

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動時における粘性ダンパーを有する制振構造建物の簡易応答評価 その3 長時間繰り返しによる特性値低下を考慮した解析モデルの提案
Title(English)	Simplified Response Evaluation of Vibration Control Building with Viscous Dampers under Long Period Ground Motion Part3 : Proposal of Analysis Model Considering Change in Dynamic Properties
著者(和文)	岡田亮佑, 長山祥, 佐藤大樹, 笠井和彦, 松田和浩
Authors(English)	Ryousuke Okada, Sho Nagayama, Daiki Sato, KAZUHIKO KASAI, Kazuhiro Matsuda
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 611-612
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 611-612
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

長周期地震動時における粘性ダンパーを有する制振構建造物の簡易応答評価  
その3 長時間繰り返しによる特性値低下を考慮した解析モデルの提案

正会員 岡田亮佑\*1 同 長山祥\*2  
同 佐藤大樹\*3 同 笠井和彦\*4  
同 松田和浩\*5

長周期地震動 粘性ダンパー 制振構造  
超高層建物 エネルギー密度 解析モデル

## 1. はじめに

近年、南海トラフ地震による長周期地震動が三大都市圏で発生することが予想されており、超高層建物などの周期が長い建物が大きく揺れることが懸念されている。このような被害が想定される建物に対して制振構造は効果的であるが、長周期地震動の作用を受ける場合、長時間の繰り返しにより制振ダンパーの種類によっては性能が大きく低下する可能性がある。

本研究で対象とする粘性ダンパーは、封入した粘性体の流動抵抗力をダンパー力として利用する流動抵抗式であり、振動時のエネルギーを粘性体の熱エネルギーに変換する。その際の温度上昇に伴い、ダンパーの特性が変化する特性を有している<sup>1)</sup>。これらのことから、長周期地震動時における粘性ダンパーの特性低下までを考慮した設計が求められる。

そこで本報では、粘性ダンパーの動的特性の変化を考慮した応答評価の手法を提案する。既報(その1, その2)では、粘性ダンパーに対して行った長時間正弦波加振実験の結果を基に、時刻歴応答解析の結果を評価し、特性値低下を考慮した簡易的な応答評価の提案を行った<sup>2), 3)</sup>。本報その3では、粘性ダンパーの特性値低下の傾向を考慮した解析モデルを提案する。

## 2. 長時間正弦波加振実験概要

文献3)において、粘性ダンパーに対する長時間正弦波加振実験に用いられた試験体容量は1種類のみであった。そこで、新たに大容量の試験体(D3-2F)を用いて正弦波加振実験を実施した。なお、対象とするダンパーは、E-ディフェンスにおける実大5層建物の震動台実験で用いられたダンパーから選出したものである<sup>4)</sup>。表1に粘性ダンパー試験体の諸元、図1にセットアップ図、表2に正弦波加振実験の载荷パラメータを示す。V-10は40層程度の超高層建物に層間変形角1/170rad程度の変形が生じると仮定し、 $u_d = 20\text{mm}$ 、 $T = 4\text{s}$ の加振を行った。

## 3. 粘性ダンパー特性値低下の傾向

### 3.1 累積エネルギー吸収量による評価

制振ダンパーを長周期地震動対策として用いる場合、最大値による評価だけでなく繰り返し変形を受けて吸収するエネルギー量の累積値による評価が重要である。本報では、ダンパー特性値として最大ダンパー力に着目し

表1 粘性ダンパー諸元

試験体	l (mm)	ダンパー				ブレース			F <sub>d,max</sub> (kN)	
		l <sub>d</sub> (mm)	A <sub>d</sub> (mm <sup>2</sup> )	φ <sub>d</sub> (mm)	C <sub>d</sub> 規格値	l <sub>b</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	φ <sub>b</sub> (mm)	u <sub>d,max</sub> 15kine	u <sub>d,max</sub> 30kine
D1-2F	3947	606	12880	184	98	2104	8320	159	658	856
D3-2F	3849	689	28124	286	196	1542	15323	236	1316	1712

※ C<sub>d</sub> の単位は kN/(mm/s)<sup>α</sup> であり、α、K<sub>d</sub> の規格値はそれぞれ 0.38、∞である。

