

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	変動風力を受ける履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の損傷評価手法
Title	
著者(和文)	平井宏幸, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 903-904
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 903-904
発行日 / Pub. date	2012, 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/110009654829

変動風力を受ける履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の損傷評価手法

正会員 ○平井宏幸*¹ 同 佐藤大樹*²
同 吉江慶祐*³ 同 北村春幸*²

風外力 超高層制振建物 履歴型ダンパー
多質点系 損傷評価 累積塑性変形倍率

1. はじめに

エネルギーの釣合を利用した弾塑性風応答予測に関して、吉江ら¹⁾は、風応答は1次モードが支配的として、1質点系を用いた風応答予測手法を研究しており、その有効性を示している。しかし、上記の1質点系での弾塑性風応答予測手法を実建物に適用するためには、地震に対する弾塑性応答²⁾で指摘されているように様に、高次モードの影響や変形および履歴吸収エネルギーの特定層への集中を明らかにする必要がある。

本論文では、多質点系でのエネルギーの釣合に基づく弾塑性風応答予測手法を構築するため、既に耐震設計の分野で提案されている損傷配分則²⁾を応用し、風外力入力時の無減衰多質点弾塑性系におけるダンパーの損傷分配評価手法を示す。

2. 解析対象モデルと風外力の概要

検討に用いる解析対象建物の諸元と想定立地条件を図1に示す。解析モデルは図2に示すような、超高層制振建物を対象とした10質点せん断型モデルとする。主架構は、高さ $H=200$ m、幅 $B=40$ m、奥行き $D=40$ mで、1次固有周期 $T=5.0$ 秒(1次固有振動数 $f=0.2$ Hz)、地上部総質量は56000 tonとし、質量は高さ方向に一律であると想定した。各層の主架構剛性 f_k は、建物の1次固有モードが直線となるように決定した。履歴型ダンパーの剛性分布は3段階とし、1層でのダンパー剛性 d_k と主架構の剛性 f_k の比 d_k/f_k を1.0とした。

構造物に作用する風外力は風洞実験結果³⁾を用いた。実験気流は「建築物荷重指針・同解説」⁴⁾の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に作成し、層風力は10層分測定した。風速は再現期間500年に相当するレベルとして、頂部風速 $U_H=63.8$ (m/s)を想定した。検討用風力波形は1組につき10質点分の変動風力波形を0.05秒刻み13000ステップとし、風洞実験結果から応答の評価時間部分が重ならないように650秒×30組を取り出した。本報では、各応答は30組の応答のアンサンブル平均により評価している。解析開始時の過渡応答の影響を避けるため、各風力波形の先頭50秒にエンベロープを設けた後、50～650秒の10分間で各応答を評価する。

3. 無減衰多質点弾塑性系における損傷分配評価

本章では、変動風力を受ける無減衰多質点弾塑性系における損傷分配手法を提案し、時刻歴応答解析結果を比較することで、その有効性を検証する。

3.1 無減衰系の時刻歴応答解析によるエネルギー入力の評価

本節でのダンパーの降伏耐力 dQ_{yi} は、時刻歴応答解析により得られたダンパー弾性時での全体架構の最大層せん断力 $sQ_{i,max}$ による層の最適降伏層せん断力係数分布 $\bar{\alpha}_i$ ²⁾(1式)を(2式)に代入して求めたダンパーの最適降伏層せん断力係数分布 $d\bar{\alpha}_i$ に基づく耐力分布を3つのグループに分割(1～3層, 4～7層, 8～10層)したダンパーの耐力分布とする。本節で用いる第1層の

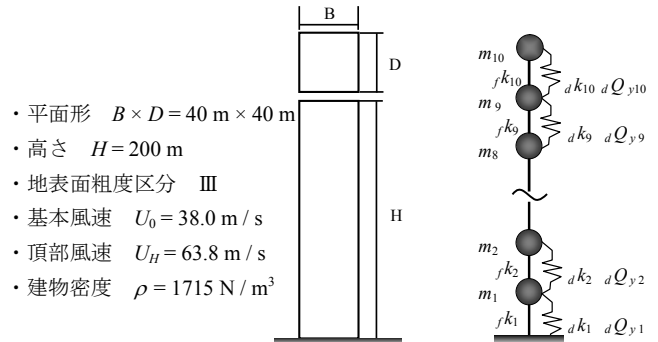


図1 検討建物概要

図2 検討モデル概要

- ・平面形 $B \times D = 40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$
- ・高さ $H = 200 \text{ m}$
- ・地表面粗度区分 III
- ・基本風速 $U_0 = 38.0 \text{ m/s}$
- ・頂部風速 $U_H = 63.8 \text{ m/s}$
- ・建物密度 $\rho = 1715 \text{ N/m}^3$

ダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ は、0.005, 0.007, 0.01, 0.012, 0.015, 0.017, 0.02としている。

