

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	間柱型粘弾性ダンパーの初期温度と性能低下を考慮した超高層建物の応答評価 その6 時刻歴応答解析結果に基づく等価減衰定数の評価手法
Title(English)	Response evaluation of high rise building considering initial temperature and performance degradation of Stud-type VE damper (Part6 Evaluation method of equivalent damping constants based on the results of time history response analysis)
著者(和文)	渡邊斐王羅, 西海隼, 佐藤大樹, Alex Shegay, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也, 森岡宙光
Authors(English)	Hiora Watanabe, Hayato Nishiumi, Daiki Sato, Alex Shegay, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki, Hiromitsu Morioka
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 365-366
Citation(English)	, , , pp. 365-366
発行日 / Pub. date	2023, 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の初期温度と性能低下を考慮した超高層建物の応答評価

その6 時刻歴応答解析結果に基づく等価減衰定数の評価手法

正会員	○渡邊斐王羅*1	同	西海 隼*1	同	佐藤大樹*1
同	Alex Shegay*1	同	戸張涼太*2	同	安永隼平*3
同	植木卓也*3	同	森岡宙光*3		

間柱型粘弾性ダンパー 長周期地震動 超高層建物
性能低下 時刻歴応答解析 等価減衰定数

1. はじめに

前報^{1)~2)}までに、粘弾性ダンパーの正弦波加振実験を行い、繰り返し加振による粘弾性ダンパーの性能低下を近似式を用いて評価した。加えて、粘弾性ダンパーの性能低下を考慮した時刻歴応答解析を行い、建物応答の増大を評価した。本報では、粘弾性ダンパーの性能低下を考慮した場合の建物の等価減衰定数に着目し、その変動を確認する。本報その6では、性能低下を考慮した時刻歴応答解析結果に基づく等価減衰定数の評価手法を示し、本報その7でその検討例を示す。

2. 粘弾性ダンパーの概要

Fig.1に本報で用いる間柱型粘弾性ダンパーを示す。1つの粘弾性体は面積 484×484 mm²、厚さ 25 mm であり、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 形鋼からなり、寸法は H-1100×300×16×28 とする。また、粘弾性ダンパーはせん断ひずみ γ_d 、温度 θ および振動数 f の依存性を有しており、Fig.2 に示す解析モデルを用いる³⁾。

3. 性能低下を考慮した等価減衰定数の評価手法

性能低下を考慮しない場合の等価減衰定数の評価手法は文献 4)で提案されており、性能低下を考慮した場合には本報その5³⁾に示されている。本報その6ではその手法に倣い、時刻歴応答解析結果に基づいて等価減衰定数の評価を行う。以下に評価手順を示す。

(1) Fig.3 に示す多質点系等価せん断型モデルを用いて粘弾性ダンパーの性能低下を考慮した時刻歴応答解析を行う。せん断モデルの作成には文献 6)の手法を用いており、せん断モデルの妥当性は文献 7)で確認されている。

性能低下を考慮する解析手法は、本報その4²⁾と同様の簡易手法と精算手法を想定する。簡易手法は、性能低下を考慮しない解析(以降、低下なし)を行い、地震入力終了時 $t = t_0$ までにダンパーが吸収したエネルギー量を元に、本報その3¹⁾で提案した近似式より $G_{\Omega\theta}(t_0)$ と $H_{\Omega\theta}(t_0)$ を算出し、等価せん断弾性率 G_{eqi} および等価減衰定数 H_{eqi} を初期値から低下させて再度解析を行う手法である。精算

