの開始直前の10分間の平均値を初期値のずれとしてゼロ点補正(オフセット)を行っている。図3に強風イベントの一例としてcaseD(2007年10月27日、台風20号)における風速風向を示す。なお、風向は10分間毎の最多風向を示している。

3. 疲労損傷度算出方法

本報では、X方向およびY方向それぞれに対して損傷評価を行う。疲労損傷度(D値)は、Rainflow法<sup>9,10)</sup>より算出した免震層変位の全振幅 $\delta_k$ 毎に、Miner則を用いて算出する。

$$D = \sum D_k = \sum_{k=1}^{np} \frac{N_k}{N_{f(\delta_k)}} \quad (1)$$

ここで、 $D_k$ : 全振幅 $\delta_k$ の疲労損傷度、 $np$ : 全振幅 $\delta_k$ の総数  
 $N_k$ : 全振幅 $\delta_k$ のサイクル数(1または1/2サイクル)  
 $N_{f(\delta_k)}$ :  $\delta_k$ における破断回数(式(6))である。

鋼材ダンパーの疲労性能を評価する疲労曲線として、Manson-Coffin式を適用する。破断回数 $N_f$ は免震層の平均せん断変形角

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  
(北西より望む)

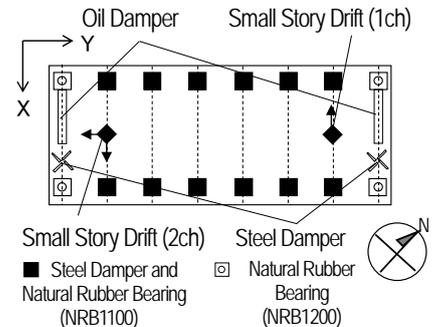


図2 免震層の概要

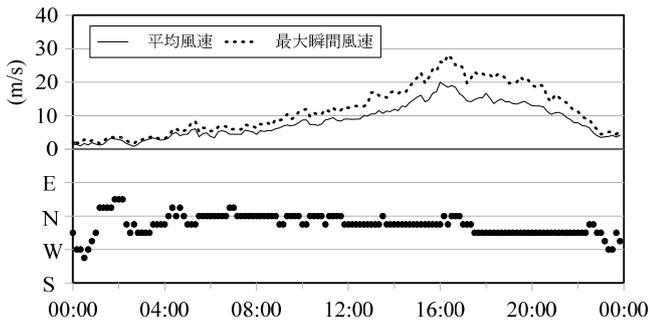


図3 風速風向の概要(caseD)

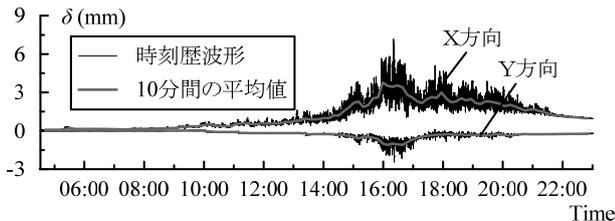


図4 免震層変位の時刻歴波形(caseD)

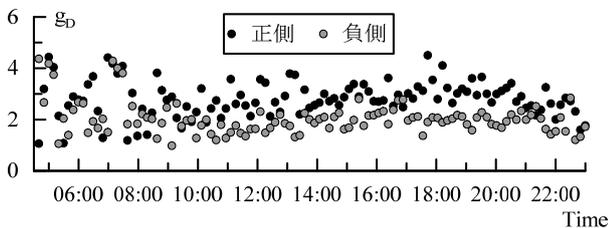


図5 免震層変位のピークファクタ(caseD, X方向)

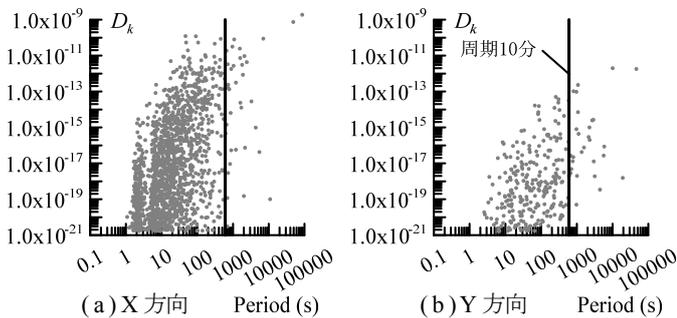


図6 D値と波形の周期の分析(caseD)

