T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	粘性ダンパーを有する超高層建物の長周期地震動における制振性能低下を考慮した簡易応答評価手法
Title(English)	
著者(和文)	岡田亮佑, 佐藤大樹, 長山祥, 笠井和彦
Authors(English)	Ryousuke Okada, Daiki Sato, Sho Nagayama, KAZUHIKO KASAI
出典(和文)	日本地震工学会・大会－2017梗概集, , , P3-26
Citation(English)	Proceedings of JAEE annual meeting 2017, , , P3-26
発行日 / Pub. date	2017, 11

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

粘性ダンパーを有する超高層建物の長周期地震動における制振性能低下を考慮した簡易応答評価手法

岡田亮佑[1)]、佐藤大樹[2)]、長山祥[3)]、笠井和彦[4)]

1) 学生会員　東京工業大学　大学院生
e-mail : okada.r.af@m.titech.ac.jp
2) 東京工業大学　科学技術創成研究院 未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
e-mail :sato.daa@m..titech.ac.jp
3) 株式会社 佐藤総合計画・修士（工学） (元東京工業大学 大学院生)
e-mail : s_nagayama@axscom.co.jp
4) 東京工業大学 特任教授・Ph.D.
e-mail : kasai.k.ac@m.titech.ac.jp

要　約

本報では、累積吸収エネルギーを粘性体の容積で除したエネルギー密度を用いて、粘性ダンパーの長時間繰返しによる性能低下を考慮した、長周期地震動に対する超高層建物の応答評価手法を示す。応答評価手法による解析結果から、少ないダンパー量で設計を行った制振構造は、長周期地震動を受けた際にダンパーの性能低下の影響を受けて応答が増大することが分かった。また、精算手法と簡易手法の応答を比較することで、解析モデルを必要としない簡易手法でも、より経済的な設計を可能とする方法の検討を行った。

キーワード：　制振構造、粘性ダンパー、長周期地震動、性能低下

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[1)]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際の温度上昇に伴いダンパーの特性が変化する。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制振構造の設計が求められる。

そして、流動抵抗式の実大粘性ダンパーを用いた長時間の正弦波加振実験結果[2)]より、累積吸収エネルギーを粘性体の容積で除したエネルギー密度で整理することで、振動数・振幅・継続時間およびダンパーの容量によらず統一的に性能低下を表現できることが示されている[2)]。本報では、このエネルギー密度を用いて、粘性ダンパーの長時間繰返しによる性能低下を考慮した、長周期地震動に対する超高層建物の応答評価手法を示す。

はじめに、多数回の繰返しによる粘性ダンパーの性能低下を考慮した解析モデルを提案し、実験結果と比較することで精度検証を行う。次に、20質点の等価せん断モデルに提案モデルを組込んだ時刻歴応答解析を実施し、多数回繰返しによる粘性ダンパーの性能低下が建物応答に与える影響について評価する。最後に、繰返しによる性能低下を考慮しない通常の粘性ダンパーモデルを用いた場合のエネルギー密度を利用した簡易な応答評価手法について述べる。さらに、簡易な応答評価手法をより経済的な手法とするための新たなパラメータの検討を行う。

2. 長時間正弦波加振実験と特性値低下を考慮した解析モデル

3種類の実大粘性ダンパー（表１）を用いて行った、様々な条件における正弦波加振実験（表2）より得られた、累積吸収エネルギーによるダンパー最大力の低下率の変化を図1に表す[2]。

表１　粘性ダンパー諸元

試験体	l (mm)	ダンパー				ブレース			$F_{d,max}$ (kN)	
		l_d (mm)	A_d (mm²)	ϕ_d (mm)	C_d 規格値	l_b (mm)	A_b (mm²)	ϕ_d (mm)	$u_{d,max}$ 15kine	$u_{d,max}$ 30kine
D1-2F D2-2F	3947	606	12880	184	98	2104	8320	159	658	856
D3-2F	3849	689	28124	286	196	1542	15323	236	1316	1712

※ C_d の単位は kN/(mm/s)$^\alpha$ であり，α, K_dの規格値はそれぞれ 0.38，∞である。

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_d (mm)	加振時間 t_0 (s)	サイクル数	初期温度 θ_0 (°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

※D3-2F のみ大容量，それ以外は中容量

表３　α, C_d の近似式と値 [3]

	$\alpha=A_1 u_{d0}^{A2}$		$C_d^{(0)}=A_3 u_{d0}^{A4}$ (kN(s/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

