T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ Science Tokyo Research Repository

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)	
Citation(English)	,,,pp. 365-366
発行日 / Pub. date	2023, 9
	一般社団法人 日本建築学会

 \approx

viscoelastic damper

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 おいては本報その 55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 = to 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 GAQ0i(to)と HAQi(to)を 算出し、等価せん断弾性率 Geqi および等価減衰定数 Heqi 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

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)



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



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 Glaei(t)および Hlai(t)を算出し, ステップ ごとに Geqi および Heqi 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、(tmi)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 Keqsi をそれぞれ式(2)~(4)で算 出する。

$$K_{deqsi} = \frac{A_{dsi} \cdot \overline{G}_{eq}}{d_{dsi}} \cdot {}_{G\lambda_{\gamma i}} \cdot {}_{G\lambda_{\theta}} \cdot {}_{G\lambda_{f}} \cdot {}_{G\lambda_{\Omega \theta i}}(t_{mi})$$
(2)

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

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

ここで, Ĝ_{ea}は温度 20℃, 振動数 0.33 Hz, せん断ひずみ

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, $_{c\lambda_{\theta}}$, $_{c\lambda_{f}}$, $_{c\lambda_{\eta}}$ 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⁾。

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

$${}_{G}\lambda_{f} = 1.1836 + 0.3813 \times \log_{10} f_{f}$$
(6)

$${}_{G}\lambda_{\gamma i} = 0.42960 + 2.6355 e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{0.65317} + 5.5626 e^{-\frac{\gamma_{dsi}(t_{mi})}{0.10130}}}$$
(7)

ここで、振動数 $\int_{f} t_1 T_f$ 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 ξeqimax} を次式で算出する。

$${}_{1}\xi_{eqimax} = \frac{\Delta W_{si}}{4\pi W_{si}}$$
(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。

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

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

$$E_{1i} = 0 \tag{11}$$

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

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

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

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

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

 l_1 , l_2 , v, g'_{vi} , θ_p , a_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。

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

$$g'_{n1i} = {}_{G}\lambda_{\theta} \cdot {}_{H}\lambda_{\theta} \cdot X_{i} \cdot Y_{i} \cdot g_{n1}$$
(18)

$$g'_{n2i} = {}_{G}\lambda_{\theta} \cdot {}_{H}\lambda_{\theta} \cdot X_i \cdot Y_i \cdot g_{n2}$$
(19)

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

*² JFE シビル

価減衰定数の温度補正係数であり、次式で定義される 8。

 $H_{\theta}^{\lambda} = -2.108 \times 10^{-4} \times \theta^{2} + 5.958 \times 10^{-3} \times \theta + 0.9652$ (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。

$$X_{i} = {}_{G}\lambda_{\Omega\theta i}(t_{mi})$$

$$\left\{1-0.026784({}_{H}\lambda_{\Omega i}^{2.2481}(t_{mi})-1)({}_{H}\lambda_{\Omega i}(t_{mi})-1.3666)\right\}$$

$$Y_{i} = {}_{H}\lambda_{\Omega i}(t_{mi})$$

$$\left\{1+0.026784({}_{H}\lambda_{\Omega i}^{2.2481}(t_{mi})-1)({}_{H}\lambda_{\Omega i}(t_{mi})-1.3666)\right\}$$

$$(21)$$

ここで、 $G\lambda_{\Omega\thetai}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omegai}(t_{mi})$ 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 $G\lambda_{\Omega\thetai}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omegai}(t_{mi})$ を算出した値である。 低下なしの場合は各層で $G\lambda_{\Omega\thetai}(t_{mi})$, $H\lambda_{\Omegai}(t_{mi}) = 1.0$ とし、簡 易手法の場合は低下なしの結果から得られた $G\lambda_{\Omega\thetai}(t_0)$, $H\lambda_{\Omegai}(t_0)$ 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*ξ_{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 *iA_i* および等価減衰定数の積分平均値 1*ξ_{eqi}* はそれぞれ式(23), (24)で表される⁴。

$${}_{j}\Lambda_{i} = \frac{0.0598(K_{bsi}/K_{fsi})^{0.226} \cdot \gamma_{dsi}(t_{mi})}{(K_{deqsi}^{*}/K_{fsi})^{0.465} \cdot (1/{}_{j}T_{i})^{0.535}} + \frac{0.682(K_{bsi}/K_{fsi})^{0.140}}{(K_{deqsi}^{*}/K_{fsi})^{0.228}}$$
(23)
$${}_{1}\xi_{eqi} = {}_{1}\xi_{eqimax} \cdot {}_{1}\Lambda_{i}$$
(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。

$$K_{deqsi}^{*} = \frac{A_{dsi} \cdot \widetilde{G}_{eq}}{d_{dsi}} \cdot {}_{G} \lambda_{\theta} \cdot {}_{G} \lambda_{f} \cdot {}_{G} \lambda_{\Omega \theta i}(t_{mi})$$
(25)

(6) 各層の1 次等価減衰定数 ₁*ζ*_{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*ζ*_{eq} を次式 で算出する。

$${}_{1}\xi_{eq} = {}_{1}\xi_{0} + \frac{\sum_{i=1}^{N} {}_{1}\xi_{eqi} \cdot W_{si}}{\sum_{i=1}^{N} W_{si}}$$
(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。

^{*&}lt;sup>1</sup> Tokyo Institute of Technology

^{*&}lt;sup>2</sup> JFE Civil Engineering & Construction Corporation

^{*3} JFE Steel Corporation