

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴型ダンパーを有する多層制振建物の風応答時における損傷評価その2 損傷に寄与するエネルギーに関する検討
Title(English)	Damage evaluation of passively controlled multistory building with hysteretic damper on wind-induced response. Part. 2 A study on energy causing damages in structure
著者(和文)	田中英之, 平塚紘基, 佐藤大樹
Authors(English)	Hideyuki Tanaka, Koki Hiratsuka, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 95-96
Citation(English)	, , , pp. 95-96
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

履歴型ダンパーを有する多層制振建物の風応答時における損傷評価

その2 損傷に寄与するエネルギーに関する検討

正会員
同

○田中 英之*1
佐藤 大樹*3

同 平塚 紘基*2

超高層制振建物 履歴型ダンパー 風応答解析
弾塑性風応答 損傷に寄与するエネルギー

1. はじめに

本報その1では、検討に用いるモデルおよび風外力概要について述べた。本報その2では、弾塑性風応答時における多質点系での損傷に寄与するエネルギーの特性を把握するとともに、解析結果に基づく経験的な予測式を提案し、その精度を検証することを目的とする。なお、本報その1と同様の記号は同義であることから、本報その2では説明を省略する。

2. 解析対象モデルおよび風外力概要

解析対象モデルは、本報その1で述べたモデル1を用いる。また、風外力はモデル1を対象とした風外力を用いる。詳細については本報その1を参照されたい。

3. 等価減衰と損傷に寄与するエネルギーの関係

3.1 等価減衰および損傷に寄与するエネルギーの算出

解析結果より算出されるシステムの1次等価減衰定数 ${}_1\xi_{eq}$ は、次式で算出される。

$${}_1\xi_{eq} = {}_1\xi_a + {}_1\xi = \frac{\sum_{i=1}^N {}_1\xi_{eq,i} \cdot W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} + {}_1\xi \quad (1)$$

ここで、 ${}_1\xi_a$: 付加系の履歴減衰、 ${}_1\xi_{eq,i}$: i 層の減衰定数¹⁾、 ${}_1\xi$: システムの1次減衰定数、 W_i : i 層のポテンシャルエネルギーを表す。 ${}_1\xi_{eq,i}$ 、 ${}_1\xi$ および W_i は、それぞれ以下の式より算出される。

$${}_1\xi_{eq,i} = \begin{cases} 0 & (\delta_i < \delta_{ay_i}) \\ \frac{2(1+\alpha_i)}{\pi\mu_i} \ln \frac{\mu_i + \alpha_i}{(1+\alpha_i)(\mu_i)^{\frac{1}{1+\alpha_i}}} & (\delta_i \geq \delta_{ay_i}) \end{cases} \quad \alpha_i = \frac{k_{ai}}{k_{fi}} \quad (2)$$

$${}_1\xi = ({}_1\omega_f / {}_1\omega) \cdot {}_1\xi_f \quad (3)$$

$$W_i = Q_i \cdot \delta_i / 2 \quad (4)$$

ここに、 μ_i : 付加系の塑性率 ($\mu_i = \delta_i / \delta_{ay_i}$)、 δ_i : 層間変形、 ${}_1\omega$: システムの1次固有円振動数、 Q_i : 層せん断力を表す。

弾性振動エネルギーは質点の振動とともにある値の範囲内で増減するため、十分に長い時間を考えると無視することができる。よって損傷に寄与するエネルギーの総和 E_D は各層の付加系の吸収エネルギー $W_{ap,i}$ の総和 W_{ap} のみで評価可能であり次式で表される。

$$E_D = E_{inp} - W_{f\xi} = W_{ap} \quad (5)$$

ここで、 E_{inp} : 総入力エネルギー、 $W_{f\xi}$: 各層の構造減衰による吸収エネルギー $W_{f\xi,i}$ の総和を表す。なお、 $W_{ap,i}$ および $W_{f\xi,i}$ は履歴曲線を台形積分することにより算出する。

3.2 解析結果

様々なダンパーの配置形式を想定し等価減衰と損傷に寄与するエネルギーの関係について検討を行う。対象とするケースは、解析対象モデル (Case 1, Fig. 1(a))、一部の付加系の降伏層せん断力を低減した場合 (Case 2, Fig. 1(b))、11層目から20層目までの付加系を弾性とした場合 (Case 3, Fig. 1(c))、極端なダンパーの不均等配置例として、11層目から20層目までの付加系を取り除いた場合 (Case 4, Fig. 1(d)) と1層目から10層目までの付加系を取り除いた場合 (Case 5, Fig. 1(e)) の5ケースとする。