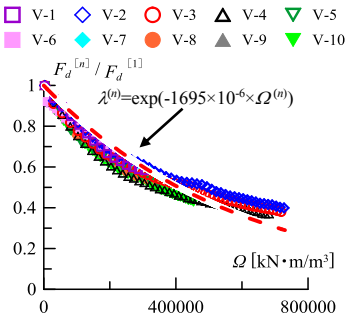


図１　ダンパー力の低下率

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[3]。図2に粘性ダンパー側面図、図3にセットアップ図を示す。ここに、C_dは粘性係数、αはべき乗指数である。ダンパー部の変形はストローク部上下左右4点で計測し、歪ゲージは、ブレース中央部と中央部から±100mmの位置全3断面（i = 1~3）に4枚ずつ添付している。なお、ダンパー力はブレース中心部における歪より算出を行っている。

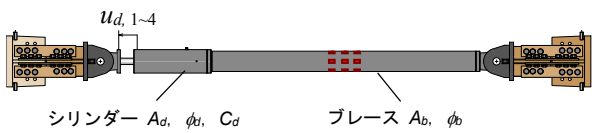


図２　粘性ダンパー側面図

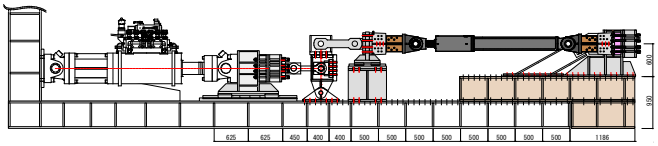


図３　粘性ダンパーセットアップ図

図1より、条件（周期、振幅、加振時間、初期温度、ダンパー容量）に関わらず、エネルギー密度Ωで整理することで粘性ダンパーの最大力の低下を統一的に評価できることが分かる。なお、本報で用いる粘性ダンパーの履歴は、ほぼ矩形の形状（図4、後述）を示すことから、ダンパーの最大力だけでなく、1サイクル当たりのエネルギー吸収量や損失係数[1)]の低下率も、ほぼ同様の傾向となる。よって、以降それらをまとめてダンパーの特性値と呼ぶ事とする。

図1中の破線は式(1)に示した粘性係数の低下率$\lambda^{(n)}$を示しており、$\lambda^{(n)}$は実験より得られた粘性ダンパーの特性値の低下と良く対応していることが分かる。

$$\lambda^{(n)} = \exp\left(-a_0 \cdot \Omega^{(n)}\right) \tag{1}$$

ここに、a_0はエネルギーの累積吸収による低下の程度を表す係数であり、同じ流動抵抗式の粘性ダンパーでも規格によっては異なる値をとる。本報では、実験結果より得られた1.695×10^{-6} m^2/kN [2)]を用いる。エネルギー密度 $\Omega^{(n)}$は式(2)で定義され、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。

$$\Omega^{(n)} = \frac{\sum W_d^{(n)}}{V_V} \tag{2}$$

ここで、$\Sigma W_d^{(n)}$ はダンパーの累積エネルギー吸収量、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。

