

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組み合わせた制震構造の等価繰り返し数の関係性を考慮したエネルギーの釣合いに基づく応答評価法
Title(English)	Energy Balance-Based Seismic Response Prediction Method of Vibration Control Building with Hysteretic Dampers of Two Types of Yield Deformation in Consideration of Relations with Number of Equivalent Repetitions
著者(和文)	木村真峻, 北村春幸, 佐藤大樹, 松田頼征, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太, 山口慎吾
Authors(English)	Kimura Masatoshi, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Yoriyuki Matsuda, Michio Yamaguchi, Naoya Wakita, Yuta Watanuki, Shingo Yamaguchi
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 369-370
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 369-370
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

# 降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係性を考慮したエネルギーの釣合いに基づく応答評価法

制振構造 鋼構造建物 履歴減衰型ダンパー  
時刻歴応答解析 エネルギーの釣合い

正会員○ 木村 真峻\*1 同 北村 春幸\*2 同 佐藤 大樹\*3  
同 松田 頼征\*2 同 山口 路夫\*4 同 脇田 直弥\*4  
同 綿貫 雄太\*4 同 山口 慎吾\*4

## 1. はじめに

既報<sup>1)</sup>では、大地震に対する安全性の確保のみならず、中小地震による主架構の損傷を軽減することの出来る制振構造として、鋼材ダンパーと摩擦ダンパーを併用した制振構造に着目し、その応答評価を目的とした、エネルギーの釣合いに基づく応答評価法<sup>2)</sup>(以降、エネルギー法)の適用方法を検討した。本報では、ダンパー併用配置時の両ダンパーの等価繰返し数の関係式<sup>3)</sup>を用い、降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係性を考慮した、エネルギーの釣合いに基づく応答評価法を提案する。また、提案式の評価精度を時刻歴応答解析により検討する。

## 2. 解析条件

検討対象建物は、8階建て鋼構造建物<sup>4)</sup>を長辺方向に2スパン増やした建物とする。図1、2に基準階伏図および軸組図を示す。

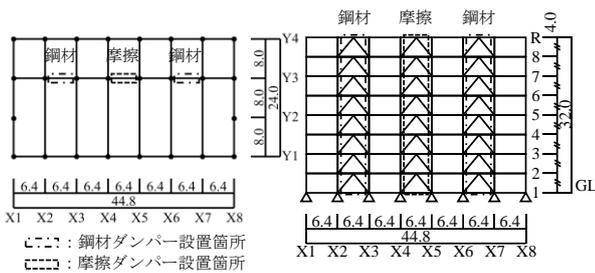


図1 伏図 (m)

図2 Y3通り軸組図 (m)

建物高さ 4.0 m × 8 層 = 32.0 m, 長辺方向 6.4 m × 7 スパン = 44.8 m, 短辺方向 16.0 m + 8.0 m = 24.0 m である。標準せん断力係数  $C_0=0.2$  に対し、許容応力度設計を行った。本報の解析では、長辺方向を検討対象とし、剛床を仮定、主架構は弾性とする。構造減衰は、主架構の1次固有周期 $T_1=1.44$ s に対し、減衰定数  $h=0.02$  となる剛性比例型とした。制振部材は、履歴型の摩擦ダンパーと鋼材ダンパーを対象とする。鋼材ダンパーは、Y3 通りの X2~X3 間と X6~X7 間に、2基ずつの計4基を全層に配置する。摩擦ダンパーはY3 通りの X4~X5 間に、各層で2基配置する。第1層の両ダンパーの降伏層せん断力は、建物の総重量  $W$  に第1層の両ダンパーの降伏せん断力係数を乗じ定める。本報では、 $s_1\alpha_{y1}=0.01\sim 0.10$ ,  $s_2\alpha_{y1}=0.01\sim 0.10$  (0.01 刻み) を対象とする。両ダンパーを設置する場合、ダンパーの組み合わせは  $s_1\alpha_{y1} + s_2\alpha_{y1} = 0.02\sim 0.08$  (0.01 刻み) を対象とする。上層部における両ダンパーの降伏層せん断力は、第1層のダンパーの降伏層せん断力に、 $A_i$  分布に基づくせん断力比を乗じることで決定した。摩