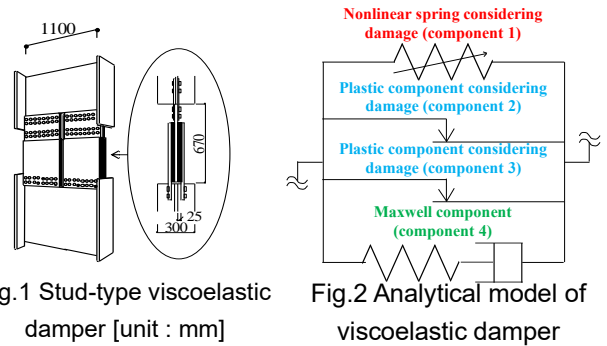


Fig.1 Stud-type viscoelastic damper [unit : mm]

Fig.2 Analytical model of viscoelastic damper

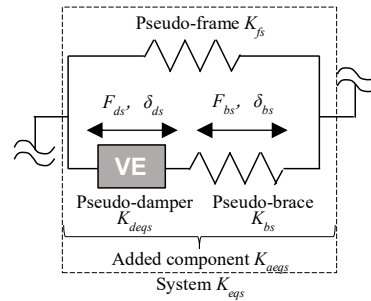


Fig.3 Shear model

手法は、解析ステップごとに算出されるダンパーのエネルギー吸収量から $G_{\Omega\theta}(t)$ および $H_{\Omega\theta}(t)$ を算出し、ステップごとに G_{eqi} および H_{eqi} を低下させながら解析を行う手法である。

(2) 時刻歴応答解析による各層の擬似ダンパーの最大変形 $\delta_{dsi}(t_{mi})$ と厚さ d_{dsi} から最大せん断ひずみ $\gamma_{dsi}(t_{mi})$ を次式で算出する。ここで、 (t_{mi}) とは i 層のダンパーの変形が最大となる時刻 $t = t_{mi}$ の値であることを示す。

$$\gamma_{dsi}(t_{mi}) = \delta_{dsi}(t_{mi}) / d_{dsi} \tag{1}$$

(3) 擬似ダンパーの等価剛性 K_{deqsi} 、付加系の等価剛性 K_{aeqsi} およびシステムの等価剛性 K_{eqsi} をそれぞれ式(2)~(4)で算出する。

$$K_{deqsi} = \frac{A_{dsi} \tilde{G}_{eq}}{d_{dsi}} \cdot G^{\lambda_{\gamma_i}} \cdot G^{\lambda_{\theta}} \cdot G^{\lambda_f} \cdot G^{\lambda_{\Omega\theta}}(t_{mi}) \tag{2}$$

$$K_{aeqsi} = \frac{K_{bsi} \cdot K_{deqsi}}{K_{bsi} + K_{deqsi}} \tag{3}$$

$$K_{eqsi} = K_{fsi} + K_{aeqsi} \tag{4}$$

ここで、 \tilde{G}_{eq} は温度 20°C、振動数 0.33 Hz、せん断ひずみ

Response evaluation of high rise building considering initial temperature and performance degradation of Stud-type VE damper (Part6 Evaluation method of equivalent damping constants based on the results of time history response analysis)

WATANABE Hiora, NISHIUMI Hayato, SATO Daiki, Alex SHEGAY, TOBARI Ryota, YASUNAGA Jumpei, UEKI Takuya, MORIOKA Hiromitsu

100%における粘弾性ダンパーの等価せん断弾性率 (= 0.641 N/mm²) である。また、 $G\lambda_\theta$, $G\lambda_f$, $G\lambda_{\gamma_i}$ はそれぞれ等価せん断弾性率の温度補正係数、振動数補正係数およびせん断ひずみ補正係数であり、それぞれ式(5)~(7)で定義される⁸⁾。

$$G\lambda_\theta = -9.029 \times 10^{-5} \times \theta^2 - 1.668 \times 10^{-2} \times \theta + 1.3697 \quad (5)$$

$$G\lambda_f = 1.1836 + 0.3813 \times \log_{10} f_f \quad (6)$$

$$G\lambda_{\gamma_i} = 0.42960 + 2.6355e^{\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{0.65317}} + 5.5626e^{\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{0.10130}} \quad (7)$$

