

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層制振建物の長周期地震動に対する応答評価法
Title(English)	Response Evaluation of High-Rise Building with Stud-Type VE Damper under long-period ground motion
著者(和文)	太木本仁志, 佐藤大樹, 戸張涼太, 森隆浩, 吉永光寿, 安永隼平, 金城陽介
Authors(English)	Hitoshi Takimoto, Daiki Sato, Ryota Tobari, Takahiro Mori, Mitsutoshi Yoshinaga, Jumpei Yasunaga, Yosuke Kaneshiro
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 909-910
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , pp. 909-910
発行日 / Pub. date	2020, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層制振建物の長周期地震動に対する応答評価法

制振構造
長周期地震動

間柱型
超高層建物

粘弾性ダンパー

正会員 ○太木本仁志*1 同 佐藤大樹*2
同 戸張涼太*3 同 森 隆浩*4
同 吉永光寿*3 同 安永隼平*5
同 金城陽介*5

1.はじめに

近年、長周期地震動に対する関心が高まっている¹⁾。本研究で対象とする間柱型粘弾性ダンパーは主架構の損傷を抑えることを目的として設置されるが、長周期地震動が発生した際、長時間の繰返し加振により、その特性が変化することが懸念される。そのため、制振建物の応答を評価する場合、ダンパーの特性変化を考慮した検討が必要となる。

文献2)ではダンパーの特性変化を考慮した簡易的な解析手法として、ダンパーの特性変化を考慮しない解析から得られたエネルギー密度 Ω より、ダンパー特性値の低下率を算出し、その低下率を初期値として再度解析を行う手法(簡易手法)を示した。

本報ではダンパーの特性変化を考慮した、より詳細な解析手法として、時々刻々と動的特性が変化するダンパー解析モデルを用いた解析(精算手法)を示し、簡易手法と比較する。

2.建物モデルおよびダンパー解析モデル、入力地震動概要

解析に用いる建物モデルは文献2), 3)に示す50層建物モデルとし、ダンパーの配置も同様とする。計640基のダンパーを設置し、ダンパー量 α_{di} は0.6%となる。構造減衰は主架構のみのモデルの1次固有周期に対して減衰定数 $\zeta = 0.02$ となる初期剛性比例型とする。解析にはRESP-Dを用いる。長辺方向を解析対象とし、主架構のみの総重量 W は806,039

kN、1次固有周期は7.38sである。解析に用いる間柱型粘弾性ダンパーをFig.1に示す。支持柱および粘弾性パネルの諸元について、1つの粘弾性体のサイズは $A_s = 484 \times 484 \text{ mm}^2$ が2面、厚さ $d = 25 \text{ mm}$ で2つの粘弾性パネルが連なっている。上下の支持部材はH形鋼で寸法はH-1100 \times 300 \times 16 \times 28とする。ダンパーの解析モデルは文献4)に示すものを用いた。なお本報ではダンパーの重量もモデル化している。入力地震動には海溝型地震に分類される1968年の十勝沖地震におけるHACHINOHE EW成分を用いた模擬波(以降、この模擬波をART HACHIと呼ぶ)と基盤促波であるOS2, OS1の3波を採用する⁵⁾。

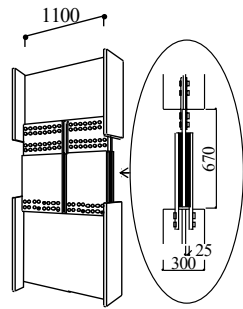


Fig.1 Viscoelastic damper [unit: mm]

3.ダンパー特性値の繰返し加振による低下の傾向

長時間正弦波加振実験⁶⁾より、エネルギー密度 Ω に対する等価せん断弾性率 G_{eq} 、等価減衰定数 H_{eq} の低下率 $g\lambda_\Omega$ 、 $h\lambda_\Omega$ を評価できる近似式(中央式・下限式)はFig.2の点線のように表され、