擦ダンパーの滑り出し変形角  $s_1R_y$  は 1/2000, 1/1000, 1/500, 鋼材ダンパーの降伏変形角  $s_2R_y$  は 1/500, 1/300, 1/200 で検討する。降伏変形角  $s_1R_y=1/1000$  と  $s_2R_y=1/300$  の組合せを 1003 タイプと呼ぶ。時刻歴応答解析に用いる入力地震動はコーナー周期  $T_c=0.64$ s 以降の領域でエネルギースペクトル  $V_E=100$  cm/s ( $h=0.10$ ) が一定となる、位相特性が HACHINOHE 1968 EW の模擬地震動を用いる<sup>3)</sup>。以降、ART HACHI VE100 と呼ぶ。また、地震動レベルのパラメータとして、同じ位相特性で、エネルギースペクトル  $V_E=200, 300, 400$  cm/s ( $h=0.10$ ) となる地震動を採用して検討する。

## 3. 両ダンパーの等価繰返し数の関係

ダンパーを併用配置したときの摩擦ダンパーの等価繰返し数は、単独配置したときの摩擦ダンパーの等価繰返し数と比較すると大きい。また、ダンパーを併用配置したときの鋼材ダンパーの等価繰返し数は、単独配置したときと比較すると小さくなる<sup>3)</sup>。よって、摩擦ダンパーの等価繰返し数は既往式<sup>2)</sup>を用いて安全側に評価できるが、鋼材ダンパーの等価繰返し数は安全側に評価できない。

図3に、第1層における摩擦ダンパーの等価繰返し数  $s_1n_1$  と、降伏変形角比  $\lambda_1(s_2R_y / s_1R_y)$  を乗じた第1層における鋼材ダンパーの等価繰返し数  $\lambda_1 \cdot s_2n_1$  の関係を示す。建物の総入力エネルギーに比べ制振部材の塑性歪エネルギーが少ないモデルは、制振構造の等価繰返し数の評価に適していない。せん断力比1以上のとき、履歴型ダンパーの等価繰返し数の設計値として2が提案されている<sup>2)</sup>。図3の全ケースを線形近似し  $(s_1n_1, \lambda_1 \cdot s_2n_1) = (2, 0)$  を通るようにした近似式を次式に示す。

$$s_2n_1 \cdot \lambda_1 = 2.5 \cdot s_1n_1 - 5 \quad (s_1n_1 \geq 2) \tag{1}$$

図3より、式(1)は  $s_1n_1$  と  $\lambda_1 \cdot s_2n_1$  の傾向を表現できている。

○ 1003タイプ    × 0503タイプ    + 1005タイプ  
□ 1002タイプ    ◇ 2003タイプ

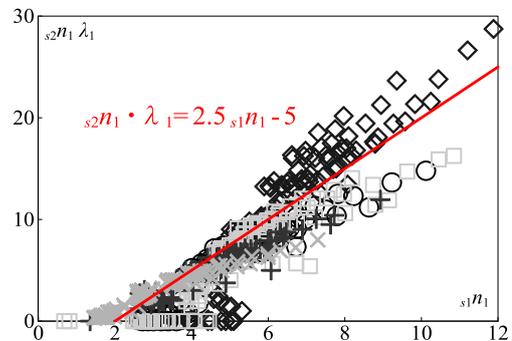


図3  $s_1n_1$  と  $\lambda_1 \cdot s_2n_1$  の関係

Energy Balance-Based Seismic Response Prediction Method of  
Vibration Control Building with Hysteretic Dampers of Two Types of  
Yield Deformation in Consideration of Relations with Number of  
Equivalent Repetitions

