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を組み込んだ超高層建物のせん断モデル化 ~ その1間柱型粘弾性ダンパーのみを組み込んだ建物モデルのせん断モデル化 ~
Title(English)	Converting member models into shear models for high-rise building with Stud-type viscoelastic damper. Part I. Converting member models with Stud-type viscoelastic dampers only into shear models
著者(和文)	樹下亮佑, 佐藤大樹, 戸張涼太, 安永隼平, 植木卓也
Authors(English)	Ryosuke Kinoshita, Daiki Sato, Ryota Tobari, Jumpei Yasunaga, Takuya Ueki
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 325-328
Citation(English)	, , , pp. 325-328
発行日 / Pub. date	2021, 3

間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ超高層建物のせん断モデル化

~その1 間柱型粘弾性ダンパーのみを組み込んだ建物モデルのせん断モデル化~

構造-振動

制振構造	間柱型	粘弾性ダンパー
超高層建物	長周期地震動	

1. はじめに

近年、南海トラフ地震の発生が予測されていることか ら,長周期地震動への関心が高まっている。長周期地震動 は継続時間の長いゆっくりとした大きな揺れで遠方まで 伝わる性質を持つ。長周期地震動が発生した際,長い固有 周期を持つ超高層建物は、共振現象により大きな被害を 受ける可能性がある。その対策として、制振部材 (ダンパ ー)を建物に設置し,主架構の損傷を抑える制振構造の需 要が高まっている。制振構造は、制振ダンパーの塑性履歴 エネルギーや粘性減衰の消散により、建物の振動および 振動エネルギーを軽減させ、建物の振動および主架構の 損傷を低減させるものである。しかし、一部のダンパーを 除いて、制振構造の設計には複数の地震波での時刻歴応 答解析が必要であり、自由度が多い部材構成モデルはパ ラメトリックスタディに適していない。そこで、短時間で 時刻歴応答解析を行うことができるせん断モデルを使用 することは, 簡易的に建物応答を評価するための有効な 手段である。笠井, 岩崎は制振ダンパーの実行変形(制振 部材に有効に働く変形)を考慮した1 質点のせん断モデ ルを提案しており¹⁾,石井,笠井によって多質点に拡張さ れている 2)。

そこで本報では、間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ 超高層建物を多質点のせん断モデルに置換し、部材構成 モデルの応答と比較することで、その精度を検証する。そ の1では、制振ダンパーとして間柱型粘弾性ダンパーの みを用いた建物モデルで検討を行う。

2. モデル化概要

2.1 検討対象建物

検討対象建物は,鉄骨造 50 階建の事務所ビルとする。 Fig.1 に検討建物モデルの軸組図と基準階伏図, Table1 に 架構部材の主要断面を示す。階高は1階 5.5 m, 2~50 階

Converting member models into shear models for high-rise building with Stud-type viscoelastic damper.

Part I. Converting member models with Stud-type viscoelastic dampers only into shear models

正会員	○ 樹下亮佑*1	正会員	佐藤大樹*2
]]	戸張涼太*3	11	安永隼平*4
]]	植木卓也*4		





4 m とする。軸組図の赤線,基準階伏図の赤丸は間柱型粘 弾性ダンパーの設置位置を示す。X 方向を解析対象とし, 主架構は弾性とする。主架構のみのモデルの総重量 W は 806,039 kN, 1 次固有周期は 7.39 s である。スラブによる 梁の剛性増大率は片側,両側スラブともに X 方向は 1.3, Y 方向は 1.5 とする。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。なお、本解析には構造計算プログラムである RESP-D, RESP-F3T を用いた。

KINOSHITA Ryosuke, SATO Daiki, TOBARI Ryota, YASUNAGA Jumpei, UEKI Takuya

2.2 本報で用いる間柱型粘弾性ダンパー

本報で用いる間 柱型粘弾性ダンパ ーを Fig.2 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 = 484×484 mm²、厚 さd=25 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



Fig.2 間柱型粘弾性ダンパー [単位:mm]

鋼からなり寸法は H-1100 × 300 ×16 × 28 とする。ダンパ ーの解析モデルは文献 3) 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。

2.3 せん断モデル化手法の概要

以下に実効変形比を考慮したせん断モデル化手法を記 す。主架構バネ(擬似フレーム)は弾性としてモデル化す る。せん断モデルの各要素は,擬似フレーム剛性 K_{fs},擬 似ブレース剛性、K_{bs},粘弾性体のせん断断面積と厚さの換 算値、A_{ds}、,d_{ds}で構成され,それらは Fig.3 に示す状態 N 解析より得られる K_N, ,a_Nと状態 R 解析より得られる、K_{dR} の骨組特性値より算出される(後述)^{1,2)}。