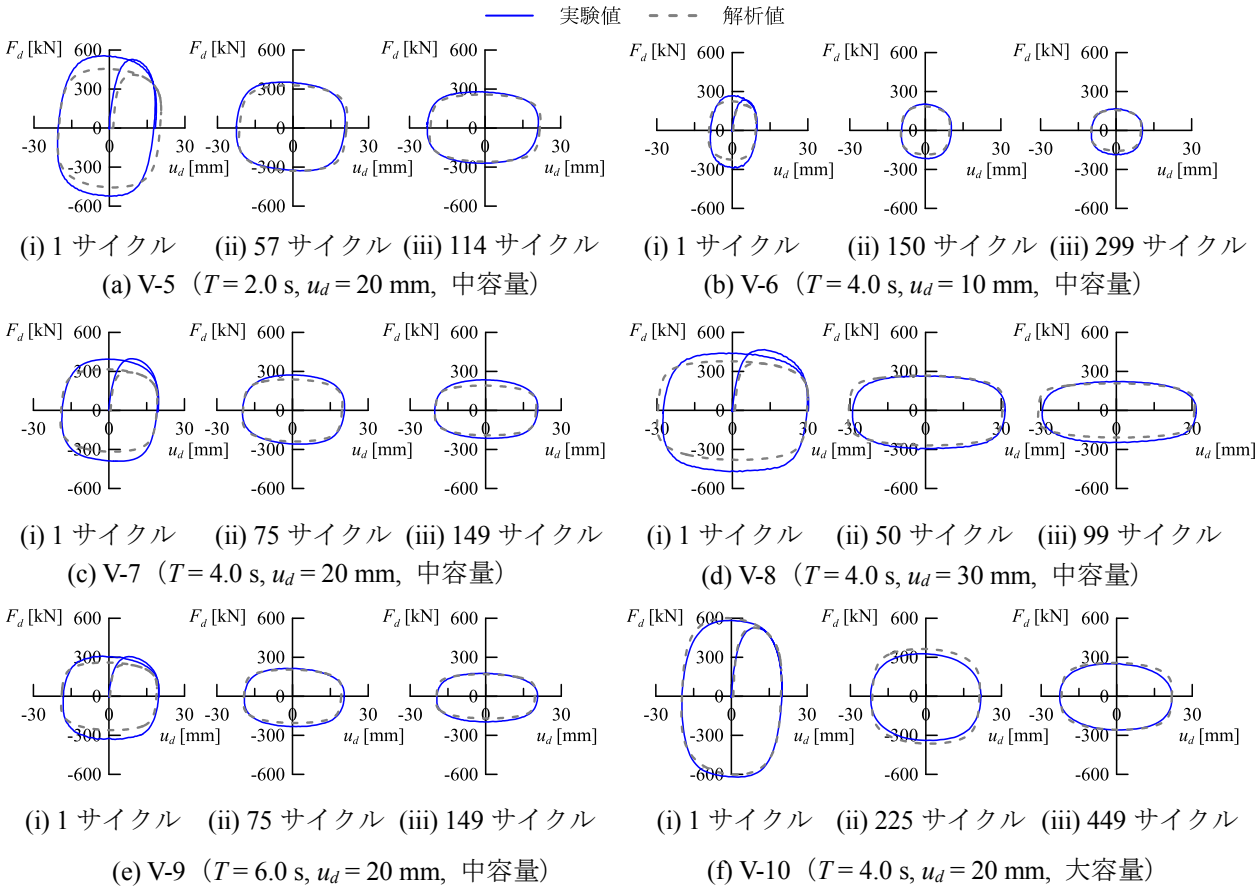
上記の実験結果を踏まえて、長時間繰り返しによる粘性ダンパーの特性値低下を考慮した解析モデルを提案する。粘性ダンパーをMaxwell体で表すと、任意の解析時間ステップnにおける粘性ダンパーの荷重 $F_d^{(n)}$は、式(3)で表される[3)]。

$$F_d^{(n)} = C_d^{(n)} \cdot \left|\dot{u}_d^{(n)}\right|^{\alpha} \cdot \mathrm{sgn}\left(\dot{u}_d^{(n)}\right) \tag{3}$$

ここで、α は べき乗指数、$\dot{u}_d^{(n)}$ は n ステップにおける粘性要素の速度である。繰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、$\lambda^{(n)}$を用いて式(4)より算出される。

$$C_d^{(n)} = \lambda^{(n)} \cdot C_d^{(0)} \tag{4}$$

提案した粘性ダンパーの解析モデルに実験と同じ正弦波の強制変位を与えて、実験値と比較することで解析モデルの精度を検証する。図 4 に実験結果と解析結果を比較した履歴の一例（V-5～V-10、表 2）を示す。なお、解析に用いる粘性ダンパーの α および $C_d^{(0)}$ は表 3 の値 [3)]を用いて算出した。ここで、表中の u_{d0} は変位振幅を意味する。図 4 より、繰返しによるダンパーの特性値低下を考慮した解析モデルは、いずれの実験においても、ダンパー特性が変化する傾向を精度良く再現できていることが確認できる。