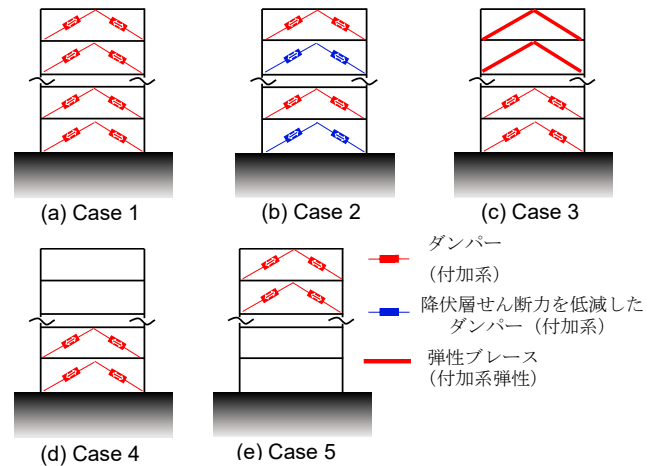


Fig. 1 Damper distribution

Fig. 2 に縦軸を E_{inp} に占める E_D の割合 E_D / E_{inp} 、横軸を ${}_1\xi_{eq}$ に占める ${}_1\xi_a$ の割合 ${}_1\xi_a / {}_1\xi_{eq}$ としたグラフを示す。なお、代表例として、 ${}_1T_f = 7.0$ s の結果を示しており、 ${}_1\xi_f$ は α_{dy1} ごとにまとめて示している。また、 ${}_1\xi_a$ および ${}_1\xi_{eq}$ は、解析結果より得られた層せん断力および層間変形を用いて、式 (1) ~ (4) より算出している。

Fig. 2 より、 α_{dy1} の増加とともに E_D / E_{inp} と ${}_1\xi_a / {}_1\xi_{eq}$ の関係が比例関係からずれていることが確認できる。また、 $\alpha_{dy1} = 0.04$ の場合で、Case 2 および Case 5 が他のケースと異なる傾向となっており、ダンパーの配置形式の変化が

- Case 1 ($D/B = 1.0$) ○ Case 1 ($D/B = 1.6$)
- ▲ Case 2 ($D/B = 1.0$) △ Case 2 ($D/B = 1.6$)
- ◆ Case 3 ($D/B = 1.0$) ◇ Case 3 ($D/B = 1.6$)
- Case 4 ($D/B = 1.0$) □ Case 4 ($D/B = 1.6$)
- ▼ Case 5 ($D/B = 1.0$) ▽ Case 5 ($D/B = 1.6$)

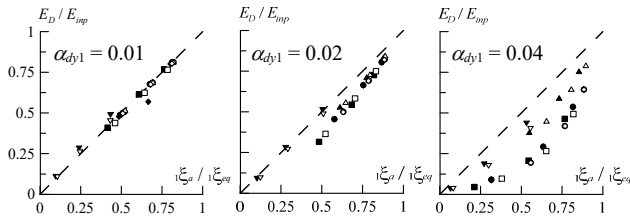


Fig. 2 Relation of E_D/E_{imp} and $1\xi_a/1\xi_{eq}$ ($1T_f = 7.0$ s)

E_D/E_{imp} と $1\xi_a/1\xi_{eq}$ の関係に影響していることが確認できる。一方で、 D/B の変化および $1\xi_f$ の変化による影響は小さいことがわかる。よって、ダンパー量とダンパーの配置形式の変化を考慮した関数で E_D/E_{imp} と $1\xi_a/1\xi_{eq}$ の関係を予測することが可能であると考えられる。

3.3 予測式の提案

E_D/E_{imp} と $1\xi_a/1\xi_{eq}$ の関係の予測式は次式となる。

$$\frac{E_D}{E_{imp}} = \left(\frac{1\xi_a}{1\xi_{eq}} \right)^{(1T_f/1T_{eq})^2} \quad (6)$$

ここで、 $1T_{eq}$: システムの1次等価固有周期を表す。 $1T_{eq}$ を用いることにより、ダンパー量の変化およびダンパーの配置形式の変化を考慮している。