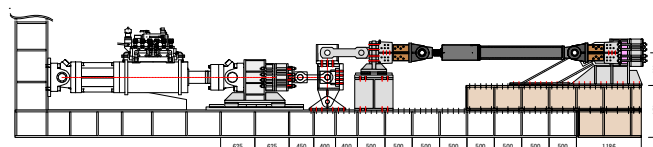


図1 粘性ダンパーセットアップ図

表2 正弦波加振実験パラメータ

実験番号	周期 T (s)	振幅 u <sub>d</sub> (mm)	加振時間 t <sub>0</sub> (s)	サイクル数	初期温度 θ <sub>0</sub> (°C)	試験体
V-1	4.0	20	600	150	10	D1-2F
V-2	4.0	20	1800	450	15	
V-3	4.0	20	3600	900	15	
V-4	4.0	20	10800	2700	13	
V-5	2.0	20	230	115	15	D2-2F
V-6	4.0	10	1200	300	15	
V-7	4.0	20	600	150	15	
V-8	4.0	30	400	100	15	
V-9	6.0	20	900	150	15	
V-10	4.0	20	1800	450	26	D3-2F

て検討を行う。図2(a)に累積エネルギー吸収量  $\Sigma W_d$  に対する最大ダンパー力の低下率の変化を示す。なお、V-3, 4に関しては加振時間が長いいため450サイクル(1800s)までの結果を示している。同容量のダンパーを用いたV-1~9では、加振周期・振幅によらず同様の低下の傾向を示した<sup>3)</sup>。しかし、容量の大きいダンパーを使用したV-10では、他の結果と比較して累積エネルギー吸収量に対する最大ダンパー力の低下が小さく傾向が異なっていることが分かる。これは大容量試験体の粘性体の温度上昇が他の試験体と比較して緩やかであるためである。

### 3.2 エネルギー密度による評価

そこで、異なるダンパー容量での統一的な評価を行うために、累積エネルギー吸収量を粘性ダンパーの容積で除したものを、エネルギー密度  $\Omega$  と呼び以下のように定義する。

$$\Omega = \frac{\Sigma W_d}{V_V} \quad (1)$$

ここで、 $V_V$  は粘性ダンパー内に封入されている粘性体

の容量である。エネルギー密度  $\Omega$  は、単位容積あたりで吸収した累積吸収エネルギーを意味し、粘性体による発熱と直接関連する値である。本報では簡便のために、ダンパー部の長ささと内部の断面積より算出した粘性ダンパーの容積を、内部粘性量と仮定して検討を行った。エネルギー密度  $\Omega$  に対する最大ダンパー力の低下率の変化とダンパーの表面部で計測した温度を図 2(b) に示す。図 2(b) より、粘性ダンパーにおいてエネルギー密度  $\Omega$  に対する最大ダンパー力の低下率の変化は、周期・振幅・ダンパー容量によらずおおむね同様の傾向を示した。また、初期温度の違いによる影響については、粘性ダンパーの温度上昇量が大きいため加振を行った範囲内 ( $10^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ 、表 2) では影響が小さいと考えられる。この関係から、エネルギー密度  $\Omega$  を用いることで長時間の繰り返しによる粘性ダンパーの特性値低下の傾向を簡易的に評価できると考える。ただし、封入されている粘性体の性質や大きく形状の異なるダンパーに対しては低下の傾向が変わると考えられる。しかし、その場合、長時間の加振実験を一度行うことで振幅や周期によらず長時間の繰り返し加振時におけるダンパーの特性低下を評価できるという利点を有する。

#### 4. 特性値低下を考慮した解析モデル

3.2 節の結果より得られたエネルギー密度を用いて近似式を算出し、長時間繰り返しによる特性値低下を考慮した解析モデルを提案する。粘性ダンパーの基本特性式は、式(2)のように表される。

$$F_d^{(n)} = C_d^{(n)} \cdot \dot{u}_d^{\alpha(n)} \quad (2)$$

繰り返し効果を考慮した場合での  $n$  ステップにおける粘性係数  $C_d^{(n)}$  は式(3)より算出される。繰り返しによる粘性係数の低下率  $\lambda$  はエネルギー密度  $\Omega$  を用いて式(4)より求められる (図 2(b) 中破線)。

$$C_d^{(n)} = \lambda^{(n)} \cdot C_d^{(0)} \quad (3)$$

$$\lambda^{(n)} = \exp(-a_0 \cdot \Omega^{(n)}) \quad (4)$$

ここに、 $C_d^{(0)}$  は粘性係数の初期値、 $a_0$  は繰り返しによる低下の程度を表す係数であり、本報では  $1.695 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{kN}]$  とした。図 2(b) より、算出した近似式は実験結果と良く対応していることが分かる。ここで、図 3 に実験結果 (V-6, 10) と解析結果を比較したものの一例を示す。なお、解析に用いる粘性ダンパーの  $\alpha, C_d$  値は表 3 より算出を行っている<sup>4)</sup>。図 3 より特性値低下を考慮した解析モデルは比較的精度良く実験結果を再現できていることが分かる。