(i) 1 サイクル　(ii) 57 サイクル　(iii) 114 サイクル　(i) 1 サイクル　(ii) 150 サイクル　(iii) 299 サイクル

(a) V-5（T = 2.0 s, u_d = 20 mm, 中容量）　(b) V-6（T = 4.0 s, u_d = 10 mm, 中容量）

(i) 1 サイクル　(ii) 75 サイクル　(iii) 149 サイクル　(i) 1 サイクル　(ii) 50 サイクル　(iii) 99 サイクル

(c) V-7（T = 4.0 s, u_d = 20 mm, 中容量）　(d) V-8（T = 4.0 s, u_d = 30 mm, 中容量）

(i) 1 サイクル　(ii) 75 サイクル　(iii) 149 サイクル　(i) 1 サイクル　(ii) 225 サイクル　(iii) 449 サイクル

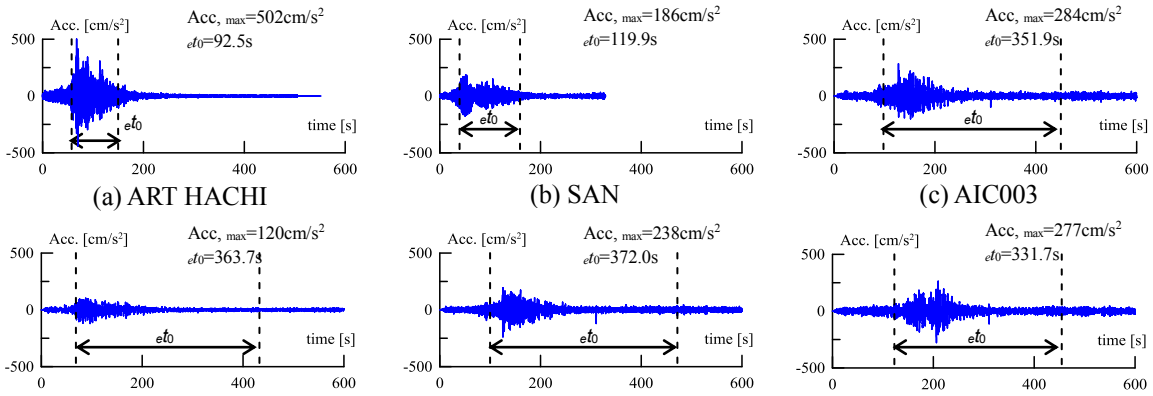
(e) V-9（T = 6.0 s, u_d = 20 mm, 中容量）　(f) V-10（T = 4.0 s, u_d = 20 mm, 大容量）

図 4　実験値と解析値の比較

3. 粘性ダンパーの性能低下を考慮した制振建物の時刻歴応答解析

3.1 入力地震動概要

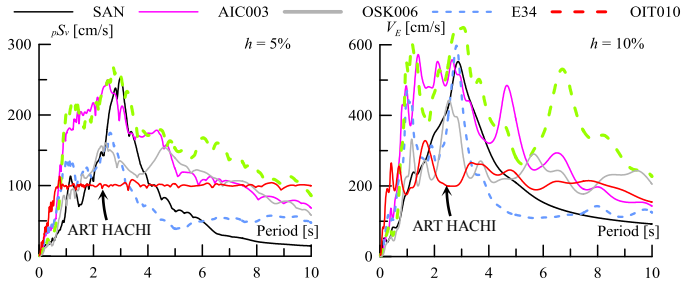
入力地震動として、東海・東南海地震動を想定した東海地方の長周期地震動である三の丸波（SAN）[4]、南海トラフ4連動地震（工学的地盤）[5]を想定した津島波（AIC003）、堺波（OSK006）、JMA名古屋波（E34）、大分波（OIT010）の計5波を採用する。また、ダンパー設計用の地震動として、レベル2地震動（ART HACHI）を用いる。図5に加速度波形、図6(a), (b)に擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$ (h = 5 %)，エネルギースペクトル V_E (h = 10 %) をそれぞれ示す。図5中には、最高加速度Acc,maxとともに実効地震継続時間 ${}_et_0$[6] を併せて示す。図6より、主架構の1次固有周期（2.69 s）付近に${}_pS_v$,V_E のピークを有し、いずれもレベル2地震動（ART HACHI）より大きい値を有する地震動であることが分かる。



(a) ART HACHI　(b) SAN　(c) AIC003

(d) OSK006　(e) E34　(f) OIT010

図 5　入力地震動加速度波形



(a) 擬似速度応答スペクトル　(b) エネルギースペクトル

図 6　地震動のスペクトル

3.2 建物モデルの概要

本報では、建物高さ81.7 mの20層の鋼構造建物を対象とし[7]、20質点の等価せん断モデルを用いる。主架構の1次固有周期 T_1 は2.69 sである。なお、主架構の弾性範囲を大きく超える応答となる場合があるが、繰返しによるダンパーの性能低下が建物応答に与える影響を評価することが本報の目的であるため、主架構を弾性として解析を行う。

また、ダンパー設計用の建物モデルにおいては、構造減衰を同様にレーリー型減衰とし、1 次と 2 次でそれぞれ等価な 1, 2, 5, 10 %の 4 種類とする。減衰 1%はフレームのみ、2, 5, 10%はダンパーが設置されていることを想定している。

3.3 ダンパー配置

制振建物の時刻歴応答解析において用いる粘性ダンパーは、長時間正弦波加振実験において用いたD2-2F（表1）とする。なお、以降で用いる粘性ダンパーのα および$C_d^{(0)}$ は、表3に示す値ではなく、規格値[3]を使用している。本報では、図7のようにダンパーと支持部材は直列にモデル化し、内部剛性 K_d と支持部材剛性 K_b をまとめて等価支持材剛性 K_b^* で表す（表4）[3]。