ここで、振動数 f_f は $1/T_f$ の逆数とした。

(4) 最大応答での定常振幅時における i 層の 1 次等価減衰定数 $1\zeta_{eqimax}$ を次式で算出する。

$$1\zeta_{eqimax} = \Delta W_{si} / 4\pi W_{si} \quad (8)$$

ここで、 W_{si} は各層の弾性ひずみエネルギー、 ΔW_{si} は各層の 1 サイクルの吸収エネルギーであり、それぞれ式(9)、(10)で表される。

$$W_{si} = \frac{Q_{fsimax}^2}{2K_{eqsi}} \quad (9)$$

$$\Delta W_{si} = A_{dsi} \cdot d_{dsi} (E_{1i} + E_{2i} + E_{3i} + E_{4i}) \quad (10)$$

ここで、 Q_{fsimax} は擬似フレームに作用する最大層せん断力である。また、本報の粘弾性ダンパーは 4 要素モデル (Fig.2) であり、式(10)中の E_{1i} , E_{2i} , E_{3i} , E_{4i} は各層の 4 要素それぞれのエネルギー吸収量を各層の粘弾性ダンパーの体積で除した値である。ここでは、2 サイクル目以降の定常振動を想定して、 E_{1i} , E_{2i} , E_{3i} , E_{4i} をそれぞれ式(11)~(14)で算出する⁹⁾。

$$E_{1i} = 0 \quad (11)$$

$$E_{2i} = 2 \cdot G_{p1i} \cdot l_1 \left\{ 2 \cdot \gamma_{dsi}(t_{mi}) - l_1 \left(2 \cdot e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{l_1}} \right) \left(1 - e^{-\frac{2\gamma_{dsi}(t_{mi})}{l_1}} \right) \right\} \quad (12)$$

$$E_{3i} = 2 \cdot G_{p2i} \cdot l_2 \left\{ 2 \cdot \gamma_{dsi}(t_{mi}) - l_2 \left(2 \cdot e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{l_2}} \right) \left(1 - e^{-\frac{2\gamma_{dsi}(t_{mi})}{l_2}} \right) \right\} \quad (13)$$

$$E_{4i} = \frac{2\pi^2 f v}{1 + (2\pi f v)^2} \cdot g'_{vi} \cdot \gamma_{dsi}^2(t_{mi}) \quad (14)$$

ここで、 G_{p1i} , G_{p2i} は最大せん断ひずみによる減衰の低減係数であり、最大せん断ひずみ $\gamma_{dsi}(t_{mi})$ で定常振動した場合、それぞれ式(15)、(16)で算出される³⁾。

$$G_{p1i} = \left\{ \theta_p + (1 - \theta_p) e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{\alpha_p}} \right\} \cdot g'_{p1i} \quad (15)$$

$$G_{p2i} = \left\{ \theta_p + (1 - \theta_p) e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{\alpha_p}} \right\} \cdot g'_{p2i} \quad (16)$$

l_1 , l_2 , v , g'_{vi} , θ_p , α_p , g'_{p1i} , g'_{p2i} は粘弾性体の材料定数であり³⁾、特に g'_{vi} , g'_{p1i} , g'_{p2i} は粘弾性ダンパーの初期温度、性能変動によって変化し、それぞれ次式で表される¹⁰⁾。

$$g'_{vi} = G\lambda_\theta \cdot H\lambda_\theta \cdot X_i \cdot Y_i \cdot g_v \quad (17)$$

$$g'_{p1i} = G\lambda_\theta \cdot H\lambda_\theta \cdot X_i \cdot Y_i \cdot g_{p1} \quad (18)$$

$$g'_{p2i} = G\lambda_\theta \cdot H\lambda_\theta \cdot X_i \cdot Y_i \cdot g_{p2} \quad (19)$$

ここで、 g_v , g_{p1} , g_{p2} は粘弾性ダンパーの初期温度 20°C かつ性能変動がない場合の材料定数である³⁾。また、 $H\lambda_\theta$ は等