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_1} = \frac{sQ_{i,max}}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot g} \bigg/ \frac{sQ_{1,max}}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot g} \quad (1)$$

$$d\bar{\alpha}_i = \bar{\alpha}_i \cdot \left(\frac{s k_1}{d k_1} \right) \bigg/ \left(\frac{s k_i}{d k_i} \right) \quad (2)$$

ここで、 $sQ_{i,max}$: i 層におけるダンパー弾性時での全体架構の最大層せん断力、 m_i : i 層の質量、 g : 重力加速度、 $s k_i$: i 層の全体架構剛性、 $d k_i$: i 層のダンパー剛性を表す。なお、(2)式によるダンパーの最適降伏層せん断力係数分布 $d\bar{\alpha}_i$ を用いることで、地震応答時と同様に、風応答時においてもダンパーの累積塑性変形倍率は全層で概ね一定となることを確認している⁵⁾。

構造物の1次モードに模擬した1質点系を対象とした変動風力による無減衰系へのエネルギー入力は(3)式より算出できる。

$$\bar{E}_0(f_0) = E[\dot{E}_{input}] = \frac{1}{4M} S_F(f_0) \quad (3)$$

ここで、 f_0 : 構造物の固有振動数、 \dot{E}_{input} : 単位時間当たりのエネルギー入力、 $S_F(f)$: 変動風力のパワースペクトル密度関数(片側スペクトル)、 $E[\]$: 期待値、 M : モーダル質量を表す。を算出する際、まず本報での f_0 は多質点系での固有値解析より求めた1次固有振動数 $s f, f$ とする。

はじめに、全体架構剛性 $s k_i$ および主架構剛性 $f k_i$ を用いて、多質点系での固有値解析より求めた1次固有振動数 $s f, f$ により求めたエネルギー入力(3式)と時刻歴応答解析結果を風方向、風直交方向風力入力時それぞれ比較する(図3)。

図3より、時刻歴応答解析結果(◇印)は $s f$ と $f f$ による予測値(●, ●印)の間の値を示すことが確認できる。つまり、弾塑性風応答時の固有振動数 f_{eq} を用いることで、(3)式より多質点弾塑性系においてもエネルギー入力を予測できる可能性がある¹⁾。本報では、(3)式によるエネルギー入力の予測精度を確

認するため、固有振動数 f_{eq} は時刻歴応答解析を用いて、以下のように求める。時刻歴応答解析により得られた弾塑性系での層間変形の標準偏差 σ_{δ_i} にピークファクター g^4 ($=\sqrt{2\ln(600f)}$) を乗じた値による各層の等価剛性 k_{eq} ($=\sigma_{\delta_i} \cdot g / dQ_{yi} + f k_i$) を用いて、多質点系での固有値解析より求めた1次固有振動数 f_{eq} とする。

図3から分かるように等価振動数 f_{eq} による予測値 (▲印) は f および f による予測値と比べ、どの $d\alpha_{y1}$ でも時刻歴応答解析結果 (◇印) と良く対応していることが確認できる。なお、時刻歴応答解析を用いない等価振動数 f_{eq} の予測手法の開発については今後の課題である。

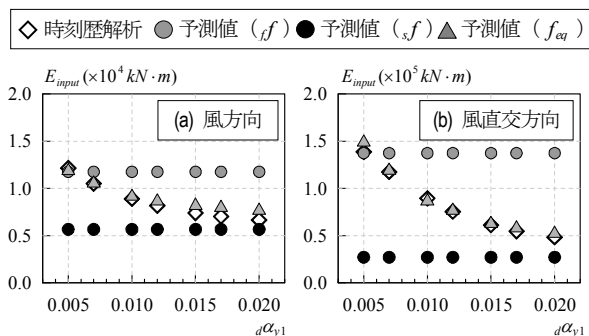


図3 E_{input} の時刻歴応答解析結果と予測値の比較

3.2 変動風力を受ける弾塑性構造物の損傷分配評価手法

本節では、変動風力を受ける無減衰多質点弾塑性系におけるダンパーの損傷分配手法を提案する。層の復元力特性が完全弾塑性型であるせん断型多層骨組のダンパーの損傷分布の予測値は次式で与えられる²⁾。

$$\frac{dW_{pi}}{\sum_{i=1}^N dW_{pi}} = \frac{dS_i \cdot dP_i^{-n_{s,i}}}{\sum_{i=1}^N dS_i \cdot dP_i^{-n_{s,i}}} \quad (4)$$

$$dS_i = \left(\sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot d\bar{\alpha}_i \cdot \frac{d k_i}{d k_i}, \quad dP_i = \frac{d\alpha_{y1}}{d\alpha_{y1}} \cdot \frac{1}{d\bar{\alpha}_i}$$

ここで、 dW_{pi} : i 層の累積塑性歪みエネルギー、 N : 層数、 dP_i : i 層のダンパーの強度低下率、 $n_{s,i}$: i 層の損傷集中指数、 m_j : j 層の質量、 M : 総質量、 $d\alpha_{y1}$: i 層のダンパーの降伏せん断力係数を表す。