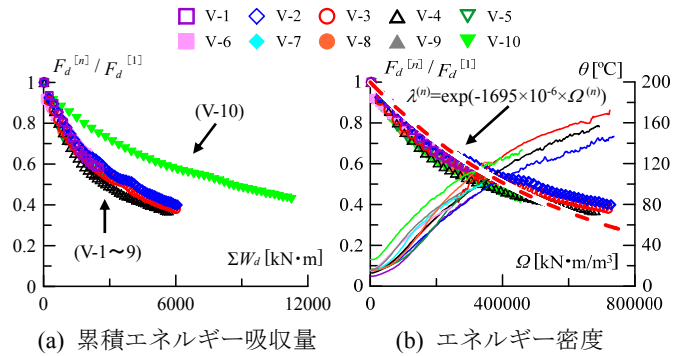


図 2 最大ダンパー力の低下率の変化

表 3  $\alpha, C_d$  の近似式と値<sup>4)</sup>

	$\alpha = A_1 u_{d0}^{A_2}$		$C_d^{(0)} = A_3 u_{d0}^{A_4}$ ( $\text{kN}(\text{s}/\text{mm})^{\alpha}$ )	
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
中容量	0.860	-0.205	24.1	0.319
大容量	0.806	-0.156	42.2	0.288

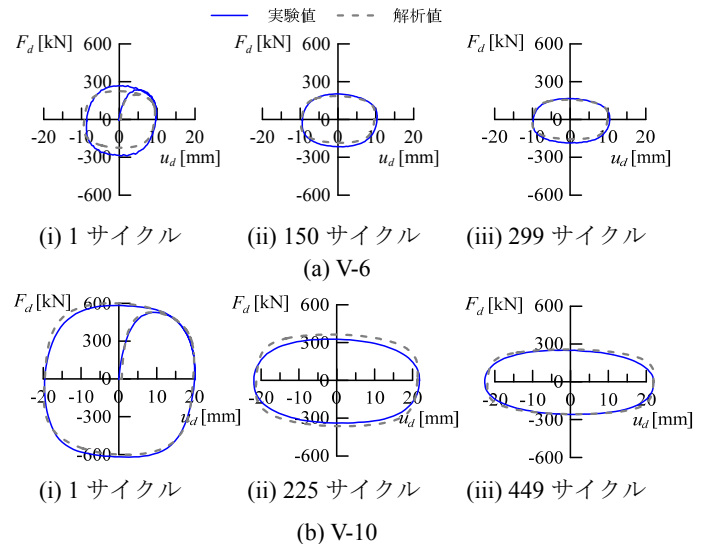


図 3 実験値と解析値の比較

#### 5. まとめ

その 3 では、粘性ダンパーの長時間正弦波加振実験の結果を基に、特性値低下の傾向を考慮した解析モデルを提案した。その 4 では、本解析モデルを用いた手法の有効性の確認を行う。

#### 参考文献

- 1) 笠井和彦, 佐藤大樹, 松田和浩, 長山祥: 長時間正弦波加振実験による 4 種の実大制振ダンパーの動的特性の変化および簡易評価手法の提案, 構造工学論文集, Vol.63B, pp.275-283, 2017.3
- 2) 中井亜里沙, 長山祥, 佐藤大樹, 笠井和彦, 松田和浩: 長周期地震動時における粘性ダンパーを有する制振構造建物の簡易応答評価 その 1 建物モデル概要とダンパー配置計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.163-164, 2016.8
- 3) 長山祥, 佐藤大樹, 笠井和彦, 松田和浩: 長周期地震動時における粘性ダンパーを有する制振構造建物の簡易応答評価 その 2 粘性ダンパーの動的特性の変化を考慮した応答評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.165-166, 2016.8
- 4) 笠井和彦, 山際創, 西島正人, 馬場勇輝, 伊藤浩資, 引野剛, 大木洋司: 粘性ダンパーをもつ実大 5 層鉄骨建物の 3 次元地震動台実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, 第 695 号, pp.47-56, 2014.1

\*1 東京工業大学 大学院生

\*2 株式会社 佐藤総合計画 (元東京工業大学 大学院生)

\*3 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授 博士(工学)

\*4 東京工業大学 未来産業技術研究所 教授・Ph.D.

\*5 名城大学 建築学科 准教授 博士(工学) (元東京工業大学)

\*1 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

\*2 AXS Satow Inc.

\*3 Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

\*4 Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.

\*5 Assoc. Prof., Department of Architecture, Meijo University, Dr. Eng.