図8に高さ方向における粘性ダンパーの粘性係数を示す。本報では2種類のダンパー配置を設定した。ここで、ダンパー配置の設定は、3.1節, 3.2節で示したダンパー設計の条件においての時刻歴応答解析結果より決定している。図9(a),(b)に時刻歴応答解析より得られた層間変形角および絶対加速度の最大値をそれぞれ示す。図9(a)より、V100ではレベル2相当の地震動において層間変形角 R = 1/100以内、V150では1/150以内となっていることが確認できる[8]。ここでは、レベル2相当の地震動としてコーナー周期T_c = 0.64 s以降の領域で、速度応答スペクトルS_v = 100 cm/s (h= 5 %)となる模擬地震動波形ART HACHI(位相特性：HACHINOHE 1968 EW)を採用した。なお、建物の全体曲げ変形などによってダンパーの実効変形が低下する影響[9]を無視してダンパー量を設計した。実効変形の低下を考慮した場合については文献10)を参照されたい。

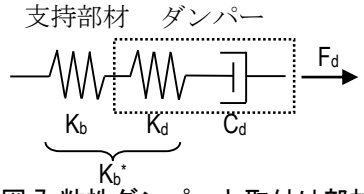


図 7 粘性ダンパーと取付け部材からなる付加系

表 4 等価支持材剛性 [3]

	K_d [kN/cm]	K_b [kN/cm]	K_b^* [kN/cm]
D2-2F	2663	2525	1296.1

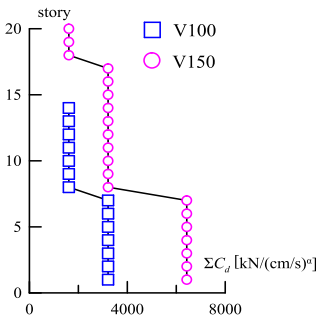
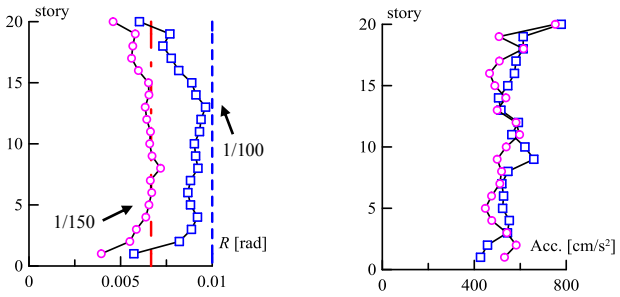


図 8 粘性係数の設定

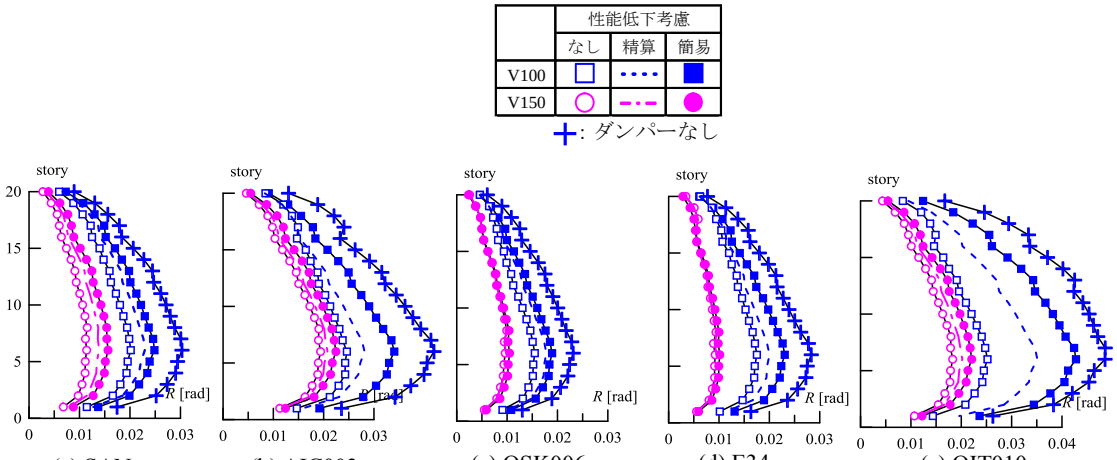


(a) 層間変形角　(b) 絶対加速度

図 9 時刻歴応答結果(ART HACHI 入力時)