中央式は式(1), (2)で、下限式は式(3), (4)で表される。

$$g\lambda_\Omega = \frac{0.002}{\Omega^{1.323} + 0.005} + 0.6, \quad h\lambda_\Omega = \frac{0.0017}{\Omega^{1.206} + 0.0115} + 0.85 \quad (1), (2)$$

$$g\lambda_\Omega = \frac{0.018}{\Omega^{0.922} + 0.029} + 0.4, \quad h\lambda_\Omega = \frac{0.017}{\Omega^{1.06} + 0.05} + 0.65 \quad (3), (4)$$

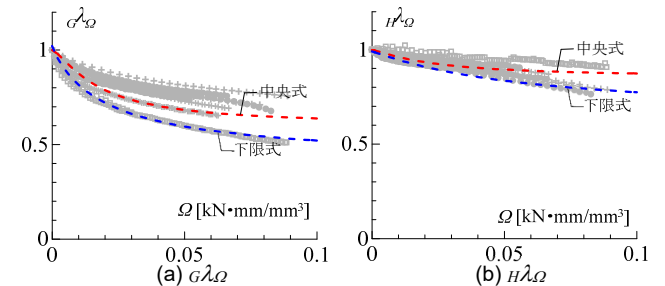


Fig.2 Normalized dynamic properties vs. energy density

簡易手法はダンパーの特性変化を考慮しない解析(特性変化なし)より得られた Ω から近似式(中央式・下限式)より $g\lambda_\Omega$ 、 $h\lambda_\Omega$ を算出し、その低下率を初期値として文献7)に示す特性変化を考慮できる解析モデルを用いて再度解析を行う手法である²⁾。Table1に特性変化なしの解析から得られた Ω および中央式、下限式より算出した $g\lambda_\Omega$ 、 $h\lambda_\Omega$ を示す。簡易手法では各層に設置されているダンパー特性値を一律にこれらの低下率として解析を行う。それに対して精算手法はダンパーの動的特性が時々刻々と変化する解析モデルを用いた解析である。

Table1 Damper parameters

Case	Ω [kN·mm/mm ³]	中央式		下限式	
		$g\lambda_\Omega$ [-]	$h\lambda_\Omega$ [-]	$g\lambda_\Omega$ [-]	$h\lambda_\Omega$ [-]
ART HACHI	0.0072	0.91	0.97	0.84	0.96
OS2	0.0124	0.85	0.95	0.78	0.94
OS1	0.0266	0.75	0.92	0.67	0.89

4.実験と時々刻々と特性が変化する解析モデルの比較

Fig.3に長時間正弦波加振実験において载荷条件が $f = 0.33 \text{ Hz}$ 、 $\gamma_d = 100\%$ の実験および特性変化を考慮した解析(中央式・下限式)のダンパーせん断応力 τ_d -ひずみ γ_d 関係を示す。Fig.3より、解析では実験と同様に長時間の繰返し加振による τ_d の低下を再現していることが分かる。また、下限式を用いた解析のほうが、中央式を用いた解析より τ_d が低下することが分かる。

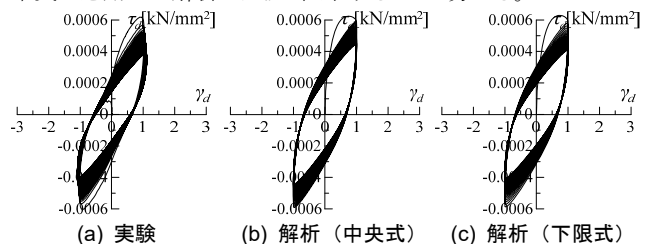


Fig.3 τ_d - γ_d 関係 ($f = 0.33 \text{ Hz}$, $\gamma_d = 100\%$)

