

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	履歴ダンパーを有する制振構造の累積損傷分布による応答予測精度の検証
Title(English)	Verification of Response Prediction Accuracy for Cumulative Damage Distribution of Passive Controlled Building with Hysteretic Dampers
著者(和文)	岩森貴寿, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐藤利昭, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太
Authors(English)	Takatoshi Iwamori, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Toshiaki Sato, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA, Yuta WATANUKI
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 281-282
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 281-282
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 履歴ダンパーを有する制振構造の累積損傷分布による応答予測精度の検証

正会員 ○岩森貴寿\*1 同 佐藤大樹\*1 同 北村春幸\*2 同 佐藤利昭\*3  
同 山口路夫\*4 同 脇田直弥\*4 同 綿貫雄太\*4制振構造  
エネルギー法  
履歴ダンパー  
鋼構造建物  
応答予測式  
累積損傷分布

## 1. はじめに

制振構造において、主架構が弾性的な場合でのエネルギーの釣合に基づく耐震設計法(以降、エネルギー法と呼ぶ)は秋山<sup>1)</sup>により提案され、北村ら<sup>2)</sup>により主架構が塑性化する場合にも対応できる式に拡張された。しかし、北村ら<sup>2)</sup>の式では主架構が大きく塑性化する事を想定しているため、全層で主架構が塑性化する式になっており、主架構が弾性である層と塑性化する層が混在するような場合は考慮されていない。

本報では、履歴ダンパーを有する制振構造の主架構が弾性である場合と塑性化する場合を考慮し、応答予測式から履歴ダンパーの累積損傷分布を算出し、時刻歴応答解析結果と比較することで、応答予測精度の検証を行うことを目的とする。

## 2. 諸元の設定と解析概要

## 2.1 主架構と履歴ダンパーの諸元

検討対象建物の解析モデルは文献<sup>2), 3)</sup>を参考に主架構の1次固有周期 $T_1$ が1.0sとなる10層の鋼構造建物の平均的な剛性・耐力分布を単純化した10質点系等価せん断型モデルを用いる<sup>4)</sup>。図1に本報における解析モデルの概要を示す。質量分布は等分布(9.8 kN・s<sup>2</sup>/cm)、主架構の剛性分布は台形分布(最上層が最下層の1/2)とする。構造減衰は主架構の1次固有周期 $T_1=1.0$ sに対して $\zeta=2\%$ となる剛性比例型とする。主架構の降伏せん断力分布も台形分布とする。降伏せん断力 $fQ_{yi}$ は次式で求められる。

$$fQ_{y1} = f\alpha_{y1} \cdot \sum_{j=1}^N m_j \cdot g, \quad fQ_{yi} = fQ_{y1} \cdot f\lambda_i \quad (1a,b)$$

ここで、 $f\alpha_{yi}$ : 第*i*層の主架構の降伏せん断力係数、 $f\lambda_i$ : 第1層の主架構の降伏せん断力に対する第*i*層の主架構の降伏せん断力の比である。第1層の主架構の降伏せん断力係数 $f\alpha_{y1} = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, \infty$ を設定する。ここで、 $f\alpha_{y1} = \infty$ は主架構が弾性であることを意味する。

ダンパーは、LY225級の低降伏点鋼製の座屈拘束ブレースを階高4.2mのスパン6.4mにハの字(角度54°)で取り付けるこ

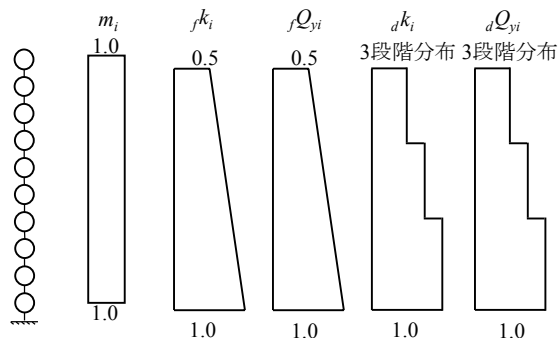


図1 解析モデル概要

とを想定し、ダンパーの降伏層間変形 $d\delta_{yi}$ は全層で一定値 $d\delta_{yi} = 0.64$ cmとする。降伏せん断力 $dQ_{yi}$ は秋山が提案する $\bar{\alpha}_i$ 分布に基づく最適分布<sup>1)</sup>をもとに3つのグループ(1~4層, 5~7層, 8~10層)に分割した3段階分布とする。降伏せん断力 $dQ_{yi}$ は次式で求められる。

$$dQ_{yi} = d\alpha_{yi} \cdot \sum_{j=i}^N m_j \cdot g \quad (2)$$

ここで、 $d\alpha_{yi}$ : 第*i*層のダンパーの降伏せん断力係数である。本報では $d\alpha_{y1}$ をダンパー量と呼び、パラメータとして $d\alpha_{y1} = 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.16, 0.20$ と設定する。なお、ダンパーへの変形伝達の障害となる取り付け部材や建物全体の曲げ変形の影響はないものと仮定し、各層の層間変形は全て履歴ダンパーの変形に寄与するものとする<sup>5)</sup>。本報では、主架構とダンパーを合わせたものを全体架構と呼ぶ。

## 2.2 入力地震動概要

検討用地震動は、コーナー周期 $T_c = 0.64$ s以降の領域で、擬似速度応答スペクトル $\rho S_V = 50, 100, 150$ cm/s ( $h = 5\%$ )となる模擬地震動波形ART HACHI(位相特性: HACHINOHE 1968 EW)とART KOBE(位相特性: JMA KOBE 1995 NS)を用いる<sup>5)</sup>。本報では $\rho S_V = 50, 100, 150$ cm/sの地震動をそれぞれレベル1, レベル2, レベル3と位置付ける。ART HACHIは加振終了後の入力エネルギーを評価できるように505s以降を0cm/s<sup>2</sup>とし、合計で継続時間は550sとする。ART KOBEは加振終了後の入力エネルギーを評価できるように270s以降を0cm/s<sup>2</sup>とし、合計で継続時間は300sとする<sup>4)</sup>。両地震動ともに解析時間刻み $\Delta t = 0.01$ sとする。図2に擬似速度応答スペクトル $\rho S_V$ とエネルギースペクトル $V_E$ (固有周期 $T = 0 \sim 3$ s)を示す。固有周期 $T = 0.6 \sim 0.8$ の範囲でエネルギースペクトルのピークがあることが確認できる。これは本報で設定するダンパー量 $d\alpha_{y1} = 0.16, 0.20$ の場合の全体架構の固有周期に相当する。

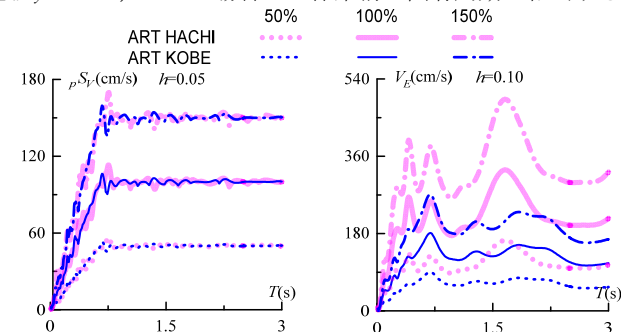


図2 応答スペクトルとエネルギースペクトル

## 3. 累積損傷分布の予測式

秋山による累積損傷分布の提案式<sup>1)</sup>は主架構とダンパーの

剛性比が各層で等しい場合を想定している。本報では主架構とダンパーの剛性比が各層で異なる場合も適用できるように拡張した次式を用いる。詳しくは文献 5), 6) を参照されたい。

$$\frac{1}{d\gamma_{pi}} = \frac{dS_i \cdot d P_i^{-an_i}}{\sum_{j=1}^N (dS_j \cdot d P_j^{-an_j})} \quad (3)$$

ダンパーの損傷集中指数  $an_i$  は主架構が全層で大きく塑性する場合を想定している次式を採用する<sup>2)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} d n_i &= 12 & r_{qi} &\leq 0.33 \\ d n_i &= -2 + 8 \cdot r_{qi}^{-0.5} & 0.33 < r_{qi} &\leq 7.0 \\ d n_i &= 1 & r_{qi} &> 7.0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、

$$r_{qi} = \frac{f Q_{i,max}}{d Q_{i,max}} \quad (5)$$

式(7)の妥当性および、式(3)による予測精度の検証が目的であるため、式(8)を算出する際  $f Q_{i,max}$  および  $d Q_{i,max}$  に、時刻歴応答解析結果を用いる。

#### 4. 時刻歴結果と応答予測式の平均誤差

ダンパーの塑性化の程度を評価する指標として、入力エネルギー  $E$  に占める主架構の全累積塑性歪エネルギー  $f W_p$  とダンパーの全累積塑性歪エネルギー  $d W_p$  の割合をそれぞれ主架構のエネルギー分担率  $f \alpha_p$  およびダンパーのエネルギー分担率  $d \alpha_p$  として次式で定義する<sup>7)</sup>。

$$f \alpha_p = f W_p / E, \quad d \alpha_p = d W_p / E \quad (6a,b)$$

累積損傷分布の予測精度を評価する指標として、 $1/d\gamma_{pi}$  の予測値  $[1/d\gamma_{pi}]_p$  と時刻歴応答解析結果  $[1/d\gamma_{pi}]_c$  の差の平均値を平均誤差と呼び、以下の式で定義する<sup>7)</sup>。

$$R_{1/d\gamma_{pi}} = \frac{\sum_{i=1}^N |[1/d\gamma_{pi}]_p - [1/d\gamma_{pi}]_c|}{N} \quad (7)$$

計 216 ケース (= 入力地震動: 2 種類, 入力レベル: 3 種類, 主架構の降伏層せん断力係数  $f \alpha_{y1}$ : 6 種類, ダンパー量  $d \alpha_{y1}$ : 6 種類) の結果として図 3 に主架構のエネルギー分担率  $f \alpha_p$  に着目したダンパーの平均誤差を示す。図 4 には累積損傷分布の例を示す。

図 3 より主架構が弾性である場合では平均誤差が小さくなる傾向が確認できる。ダンパーのエネルギー分担率  $d \alpha_p$  が大きくなるほど応答予測精度が良くなることわかる(図 4(a), (c))。また、主架構のエネルギー分担率  $f \alpha_p$  が小さくなるほど

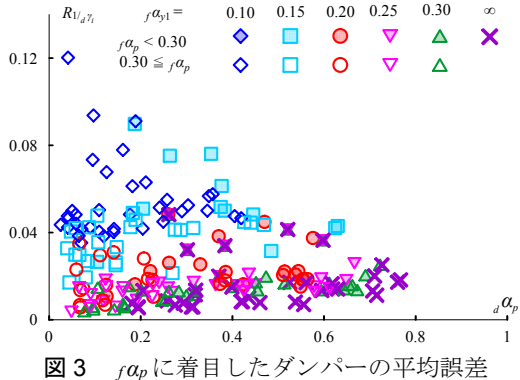


図 3  $f \alpha_p$  に着目したダンパーの平均誤差

応答予測精度が良くなることが確認できる(図 4(b), (c))。ただし、全体架構の固有周期がエネルギースペクトルのピークの周辺にあたる場合では平均誤差が大きくなることもある。これは本報で設定したダンパーの剛性分布によってできた弱層にエネルギーが集中しすぎたためである(図 4(d))。

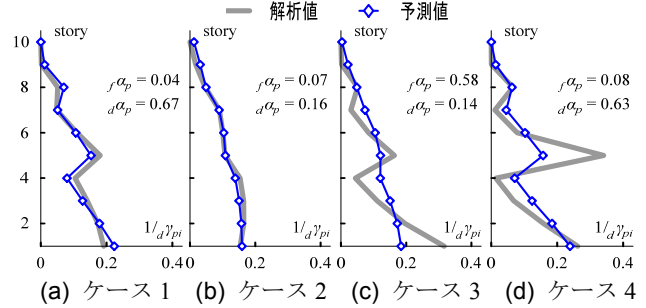


図 4 累積損傷分布

#### 5. まとめ

履歴ダンパーを有する制振構造の主架構が弾性である場合と塑性化する場合を考慮し、応答予測式から履歴ダンパーの累積損傷分布を算出し、時刻歴応答解析結果と比較することで応答予測精度の検証を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 主架構が弾性である場合では平均誤差が小さくなることが確認できた。
- (2) ダンパーのエネルギー分担率が大きくなるほど平均誤差が小さくなることがわかった。
- (3) 主架構のエネルギー分担率が小さくなるほど平均誤差が小さくなることがわかった。
- (4) ただし、全体架構の固有周期がエネルギースペクトルのピークにあたる場合では(1)~(3)についても平均誤差が大きくなることもあるため、注意が必要である。

#### 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を用いたものです。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 秋山宏: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 1999.11
- 2) 北村春幸,財津和廉,馬谷原伴恵:主架構の塑性化を考慮した制振構造物のエネルギーの釣合に基づく応答評価,日本建築学会構造系論文集,第 599 号,pp.71-78,2006.1
- 3) 佐藤大輔,北村春幸,佐藤大樹,佐藤利昭,山口路夫,脇田直弥,綿貫雄太:履歴ダンパーと粘性ダンパーを併用した制振構造のエネルギーの釣合に基づく応答予測法,日本建築学会構造系論文集,第 699 号,pp.631-640,2014.5
- 4) 岩森貴寿,佐藤大樹,佐藤利昭,北村春幸,山口路夫,脇田直弥,綿貫雄太:主架構弾性時の履歴ダンパーの累積損傷分布における応答予測精度の検証,日本建築学会関東支部研究報告集,pp.533-536,2016.3
- 5) 栗林晃司,佐藤大樹,北村春幸,山口路夫,西本晃治:実効変形を考慮した履歴減衰型制振部材を有する鋼構造建物のエネルギーの釣合に基づく応答予測法,日本建築学会構造系論文集,第 661 号,pp.543-552,2011.3
- 6) 渋谷政斗,佐藤大樹,佐藤利昭,北村春幸,山口路夫,脇田直弥,綿貫雄太:主架構弾性時の損傷配分式の主架構とダンパーの剛性分布が異なる場合への拡張,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.773-774,2015.9
- 7) 池上昌志,佐藤大樹,吉江慶祐,佐藤利昭,北村春幸:エネルギーの釣合に基づく多層制振建物の弾塑性風応答における損傷評価その 2 スペクトルモーダル解析による最適せん断力係数分布予測と損傷予測,日本建築学会関東支部研究報告集 85(1),pp.245-248, 2015.

\*1 東京工業大学

\*2 東京理科大学

\*3 九州大学

\*4 新日鉄住金エンジニアリング株式会社

\*1 Tokyo Institute of Technology

\*2 Tokyo University of Science

\*3 Kyushu University

\*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co, Ltd