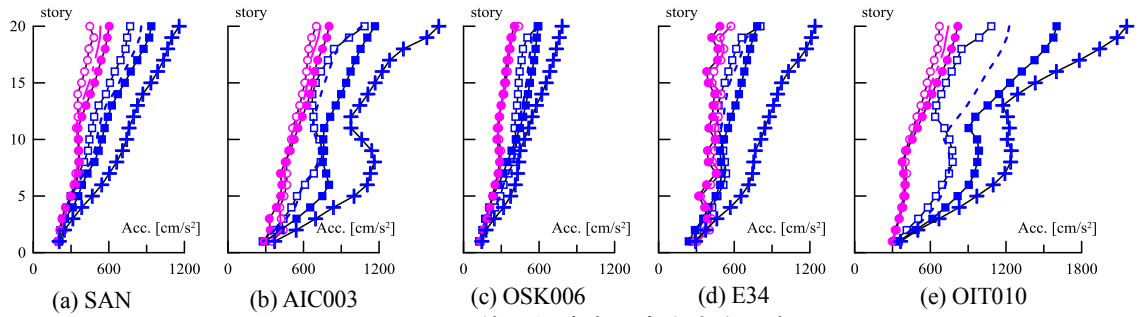
3.4 長周期地震動を用いた時刻歴応答解析結果

図 10, 11 に時刻歴応答解析より得られた層間変形角および絶対加速度の最大値をそれぞれ示す。ここで凡例は、性能低下考慮なし、精算手法、簡易手法、さらにダンパー設置なしを示している。はじめに、図 10, 11 からダンパー設置によって層間変形角、絶対加速度ともに応答が低減している事が確認できる。次に、V100 および V150 のダンパー設定したモデルに対して、特性値低下を考慮せず粘性係数の初期値 $C_d^{(0)}$のまま解析を行ったもの（以降、考慮なし）と、2 章で示した繰返しによる効果を考慮し、粘性係数をステップごとに低下させて解析を行った粘性ダンパーの解析モデル（以降、精算手法）の結果（図 10, 11 の破線）を比較する。図 10 より、V150 において精算手法が考慮なしに対して、SAN,AIC003,OIT010 では繰返しによる粘性ダンパーの性能が低下することで層間変形角が増大していることが分かる。一方で、層間変形角が 1/100 以内に収まっている OSK006, E34 では、応答は大きく増大せず、考慮なしと精算手法は同等の結果となった。なお、附録 A に ART HACHI での特性値低下を考慮した応答結果を示す。



(a) SAN　(b) AIC003　(c) OSK006　(d) E34　(e) OIT010

図 10 層間変形角の高さ方向分布

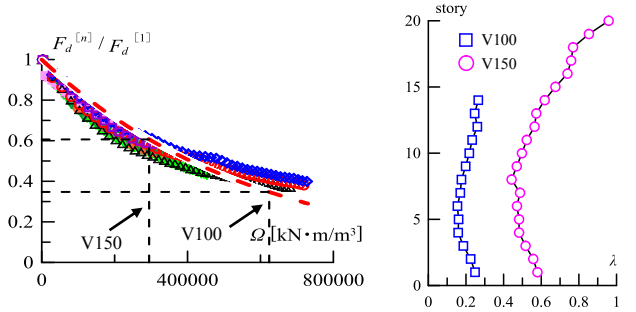


(a) SAN　(b) AIC003　(c) OSK006　(d) E34　(e) OIT010

図 11 絶対加速度の高さ方向分布

ダンパー量の少ないV100において精算手法と考慮なしを比較すると、入力エネルギーの大きいAIC003, OIT010での著しい応答の増加が見られる。図11の絶対加速度においても同様の傾向が見られる。ダンパー量が少ない場合、ダンパー1基当たりで吸収するエネルギーが多くなるためダンパーの性能低下が顕著となる。その場合、ダンパーの1サイクル当たりのエネルギー吸収性能も低下するため応答が増大する。少ないダンパー量で設計している制振構造では、長周期地震動時に応答が増大するため注意が必要である。

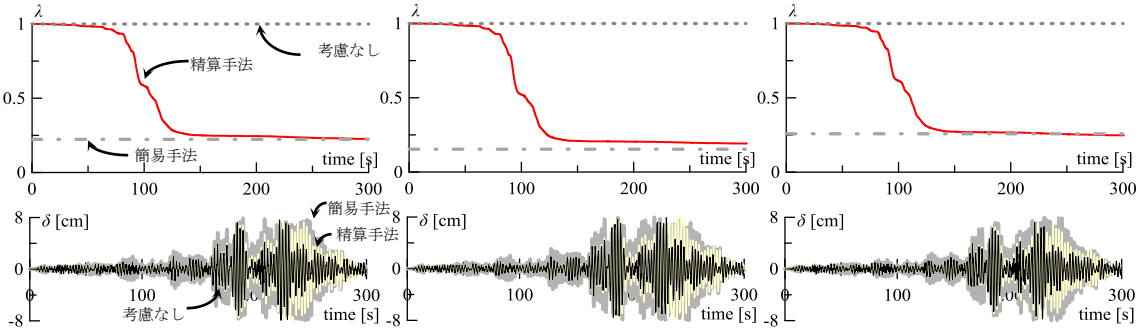
次に、考慮なしの解析より得られた地震終了時におけるダンパーのエネルギー密度 Ω（式(2)）から、各層の粘性係数の低下率λ（式(1)）を評価し（図12）、粘性係数の初期値$C_d^{(0)}$ をλ 倍低下させて、その値を初期値（一定）として、再度時刻歴応答解析を行ったもの（以降、簡易手法）と精算手法を比較する。図10,11より、層間変形角、絶対加速度ともに精算手法は考慮なしと簡易手法の間に位置することが確認できる。簡易手法は、繰り返しによる粘性ダンパーの特性値が変化する解析モデルが無い場合でも、容易にその影響を考慮した応答評価が可能であるため有用であるが、応答が大きい場合に過大評価となってしまう場合もある。一方で、精算手法はより詳細な設計を行うことが可能である。