5.時刻歴応答解析結果

ダンパーの特性変化を考慮しない解析(特性変化なし)と簡易手法・精算手法の応答を比較する。簡易手法・精算手法では下限式を用いた結果を示す。解析は主架構が弾性とする。Fig.4 に ART HACHI を入力したときの最大応答値の高さ方向分布を示す。Fig.4 より、ART HACHI 入力時、特性変化なしおよび簡易手法、精算手法で概ね同様の応答を示す。また、OS2 を入力したときは ART HACHI と同じく特性変化なしおよび簡易手法、精算手法で応答に違いは見られなかった。Fig.5 に OS1 を入力したときの最大応答値の高さ方向分布を示す。Fig.5 より、最大層間変形角は精算手法を用いた場合、特性変化なしに対し 1.11 倍程度の応答を示す。簡易手法を用いた場合、精算手法に対し 1.31 倍程度の応答を示す。また、頂部の絶対加速度は精算手法を用いた場合、特性変化なしに対し 1.04 倍程度の応答を示す。簡易手法を用いた場合、精算手法に対し 1.13 倍程度の応答を示す。OS1 のような入力エネルギーが大きな地震動の場合、ダンパーの特性変化を考慮すると応答が大きくなることわかる。

Fig.6 に OS1 入力時における粘弾性ダンパー各層 1 基あたりのエネルギー吸収量 w_d の高さ方向分布を示す。Fig.6 より、ダンパーエネルギー吸収量はダンパー特性値を初期値から低下させた簡易手法が最も小さくなる。精算手法は特性変化なしに対し 0.83 倍程度、簡易手法に対して 1.2 倍程度となり、特性変化なしと簡易手法の間となる。Fig.7 にエネルギー吸収量が大きな値となる 5 層のダンパーせん断応力度 τ_d -ひずみ γ_d 関係を示す。Fig.7 より、特性変化なし、精算手法、簡易手法の順に τ_d は小さくなり、 γ_d は大きくなること分かる。Fig.8 に地震終了時の構造減衰によるエネルギーと粘弾性ダンパーによる吸収エネルギーの配分を示す。Fig.8 より、総エネルギー量 W および粘弾性ダンパーによるエネルギー配分はダンパー特性値の低下が大きいほど小さくなる。なお、ART HACHI、OS2 を入力した時、ダンパー特性値を低下させた場合(簡易手法・精算手法)も特性変化なしと概ね変わらない結果となった。

簡易手法はダンパーの特性変化を考慮した時の応答を現行の解析モデルでも評価できる手法であるが、OS1 のような入力エネルギーが大きい地震動の場合、応答を過大に評価する傾向がある。一方、動的特性が時々刻々と変化するダンパー解析モデルを用いた精算手法は、より詳細な応答を把握することができる。

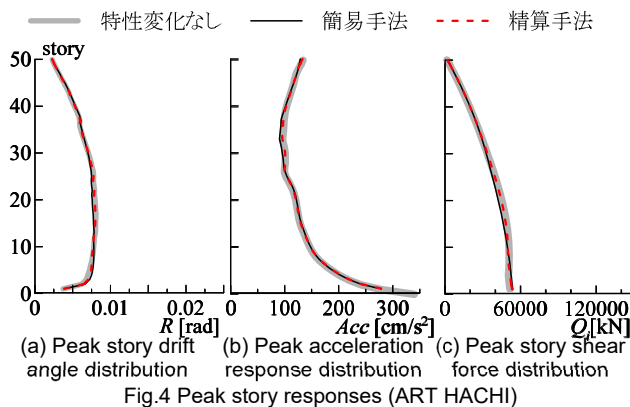


Fig.4 Peak story responses (ART HACHI)

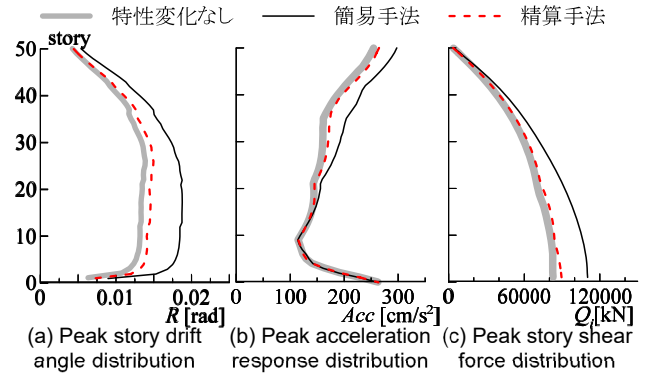


Fig.5 Peak story responses (OS1)