$\gamma_k$  (%) との関係 (式(2)) に, Newton 法を用いて数式を回帰することで算出する。なお,  $\gamma_k$  は, 全変位振幅  $\delta_k$  を免震ダンパー高さ  $h$  (表1) で除した (式(3)) で表される<sup>1)</sup>。

$$\gamma_k = 35N_{f(\delta_k)}^{-0.15} + 3620N_{f(\delta_k)}^{-0.80} \quad (2), \quad \gamma_k = \frac{\delta_k}{h} \times 100 \quad (3)$$

本報では変位計の分解能<sup>9)</sup>より, 0.1 mm 以下を除いた全ての  $\delta_k$  を対象として D 値の評価を行なう。

#### 4. 周期が10分を超える変動による疲労損傷の分析

図4に caseD における免震層変位の時刻歴波形を示す。図4より免震層変位波形は平均成分および変動成分が時々刻々と変化している様子が確認できる。また, 最大変位発生時刻付近に着目すると, 変動成分の最大振幅は, 5mm 程度に対し, 平均成分を含む変位は 7mm 程度である。全振幅に対する破断回数 は式(3)に示すように対数的な変化をするため平均成分が D 値

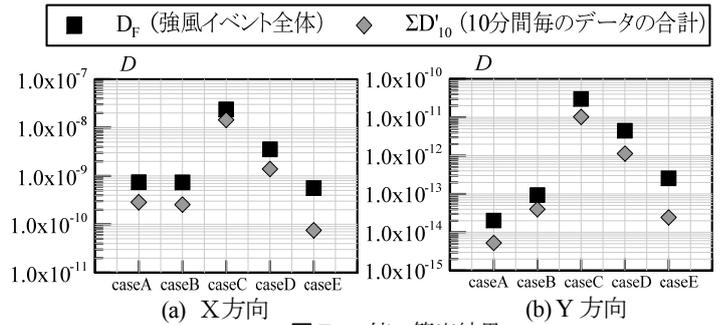


図7 D値の算出結果

に与える影響は無視できないことが伺える。図5に caseD の X 方向における免震層変位のピークファクタを示す。図5より, 免震層変位のピークファクタは正側と負側で大きく差が生じている箇所が存在することが確認できる。これは実際の免震層変形の変動成分の最大値と最小値が異なることを表している。

図6に caseD における強風イベント全体の免震層変位波形から全振幅ごとに算出した D 値と波形の周期の分析を示す。ここの D 値は平均成分の影響が加味されている。波形の周期は, Rainflow 法により各全振幅に分解した波形を, 1 または 1/2 サイクルとしてカウントし, それぞれの開始と終了時間の差から算出している。図6より, 平均成分を有する強風イベント全体の免震層変位波形には 10 分以上の周期をもつ波形が数多く存在しており, かつ比較的 D 値が大きいものも多いことが確認できる。図7に各強風イベントにおける, 強風イベント全体の D 値 ( $D_F$ ) と 10 分間毎のデータの D 値の合計 ( $\Sigma D'_10$ ) を示す。図7より, 強風イベント, 方向で異なるが,  $\Sigma D'_10$  が,  $D_F$  に対して約 0.1~約 0.6 倍と小さい値を示した。この差は図6に示す 10 分以上の周期をもつ全振幅の D 値によって生じたものである。つまり, 10 分間の時刻歴波形に基づき算定した D 値を足し合わせる手法では, 平均成分を有する強風イベント内に存在する周期が 10 分以上の波形による D 値を評価出来ておらず, 過小評価をしていることを確認した。

#### 5. まとめ

その1では, 超高層免震建物の実観測記録を用いて, 平均成分を有する5つの強風イベントを対象に, 強風イベント全体の疲労損傷度と 10 分毎のデータの疲労損傷度の合計を比較した。以下に知見を示す。

- (1) 強風イベント全体の免震層変位波形には 10 分以上の周期をもつ波形が数多く存在しており, かつ比較的 D 値が大きいものも多いことが確認された。
- (2) 10 分間毎のデータの D 値の合計は強風イベント全体の D 値に対してイベント, 方向で異なるが約 0.1~約 0.6 倍と小さい値を示した。つまり, 10 分間の時刻歴波形に基づき算定した D 値を足し合わせる手法では, 平均成分を有する強風イベント内に存在する, 周期が 10 分以上の波形による D 値を評価出来ないことを確認した。

謝辞および参考文献はその2にまとめて示す

\*1 東京工業大学  
\*3 風工学研究所  
\*5 東京理科大学

\*1 Tokyo Institute of Technology  
\*3 Wind Engineering Institute  
\*5 Tokyo University of Science

\*2 日建設計  
\*4 九州大学

\*2 Nikken Sekkei Ltd  
\*4 Kyushu University