(a) 特性値低下の評価（6 層）　(b) 粘性係数低下率

図 12 簡易手法による粘性係数の低下（OIT010 入力時）

最後に、V100でのOIT010入力時における、考慮なしと精算手法、簡易手法での層間変形（2, 6, 12層）を比較した結果と、粘性係数の低下率λの時間変化を図13に示す。結果より、粘性係数の低下率λの時間変化（図13、上段）に着目すると、特性値低下を考慮していない場合では精算手法に比べて、層間変形の最大値およびその後の変形を過小評価してしまうことが分かる。簡易手法と精算手法を比較すると、2, 6, 12層全てにおいてλの低下が少なくなっている。これは、特性値低下によって層間変形が大きくなっているためと考えられる。また、層間変形の時刻歴（図13、下段）に着目すると、簡易手法では精算手法に比べて全ステップにおいて応答が大きく、より安全側に評価できていることが分かる。これは簡易手法の粘性係数が、考慮なしの解析より得られた地震終了時におけるダンパーのエネルギー密度 Ωを元に算出され、時々刻々と粘性係数を変化させている精算手法に比べ、より過大に特性値低下を考慮しているためである。



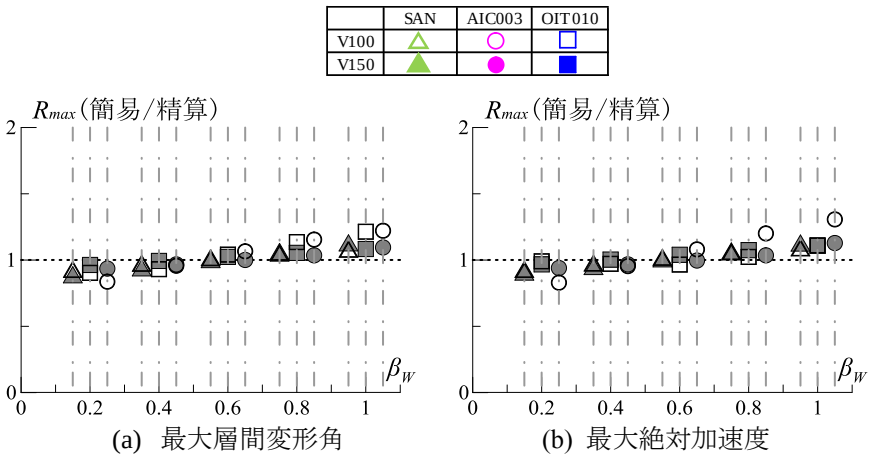
(a) 2 層　(b) 6 層　(c) 12 層

図 13 粘性係数の低下率（上段）と層間変形（下段）の時刻歴（V100, OIT010）

4. 簡易手法の改善

簡易手法では、繰返しによる性能低下を考慮した粘性ダンパーの解析モデルが無い場合でも容易にその影響を加味した応答を評価できるが、応答が大きい場合には過大評価となってしまう。そこで、簡易手法をより経済的な設計手法とするため、式(5)に示すように地震終了時の累積エネルギー吸収量ΣW_dの係数としてエネルギー低減係数β_wを設定し、精算手法と簡易手法、2つの手法による最大応答値を比較した結果より考察する。ここで、n_eは地震終了時のステップを表す。エネルギー低減係数β_wを1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2とした時の、精算手法に対する簡易手法の最大層間変形角と最大絶対加速度を図14に示す。ここで、3.1節で示した入力地震動5波のうち、精算手法に対する簡易手法の最大層間変形角の値が大きい結果となったSAN、AIC003、OIT010の計3波を採用した。図14(a)に着目すると、全ての地震動においてエネルギー低減係数β_wを低下させるに従い、層間変形角比は減少する傾向を示している。精算手法による結果に対し簡易手法による時刻歴応答解析結果がより安全側($R_{max} \geqq 1$)になるのはエネルギー低減係数β_wが0.8~1.0の時であり、簡易手法をより経済的な手法として使用するための指標の1つとなり得る。図14(b)の最大絶対加速度においても最大層間変形角と同様の傾向を示していることが分かる。