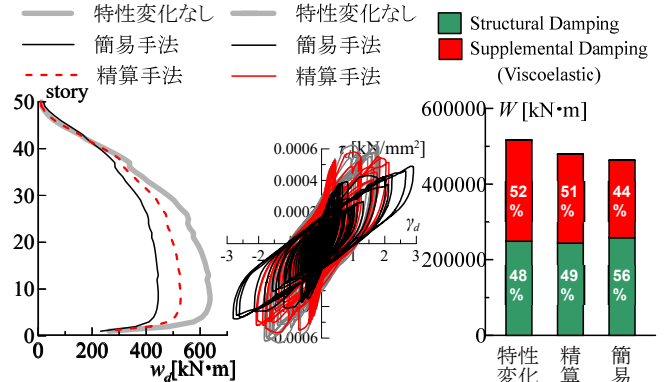


Fig.6 Energy absorption of damper per one unit (OS1)

Fig.7 τ_d - γ_d (OS1, 5F)

Fig.8 Energy distribution (OS1)

6.まとめ

本報では、繰返し加振によるダンパーの動的特性が時々刻々と変化する解析(精算手法)とダンパー特性値を初期から低下させた解析(簡易手法)を比較した。簡易手法は現行のダンパー解析モデルを用いて特性変化を考慮した解析が行えるが、応答を過大に評価する一方、精算手法はダンパーの特性変化を考慮した解析として、より詳細な応答を把握できることを確認した。

謝辞

本報告は、JFEシビル株式会社、JFEスチール株式会社、東京工業大学 佐藤研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。JFEスチール株式会社の植木卓也氏には本報を執筆する上で貴重なご意見を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。本研究の一部は、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムによるものです。

参考文献

- 1) 日本建築学会:長周期地震動と超高層建物の対策案—専門家として知っておきたいこと—, 2013.10
- 2) 太木本 仁志, 佐藤 大樹, 戸張 涼太, 吉永 光寿, 安永 隼平, 金城 陽介:長周期地震動に対する間柱型粘弾性ダンパーの動的特性および超高層制振建物の簡易応答評価法, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), 2020.3
- 3) 太木本 仁志, 佐藤 大樹, 戸張 涼太, 安永 隼平, 植木 卓也:間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物の長周期地震動に対する応答性および性能評価実験, 構造工学論文集, Vol. 66B, 2020.3
- 4) 森隆浩, 櫻井祐, 加藤亨二, 戸張涼太, 吉永光寿, 金城陽介:高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー—その2 時刻歴応答解析用履歴モデル—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.597-598, 2017.7
- 5) 国土交通省:超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について(技術的助言), 2016.6
- 6) 安永隼平, 佐藤大樹, 太木本仁志, 戸張涼太, 植木卓也:間柱型粘弾性ダンパーの長周期地震動に対する性能評価—その2 多数回正弦波加振実験による特性変化の検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.737-738, 2019.9
- 7) 櫻井祐, 森隆浩, 加藤亨二, 戸張涼太, 金城陽介, 植木卓也:高減衰ゴムを用いた間柱型粘弾性ダンパー—その5 性能変動を考慮できる履歴モデル—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.271-272, 2018.9

*1 元 東京工業大学 大学院生
 *2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)
 *3 JFEシビル株式会社
 *4 株式会社ブリヂストン
 *5 JFEスチール株式会社

*1 Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology
 *2 Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng
 *3 JFE Civil Engineering & Construction Corporation
 *4 Bridgestone Corporation
 *5 JFE Steel Corporation