価減衰定数の温度補正係数であり、次式で定義される⁸⁾。

$$H\lambda_\theta = -2.108 \times 10^{-4} \times \theta^2 + 5.958 \times 10^{-3} \times \theta + 0.9652 \quad (20)$$

X_i , Y_i は粘弾性ダンパーの性能変動による材料定数の補正係数であり、それぞれ次式で算出される¹⁰⁾。

$$X_i = G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_{mi}) \left\{ 1 - 0.026784 \left(H\lambda_{\Omega_i}^{2,2481}(t_{mi}) - 1 \right) \left(H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi}) - 1.3666 \right) \right\} \quad (21)$$

$$Y_i = H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi}) \left\{ 1 + 0.026784 \left(H\lambda_{\Omega_i}^{2,2481}(t_{mi}) - 1 \right) \left(H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi}) - 1.3666 \right) \right\} \quad (22)$$

ここで、 $G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi})$ は精算手法の場合、時刻 t_{mi} までの各層のダンパーの累積エネルギー吸収量を履歴面積から算出し、各層の $G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi})$ を算出した値である。低下なしの場合は各層で $G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omega_i}(t_{mi}) = 1.0$ とし、簡易手法の場合は低下なしの結果から得られた $G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_0)$, $H\lambda_{\Omega_i}(t_0)$ を用いることで、精算手法と同様に算出することができる。

(5) $1\zeta_{eqimax}$ に最大振幅時の等価減衰定数を積分平均値に変換する係数 (積分平均係数) A を乗じて、近似的に各層の等価減衰定数の積分平均値を評価する。擬似フレームのみの j 次固有周期を用いて振動数を算出した場合の i 層の積分平均係数 ${}_jA_i$ および等価減衰定数の積分平均値 $1\zeta_{eqi}$ はそれぞれ式(23)、(24)で表される⁴⁾。

$${}_jA_i = \frac{0.0598(K_{bsi}/K_{fsi})^{0.226} \cdot \gamma_{dsi}(t_{mi}) + 0.682(K_{bsi}/K_{fsi})^{0.140}}{(K_{deqsi}^*/K_{fsi})^{0.465} \cdot (1/jT_i)^{0.535} + (K_{deqsi}^*/K_{fsi})^{0.228}} \quad (23)$$

$$1\zeta_{eqi} = 1\zeta_{eqimax} \cdot {}_jA_i \quad (24)$$

ここで、 K_{deqsi}^* は温度および振動数、性能変動による剛性の変化を考慮したせん断ひずみ 100%時の粘弾性ダンパーの等価剛性であり、次式で表される。

$$K_{deqsi}^* = \frac{A_{dsi} \cdot \tilde{G}_{eq}}{d_{dsi}} \cdot G\lambda_\theta \cdot G\lambda_f \cdot G\lambda_{\Omega\theta_i}(t_{mi}) \quad (25)$$

(6) 各層の 1 次等価減衰定数 $1\zeta_{eqi}$ を弾性ひずみエネルギー W_{si} で重み付けし、建物全体の 1 次等価減衰定数 $1\zeta_{eq}$ を次式で算出する。

$$1\zeta_{eq} = 1\zeta_0 + \frac{\sum_{i=1}^N 1\zeta_{eqi} \cdot W_{si}}{\sum_{i=1}^N W_{si}} \quad (26)$$

4. まとめ

本報その 6 では、粘弾性ダンパーの繰り返し加振による性能低下を考慮した建物の等価減衰定数を時刻歴応答解析結果に用いて評価する方法を示した。本報その 7 では、実際に建物モデルを用いた検討例を示す。

参考文献は本報その 7 に合わせて示す。

*1 東京工業大学

*2 JFE シビル

*3 JFE スチール

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 JFE Civil Engineering & Construction Corporation

*3 JFE Steel Corporation