$$\Omega_e = \frac{\beta_w \sum W_d^{(n_e)}}{V_V} \tag{5}$$



(a) 最大層間変形角　　(b) 最大絶対加速度

図 14 エネルギー低減係数を用いた簡易手法と精算手法の比較

5. まとめ

文献2)では、流動抵抗式の実大粘性ダンパーの長時間正弦波加振実験の結果から、粘性ダンパーの繰返しによる特性値の低下はダンパーのエネルギー吸収量を粘性体の容積で除したエネルギー密度で統一的に評価できることが示されている。このエネルギー密度を利用して粘性ダンパーの性能低下の傾向を考慮した解析モデルを提案し、実験結果を高い精度で再現できる。

本報では、繰返しによる粘性ダンパーの性能低下を考慮しない場合の応答，提案した解析モデルによる応答（精算手法）および，提案した解析モデルを用いずに、性能低下の影響を考慮した応答（簡易手法）を比較した。少ないダンパー量で設計を行った制振構造は、長周期地震動を受けた際にダンパーの性能低下の影響を受けて応答が増大することが分かった。

簡易手法は繰返しによる性能低下を考慮した粘性ダンパーの解析モデルが無い場合でも容易にその影響を加味した応答を評価することが可能であるが、応答が大きい場合には過大評価になる。一方で、精算手法はより詳細な設計を行うことが可能である。そこで、簡易手法をより経済的な設計手法とするため、新たなパラメータであるエネルギー低減係数β_wを検討した。精算手法による結果に対し簡易手法に

よる時刻歴応答解析結果がより安全側(R_{max} ≧ 1)になるのはエネルギー低減係数β_wが0.8 ~ 1.0の時であり、簡易手法をより経済的な手法として使用するための指標の1つとなり得ることが分かった。今後は、このエネルギー低減係数β_wを入力地震波や建物モデル,ダンパー量等の条件を変えて考察していく必要がある。

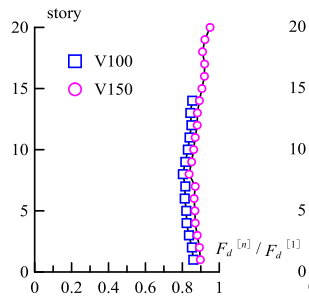
参考文献

1) 日本免震構造協会：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル, 第3版, 2013.11
2) 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
3) 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
4) 愛知県建築住宅センター : 名古屋三の丸地区における地域特性を考慮した耐震改修のための基盤地震動の作成 (概要版), (財) 愛知県建築住宅センター耐震構造委員会設計用入力地震動検討部会, pp.1-48, 2004.6
5) 超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討 - 南海トラフ4連動地震による超高層・免震建物の応答解析 - , 建築研究資料 No.147, pp.1-336, 2013.9
6) Trifunac, M.D. and Brady, A.G.:A Study on Duration of Strong Earthquake Ground Motion., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.65, No.3, pp.581-626, June 1975
7) 日本建築学会：鋼構造制振設計指針, 第1版, 2014.11
8) 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
9) 石井正人, 笠井和彦 : 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第647号, pp.103-112, 2010.1
10) 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4 20質点モデルによる時刻歴応答解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.613-614,2017.8
11) 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
12) 岡田亮佑, 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.611-612,2017.8

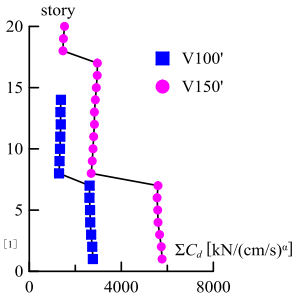
附録A

1. ART HACHI での特性値低下を考慮した応答結果

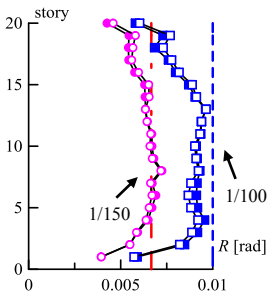
付録としてART HACHI入力時での特性値低下を考慮した応答結果を示す。エネルギー吸収量が小さいために（図6(b)）、ダンパーの性能低下が殆ど起こらないことが確認できる。



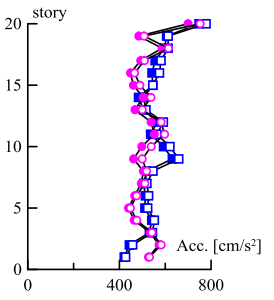
附図1 特性値低下率



附図 2 粘性係数



(a) 層間変形角



(b) 絶対加速度

附図 3 ART HACHI 入力時における高さ方向の分布