Masatoshi KIMURA, Haruyuki KITAMURA, Daiki SATO  
Yoriyuki MATSUDA, Michio YAMAGUCHI, Naoya WAKITA  
Yuta WATANUKI, Shingo YAMAGUCHI

#### 4. エネルギーの釣合いに基づく応答評価式の提案

##### 4.1. エネルギーの釣合いに基づく応答評価式の導出

柔剛混合構造として導出されてきた制振構造の応答評価に、更に剛要素を加えることで降伏変位の異なる2種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の場合にまで拡張した応答評価式を示す<sup>1)</sup>。ここで、 $\alpha_1$ :第1層の層せん断力係数、 $f\alpha_0$ :非制振時の層せん断力係数、 $s_1\alpha_{y1}$ :第1層における摩擦ダンパーの降伏層せん断力係数、 $s_1n_1$ :ダンパー併用配置時の第1層における摩擦ダンパーの等価繰返し数、 $s_1\gamma_1$ :第1層における摩擦ダンパーの損傷分散係数、 $s_2\gamma_1$ :第1層における鋼材ダンパーの損傷分散係数、 $r_\alpha$ : $s_1\alpha_{y1}$ に対する $s_2\alpha_{y1}$ の割合、 $\kappa_i$ :建物を1質点系に置換した場合の等価なばね定数に対する第*i*層の主架構の剛性の割合<sup>2)</sup>を示す。

$$\frac{\alpha_1}{f\alpha_0} = -\left(\frac{4s_1n_1 \cdot s_1\gamma_1 + 4s_2n_1 \cdot s_2\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1} - 1 - r_\alpha\right) \left(\frac{s_1\alpha_{y1}}{f\alpha_0}\right) + \sqrt{\left(\frac{4s_1n_1 \cdot s_1\gamma_1 + 4s_2n_1 \cdot s_2\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1}\right)^2 \left(\frac{s_1\alpha_{y1}}{f\alpha_0}\right)^2 + 1} \quad (2)$$

式(1)、(2)を用いて、降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係性を考慮した、エネルギーの釣合いに基づく応答評価式を次式に示す。

$$\frac{\alpha_1}{f\alpha_0} = -\left(\frac{4s_1n_1 \cdot s_1\gamma_1 + 4\frac{2.5s_1n_1 - 5}{\lambda_1} \cdot s_2\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1} - 1 - r_\alpha\right) \left(\frac{s_1\alpha_{y1}}{f\alpha_0}\right) + \sqrt{\left(\frac{4s_1n_1 \cdot s_1\gamma_1 + 4\frac{2.5s_1n_1 - 5}{\lambda_1} \cdot s_2\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1}\right)^2 \left(\frac{s_1\alpha_{y1}}{f\alpha_0}\right)^2 + 1} \quad (3)$$

##### 4.2. エネルギーの釣合いに基づく応答評価式の精度検証

式(3)に示した、降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係性を考慮した、エネルギーの釣合いに基づく応答評価式の精度検証をする。図4に、ダンパーのせん断力係数比 ( $\alpha_1/f\alpha_0$ ) と式(1)より求まる層せん断力比 ( $s_1\alpha_1 + s_2\alpha_1/f\alpha_0$ ) の関係を示す。式(3)に用いた係数を表1に示す。本検討対象タイプの両ダンパーの損傷分散係数 $s_1\gamma_1$ 、 $s_2\gamma_1$ は概ね $s_1\gamma_1$ 、 $s_2\gamma_1=6$ である。図4より、応答評価式は摩擦ダンパー単独配置のとき最も応答低減効果が大きく評価する。また、鋼材ダンパー単独配置のとき最も応答低減効果が小さく評価する。これは、摩擦ダンパーの等価繰返し数が大きく、鋼材ダンパーの等価繰返し数が小さいため、摩擦ダンパーのみ設置したときに応答低減効果が大きく、鋼材ダンパーのみ設置したときに小さく評価されたためである。式(1)は鋼材ダンパー単独配置のときより応答低減効果が大きく、摩擦ダンパー単独配置のときより応答低減効果が小さく評価する。