Fig. 3 に解析値 (横軸) と予測値 (縦軸) の E_D/E_{imp} を比較した図を示す。なお、Fig. 3 は各ケースおよび $1\xi_f$ を D/B と $1T_f$ ごとにまとめて示している。また、式(6)中の $1\xi_a$ 、 $1\xi_{eq}$ および $1T_{eq}$ は解析結果 ($1T_{eq}$: 最大層間変形における等価剛性算出後、固有値解析) を用いた。Fig. 3 より、 $\alpha_{dy1} = 0.04$ の一部において誤差が大きくなっていることが確認できる。一方で、 $\alpha_{dy1} = 0.01, 0.02$ においては、予測値と解析値が一致していることがわかり、特に $\alpha_{dy1} = 0.01$ においては、誤差 10%程度となっており、精度よく一致していることが確認できる。次章では、数値例題を通して提案式の精度検証を行う。

- $D/B = 1.0, 1T_f = 5$ s ◆ $D/B = 1.6, 1T_f = 5$ s - - ±10% - - ±30%
- $D/B = 1.0, 1T_f = 7$ s ◇ $D/B = 1.6, 1T_f = 7$ s - - ±20%

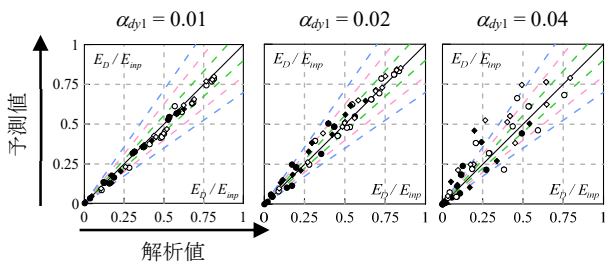


Fig. 3 Comparison of E_D/E_{imp}

4. 数値例題

4.1 対象モデルおよび風外力概要

本章では、本報その1で述べた現実的な層剛性を有するモデル2を対象モデルとする。また、風外力はモデル2を対象とした風外力を用いる。詳細については本報その1を参照されたい。なお、モデル2の第1層目のフレームの剛性が極端に大きいことから、第1層目の付加系を取り除いて検討を行う。

4.2 対象モデルおよび風外力概要

Fig. 4 に数値例題の解析値 (Ana.) と予測値 (Eq. 6) を比較した図を示す。なお、前章と同様に $1\xi_a$ 、 $1\xi_{eq}$ および $1T_{eq}$ は解析結果の値を用いている。Fig. 4 より、解析値と予測値は $\alpha_{dy1} = 0.04$ でわずかに誤差が大きくなっていることがわかるが、 $\alpha_{dy1} = 0.01, 0.02$ を含め、概ね一致しており、提案式は妥当であることが確認された。

よって筆者らがすでに提案している弾塑性風応答予測手法²⁾と本報その2で提案した E_D/E_{imp} の予測式、吉江ら³⁾が提案している入力エネルギーの予測手法および佐藤ら⁴⁾が提案している累積損傷分布予測を組み合わせれば、時刻歴応答解析を行うことなく各層の損傷に寄与するエネルギー E_{Di} を予測可能である。

- Ana. ○ Eq. 6

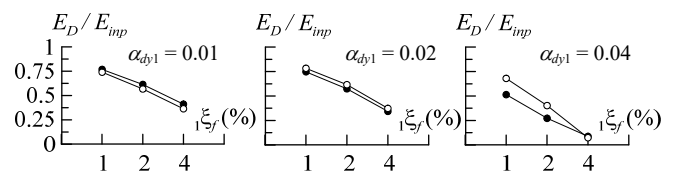


Fig. 4 Comparison of E_D/E_{imp}

5. おわりに

本報その2では、弾塑性風応答時における多質点系での損傷に寄与するエネルギーの特性を把握するとともに、解析結果に基づく経験的な予測式を提案し、その精度を検証することを目的とし検討を行った。本報その3では、各層の損傷に寄与するエネルギーについて検討を行う。

参考文献

- 1) 竹内徹, 他 3 名 : ダンパーが不均等配置された多層パッシブ制振構造の応答予測, 日本建築学会構造系論文集, 第 583 号, pp. 115-122, 2004.9
 - 2) 平塚紘基, 他 2 名 : 履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の弾塑性風応答予測, 日本建築学会技術報告集, 第 27 巻, 第 66 号, pp. 662-667, 2021.6
 - 3) 吉江慶祐, 他 2 名 : エネルギーの釣合に基づく平均成分を有する広帯域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 608 号, pp. 122-128, 2006.10
 - 4) 佐藤大樹, 他 5 名 : 履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の風応答時における累積損傷分布予測, 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No. 728, pp. 1635-1645, 2016.10
- 謝辞は、その3にまとめて示す。

*1 竹中工務店

*2 東電設計 (元東京工業大学)

*3 東京工業大学

*1 Takenaka Corporation

*2 Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (Former Tokyo Tech)

*3 Tokyo Institute of Technology