風外力における損傷集中指数 $n_{s,i}$ は (5) 式の値を用いている⁵⁾。 $r_{q,i}$ は主架構とダンパーの負担せん断力比 ((6) 式) を表す。

$$\left. \begin{aligned} n_{s,i} &= 12 & r_{q,i} &\leq 1.6 \\ n_{s,i} &= -25 \cdot r_{q,i}^{-1.6} & 1.6 < r_{q,i} &\leq 7.5 \\ n_{s,i} &= 1 & r_{q,i} &> 7.5 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$r_{q,i} = f Q_{i,max} / d Q_{yi} = (f k_i \cdot \delta'_{i,max}) / d Q_{yi} \quad (6)$$

ここで、 $\delta'_{i,max}$: 弾塑性系での最大層間変形を表す。

本報では、時刻歴応答解析に基づいて $d\bar{\alpha}_i$ を求め、弾塑性系での最大層間変形により損傷集中指数 $n_{s,i}$ を評価する手法を手法1と呼ぶ。なお、手法1では、(4)式の精度を確認することが目的であるため、全層でのダンパーの累積塑性歪みエネルギーの総和は時刻歴応答解析結果を用いている。スペクトル応答

解析に基づいて求めた弾塑性系での最大層間変形 $\delta'_{i,max}$ ⁵⁾ により $d\bar{\alpha}_i$ および $n_{s,i}$ を評価し、前節より時刻歴応答解析によるエネルギー入力とよく対応していた f_{eq} を用いてエネルギー入力を算出する手法を手法2と呼ぶ。本章では無減衰振動系を対象としているので、全層でのダンパーの累積塑性歪みエネルギーの総和とエネルギー入力は等しくなる。

ダンパーの降伏耐力分布は前節と同様とし、本節で用いる第1層のダンパー降伏せん断力係数は $d\alpha_{y1} = 0.01$ とする。

図4(a),(b)に風方向、風直交方向風力入力時のダンパーの累積塑性変形倍率 $d\eta_i$ ((7)式) の時刻歴解析結果 (実線) と手法1 (◇印) および手法2 (◆印) による予測値をそれぞれ示す。

$$d\eta_i = dW_{pi} / (dQ_{yi} \cdot d\delta_{yi}) \quad (7)$$

ここで、 $d\delta_{yi}$: ダンパーの降伏層間変形を表す。

図4より、風力方向および $d\alpha_{y1}$ に関係なく、全層で手法1 (◇印) が時刻歴解析結果 (直線) の傾向を良く捉えていることが確認できる。これより、耐震設計の分野で用いられている損傷配分則は風応答外力入力時においても、損傷集中指数 $n_{s,i}$ を(5)式の値に修正することで適用することができることを確認した。また、本報で提案した手法2 (◆印) を用いることで、時刻歴解析によるダンパーの累積塑性変形倍率 $d\eta_i$ を概ね予測できていることが確認でき、本手法の有効性を示すことができた。

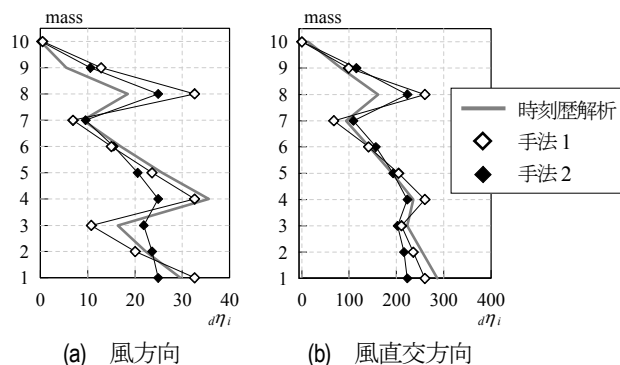


図4 $d\eta_i$ の時刻歴応答解析結果と予測値の比較

4. 結論

本報では、風応答時の損傷集中指数の評価式を用いて、変動風力を受ける無減衰多質点弾塑性系の損傷分配手法を提案し、予測値が時刻歴応答解析結果と概ね一致することを示し、その有効性を確認した。

今後の課題としては、(3)式によりエネルギー入力を算出する際に用いる等価振動数 f_{eq} の予測手法の開発が挙げられる。

謝辞

本研究は、神奈川大学大熊武司教授、(株)泉創建エンジニアリング、(株)日建設計、東京理科大学北村研究室による新耐風設計法研究会の成果の一部です。

参考文献

- 吉江ら：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法、日本建築学会構造系論文集、第589号、pp.59-66、2005.3
- 秋山：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計、技報堂出版、1997
- 片桐ら：高層免震建築物の一般化風力特性、日本建築学会学術講演梗概、B-2、pp.139-140、2010.9
- 日本建築学会：建物荷重指針・同解説、2004
- 平井ら：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層制振建物の損傷分配評価、日本建築学会関東支部研究報告、2012、3

*1 戸田建設 株式会社 (元 東京理科大学)

*2 東京理科大学

*3 株式会社 日建設計

*1 Toda Corporation

*2 Tokyo University of Science.

*3 Nikken Sekkei Ltd.