図4に、時刻歴応答解析の応答値を併せて示す。ここでは、1003タイプを用いた。プロットはダンパー併用配置時の第1層における摩

擦ダンパーの等価繰返し数 $s_1n_1$ が4以上のケースを示す。また、ダンパー併用配置時の第1層における鋼材ダンパーの等価繰返し数 $s_2n_1$ が1.5以上、 $r_\alpha=1$ のケースを示す。図4より、時刻歴応答解析より求められるダンパーを併用配置したときの層せん断力係数比は、摩擦ダンパー単独配置の応答評価式を用いると安全側に評価できない。一方で、鋼材ダンパー単独配置の応答評価式を用いると十分すぎる安全側の評価となる。本報で提案する、ダンパー併用配置による鋼材ダンパーの等価繰返し数の減少を考慮した式(3)での結果は、解析結果の傾向を良く捉えている。

表1 図4の応答評価式に代入する各係数の値

	$s_1n_1$	$s_2n_1$	$s_1\gamma_1$	$s_2\gamma_1$	$\kappa_1$	$r_\alpha$	$\lambda_1$
併用	4	1.5	6	6	5.68	1	3.33
摩擦	4	-	6	6	5.68	-	3.33
鋼材	-	1.5	6	6	5.68	-	3.33

— 併用配置    - - - 鋼材ダンパーのみ    - - - 摩擦ダンパーのみ  
○ 時刻歴応答解析による応答値 (併用配置)

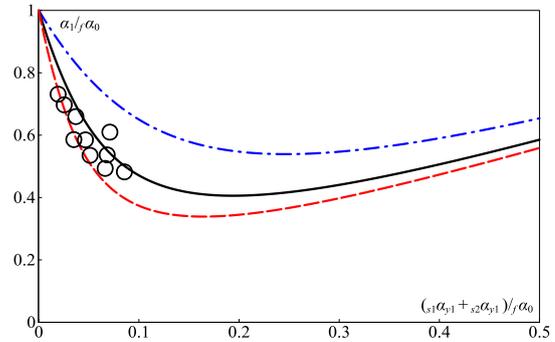


図4 応答評価式の $\alpha_1/f\alpha_0$ と解析値の関係

#### 5. まとめ

ダンパー併用配置時の両ダンパーの等価繰返し数の関係式を用い、降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係性を考慮した、エネルギーの釣合いに基づく応答評価法を提案した。ダンパー併用配置による等価繰返し数の増減を考慮できるため、より適した応答評価ができる。

#### 謝辞

本研究は、新日鉄住金エンジニアリング株式会社・東京理科大学北村研究室・東京工業大学佐藤研究室によるエネルギー法研究会の成果の一部である。ここに記して感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 木村真峻, 北村春幸, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 有間雄太, 佐藤弘太, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太: 降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造のエネルギーの釣合いに基づく応答評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.743-744, 2016.8
- 2) 秋山宏: エネルギーの釣合いに基づく建築物の耐震設計, 技芸堂出版, 1999.11
- 3) 木村真峻, 北村春幸, 佐藤大樹, 松田頼征, 山口路夫, 脇田直弥, 山口慎吾, 綿貫雄太: 降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の等価繰返し数の関係式の提案, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.277-280, 2018.3
- 4) 北村春幸, 宮内洋二, 福島順一, 深田良雄, 森伸之: 性能設計における性能判断基準値に関する研究: 時刻歴応答解析による JSCA 耐震性能メニューの検証 -, 日本建築学会構造論文集, 第576号, pp.47-54, 2004.2

\*1 元 東京理科大学 \*2 東京理科大学 \*3 東京工業大学  
\*4 新日鉄住金エンジニアリング

\*1 \*2 Tokyo University of Science \*3 Tokyo Institute of Technology  
\*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd