

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応答予測精度評価手法の構築 その1 固有周期の変動による累積損傷分布の分析
Title(English)	Evaluation Method of Response Prediction Accuracy for Passive Controlled Building with Hysteretic Dampers Part1 : Analysis of Cumulative Damage Distribution due to Natural Period Fluctuation
著者(和文)	馬橋聖生, 岩森貴寿, 佐藤大樹, 北村春幸, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太
Authors(English)	Sei Mabashi, Takatoshi Iwamori, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, 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. 583-584
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 583-584
発行日 / Pub. date	2017, 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応答予測精度評価手法の構築

その1 固有周期の変動による累積損傷分布の分析

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
----------------	-----------------	-----------------

正会員	○馬橋聖生*1	同	岩森貴寿*1
同	佐藤大樹*1	同	北村春幸*2
同	山口路夫*3	同	脇田直弥*3
同	綿貫雄太*3		

1. はじめに

制振構造建物の設計手法の1つに、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)が規定されている。エネルギー法では、累積損傷分布により高さ方向のエネルギー分配を予測し、等価繰返し数によって最大応答値を予測する。

主架構弾性時のエネルギー法は秋山<sup>1)</sup>により提案され、北村ら<sup>2)</sup>によって主架構の塑性化を考慮したエネルギー法に拡張された。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おり、主架構が弾性の場合と塑性化する場合で応答予測式を使いわけの必要がある。

本研究では、エネルギー法を主架構が弾性の場合と塑性化する場合を1つの式で連続的に応答予測できる設計手法に拡張することを目標とする。そこで、筆者らは文献3)にて主架構が弾性の場合と塑性化する場合を連続的に予測する場合での累積損傷分布の予測精度の評価方法を提案し、その妥当性について検討を行った。ただし、文献3)では質点数および固有周期を変動させず、限られた条件の下で検討を行っている。

そこで本報その1では、解析モデルおよび入力地震動の概要を示し、固有周期が異なる場合での文献3)で提案した累積損傷分布の予測精度評価手法の妥当性について検討する。

2. 諸元の設定と解析概要

本報では主架構の弾性1次固有周期 $\rho_1 T$ を $\rho_1 T = 0.5, 1.0, 2.0$ に設定する。 $\rho_1 T = 0.5$  sは5層の鋼構造建物、 $\rho_1 T = 1.0$  sは10層の鋼構造建物、 $\rho_1 T = 2.0$  sは20層の鋼構造建物を想定した質点系等価せん断型モデルを用いる。質点数 $N$ は5, 10, 20と設定し、表1に本報で用いる解析モデルの固有周期と質点数の組み合わせを○印で示す<sup>4)</sup>。

表1 解析モデルの固有周期と質点数

		N		
		5	10	20
$\rho_1 T$	0.5	○		
	1.0	○	○	
	2.0	○	○	○

2.1 主架構と履歴ダンパーの諸元

本報では塑性化を考慮した主架構とダンパーの復元力特性を完全弾塑性型とする。主架構とダンパーを合わせたものを全体架構と呼ぶ事とする。図1に解析モデルを示す。質量分布は等分布(9.8 kN・s<sup>2</sup>/cm)、主架構の剛性分布と主架構の降伏せん断力分布は台形分布(最上層が最下層の1/2)とする<sup>4)</sup>。

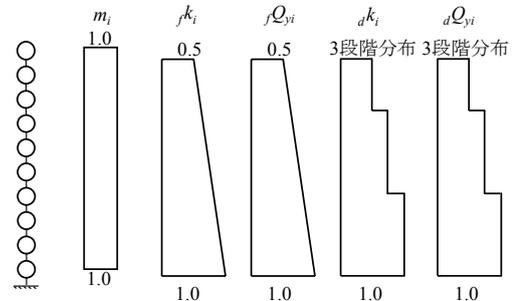


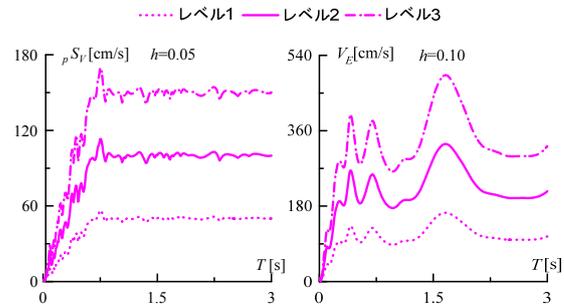
図1 解析モデル概要(10質点系)

本報ではパラメータとして第1層の主架構の降伏層せん断力係数 $f_{\alpha_{y1}} = 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, \infty$ に設定する。なお、 $f_{\alpha_{y1}} = \infty$ は主架構が弾性であることを意味する。構造減衰は主架構の弾性1次固有周期 $\rho_1 T$ に対して $fh = 2\%$ となる初期剛性比例型とする。

ダンパーの降伏層せん断力 $d_{Q_{yi}}$ は第1層のダンパーの降伏層せん断力 $d_{Q_{y1}}$ を基準とし、秋山が提案する $\bar{\alpha}_i$ 分布<sup>1)</sup>に基づく最適分布をもとに3つのグループに分割した3段階分布とする<sup>4)</sup>。本報ではダンパー量 $d_{\alpha_{y1}} = 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.16, 0.20$ に設定する。ダンパーの降伏層間変形 $d_{\delta_{yi}}$ を全層で一定値とし、 $\rho_1 T$ が0.5 sの場合では $d_{\delta_{yi}} = 0.42$  cm、 $\rho_1 T$ が1.0, 2.0 sの場合では $d_{\delta_{yi}} = 0.64$  cmとする<sup>5)</sup>。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>6)</sup>。

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)を用いる<sup>6)</sup>。図2に擬似速度応答スペクトル $\rho S_V$ およびエネルギースペクトル $V_E$ (固有周期 $T = 0 \sim 3$  s)を示す。



(a) 擬似速度応答スペクトル (b) エネルギースペクトル  
図2 応答スペクトルとエネルギースペクトル

Evaluation Method of Response Prediction Accuracy for Passive Controlled Building with Hysteretic Dampers  
Part1 : Analysis of Cumulative Damage Distribution due to Natural Period Fluctuation

MABASHI Sei, IWAMORI Takatoshi, SATO Daiki, KITAMURA Haruyuki, YAMAGUCHI Michio, WAKITA Naoya, WATANUKI Yuta

本報では、 $pSv=50, 100, 150 \text{ cm/s}$  の検討用地震動をそれぞれレベル1, レベル2, レベル3と呼ぶ。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505 s以降を0  $\text{cm/s}^2$ とし、合計で継続時間は550 sとする。解析時間刻みは $\Delta t=0.01 \text{ s}$ とする。

### 3. 累積損傷分布の応答予測式

ダンパーの累積損傷分布  $1/d\gamma_{pi}$  はダンパーが吸収する全累積塑性歪エネルギー  $dW_p$  に対する第  $i$  層におけるダンパーが吸収する累積塑性歪エネルギー  $dW_{pi}$  の比を用いて以下のように表せる。

$$\frac{1}{d\gamma_{pi}} = \frac{dW_{pi}}{\sum_{j=1}^N dW_{pj}} = \frac{dS_i \cdot dP_i^{-d n_i}}{\sum_{j=1}^N (dS_j \cdot dP_j^{-d n_j})} \quad (1)$$

秋山による累積損傷分布の応答予測式<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にのみ適用できる式となっており、これを文献6), 7)で主架構とダンパーの剛性比が各層で異なる場合でも適用できる式へと拡張された。式(1)を算出する際に文献6), 7)で拡張された式を以下に示す。

$$dP_i = \left( \frac{d\alpha_{yi}}{d\alpha_{y1}} \right) / d\bar{\alpha}_i \quad (2)$$

$$dS_i = \left( \sum_{j=i}^N \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot d\bar{\alpha}_i^2 \cdot \left( \frac{dk_i}{dk_1} \right) \quad (3)$$

$$d\bar{\alpha}_i = \bar{\alpha}_i \cdot \frac{dk_i / (f k_i + d k_i)}{dk_1 / (f k_1 + d k_1)} \quad (4)$$

ここに、 $M$ は総質量を意味する。式(1)~(4)は主架構とダンパーの初期剛性が各層で等しくなる場合、秋山による累積損傷分布の提案式<sup>1)</sup>と一致する。ダンパーの損傷集中指数  $dV_i$ は、北村らによって負担せん断力比  $r_{qi}$ が大きい範囲を拡張された次式<sup>2)</sup>を採用する。

$$\left. \begin{aligned} dV_i &= 12 & r_{qi} &\leq 0.33 \\ dV_i &= -2 + 8 \cdot r_{qi}^{-0.5} & 0.33 < r_{qi} &\leq 7.0 \\ dV_i &= 1 & r_{qi} &> 7.0 \end{aligned} \right\} \quad (5b)$$

$$r_{qi} = \frac{f Q_{i,\max}}{d Q_{i,\max}} \quad (6)$$

本報では式(5)の妥当性および、式(1)による予測精度の検証が目的であるため、式(6)を算出する際の  $f Q_{i,\max}$ ,  $d Q_{i,\max}$  は時刻歴応答解析の結果を用いる。文献2)とは異なり、主架構が塑性化する場合は  $f Q_{i,\max}$ ではなく  $f Q_{yi}$ を、ダンパーが降伏した場合は  $d Q_{i,\max}$ ではなく  $d Q_{yi}$ を用いる。

### 4. 異なる固有周期が予測精度評価手法に及ぼす影響

本章では文献3)で提案した予測精度評価手法に対して異なる固有周期が及ぼす影響について応答予測値  $[1/d\gamma_{pi}]_p$  (以降、予測値と呼ぶ)と時刻歴応答解析の結果から算出した累積損傷分布  $[1/d\gamma_{pi}]_c$  (以降、解析値と呼ぶ)を比較し、分析を行う。

図3にエネルギー法の予測精度が低い累積損傷分布の一例を示す。図3のように、最も解析値が大きくなる層の値を最

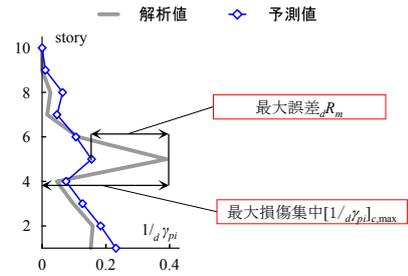


図3 予測精度の低い累積損傷分布

大損傷集中  $[1/d\gamma_{pi}]_{c,\max}$  と呼び、予測値と解析値の差の絶対値が最大となる値を最大誤差  $dR_m$  と呼ぶ。このとき、最大損傷集中と最大誤差が第1層で生じる場合は、次に最大となる層の値を用いる。文献3)では最大損傷集中が大きくなるほど最大誤差が大きくなる傾向が確認できた。

図4に質点数を  $N=5$  に固定し、固有周期を  $\rho T=0.5, 1.0, 2.0 \text{ s}$  と変動させた場合での累積損傷分布の最大予測誤差を示す。本報ではダンパーのエネルギー分担率  $d\alpha_p^3$ が0.001以下となる場合には制振構造として不相当であるため除外する。図4より、 $\rho T$ が0.5 sの解析ケースでは  $dR_m$ が0.1以上となるケースが多いことが確認できる。一方で、 $\rho T=2.0 \text{ s}$ の解析ケースでは  $dR_m$ が0.1以上となるケースが  $\rho T=0.5 \text{ s}$ の場合と比較すると少ないことが確認できる。このことから、 $\rho T$ が短くなるにつれて予測精度の低いケースが多くなる傾向があるが、これは、地震動の周期特性と関連するので、さらなる分析が必要である。全体的に見ると、最大損傷集中が大きくなるにつれて、最大誤差が大きくなる傾向にモデルの固有周期の違いが与える影響はほとんどないと考える。

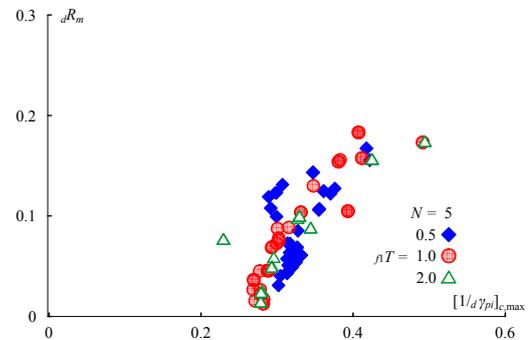


図4 累積損傷分布の最大予測誤差 (N=5)

### 5. まとめ

その1では、解析モデルの概要と入力地震動の概要を示し、文献3)で提案した予測精度評価手法に対して異なる固有周期が及ぼす影響を分析した。結果として、固有周期の変動によって最大損傷集中が大きくなるにつれて最大誤差が大きくなる傾向にほとんど影響はない事が確認できた。その2では、質点数の変動が予測精度評価手法に及ぼす影響を分析し、累積損傷分布の予測精度評価手法と等価繰返し数の関係について分析を行う。

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  
\*2 東京理科大学  
\*3 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 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co, Ltd