状態 N 解析は,主架構のみの弾性部材モデルの各層に 任意の外力を作用させる解析である。本報では,Ai 分布 に基づいて外力を与えている。状態 N 解析より,第 $i \equiv j$ 番目の制振部材設置箇所における相対変形の水平成分 $\sqrt{\delta_{dN,(i,j)}}$ の層間変形 $\delta_{N,i}$ に対する比 $\sqrt{\alpha_{N,(i,j)}}$ (式(1))を算出す る。 $i 層の層せん断力 Q_{N,i}$ を層間変形で除した層剛性 $K_{N,i}$ (式(2))は主架構のみの弾性層剛性 $K_{fx,i}$ である。

$${}_{v}\alpha_{N,(i,j)} = {}_{v}\delta_{dN,(i,j)}/\delta_{N,i} \tag{1}$$

$$f_{s,i} = K_{N,i} = Q_{N,i} / \delta_{N,i} \tag{2}$$

K

状態 R 解析は,主架構のみの弾性部材モデルの制振部材 設置位置に剛性が極端に大きい弾性バネを挿入すること により,その相対変形が限りなくゼロに近くなる状態を 保ち,各層に任意の外力を作用させる解析である。本報で は,Ai分布に基づいて外力を与えている。状態 R におけ る第 *i* 層 *j* 番目の制振部材負担せん断力、*F*_{dR,(*i*,*j*)と層間変位} $\delta_{R,i}$ で剛性、 $K_{dR,(i,j)}$ (式(3))を各制振部材設置箇所について 計算し、第 i 層における間柱型粘弾性ダンパー総数を、 N_i とすると、擬似ブレース剛性、 $K_{bs,i}$ を得られる(式(4))。

$$V_{dR,(i,j)} = V F_{dR,(i,j)} / \delta_{R,i}$$
(3)

$$\sum_{\nu} K_{bs,i} = \sum_{j=1}^{Ni} \sum_{\nu} \alpha_{N,(i,j)} \times_{\nu} K_{dR,(i,j)}$$
(4)

せん断モデルに用いる *i* 層の粘弾性体のせん断断面積 、 $A_{ds,i}$ と厚さ、 $d_{ds,i}$ は、部材構成モデルにおける第 *i* 層 *j* 番目 の粘弾性体のせん断断面積、 $A_{d,(i,j)}$ と厚さ、 $d_{d,(i,j)}$ 、式(1)の、 a_N を用いて算出される(式(5)、(6))。

$${}_{v}A_{ds,i} = \sum_{j=1}^{vN_{i}} {}_{v}\alpha_{N,(i,j)} \times_{v} A_{d,(i,j)}$$
(5)

$${}_{\nu}d_{ds,i} = \frac{1}{{}_{\nu}N_i} \sum_{j=1}^{\nu N_i} {}_{\nu}d_{d,(i,j)} / {}_{\nu}\alpha_{N,(i,j)}$$
(6)

このようにして得られた K_{fs} , $_{kbs}$, $_{ads}$, $_{dds}$ を用いてせん断モデルを作成する。Fig.4 に部材構成モデルとせん断モデルの概念図を示す。ここで、部材構成モデルのダンパー変位、ダンパー内力をそれぞれ、 δ_{ds} , $_{kfd}$ とすると、せん断モデルの擬似ダンパー変位、 δ_{ds} , 擬似ダンパー内力、 F_{ds} はそれぞれ式(7)、(8)で表される。

 $_{v}\delta_{ds} = _{v}\delta_{d}/_{v}\alpha_{N}$, $_{v}F_{ds} = _{v}F_{d} \times_{v}\alpha_{N}$ (7), (8)





Fig.5 にせん断モデルの各要素を示す。Fig.5(a)より,間 柱型のダンパーは大梁を介して層間に設置されるため, 付帯梁の曲げ変形の影響でダンパー部の変形が増減する。 ναNの算出は状態 N (ダンパー部の剛性が 0) 解析より得 られるので、付帯梁の曲げ変形がダンパー部の変形を増 加させる方向に働き、低層部の_va_Nの値が1を超えてい る。しかし、高層部では層の曲げ変形が大きくなるため、 ダンパー部のせん断変形成分が減少し、高層になるにつ れて、a_Nが小さくなる傾向を示した。また, Fig.5(b)に示す _𝔥は、状態 R(ダンパー部の剛性が∞)解析より得られ るため、付帯梁の曲げ変形がダンパー部の変形を減少さ せる方向に働くため,層間変形に対してダンパー部のせ ん断変形が小さくなる。そのため、_vK_bはブレース型など と比べて小さくモデル化される傾向があり,その結果,D4 以外全層にわたって、Kbsが Kfs よりも小さい値となった。 また,高層部では層の曲げ変形が卓越し,ダンパー変形が 減少するため、高層になるにつれて、Kbsの値が小さくな る傾向を示す。Fig.5(c)に示す vAa は, 式(5)より vanの値と

各層の間柱型粘弾性ダンパーの数に依存するため, vanの 値が大きく,間柱型粘弾性ダンパーの数が多い低層で大 きな値を示し, vanの値が減少する影響とダンパー数が減 少する影響で,高層になるにつれて値が小さくなる。 Fig.5(d)に示す, das は式(6)より, van の値に依存するため, van が減少する高層部になるにつれて値が上昇する傾向を 示す。



3. 時刻歴応答解析

3.1 入力地震動

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)と基整促波で ある OS1, OS2 の 3 波を採用する。Fig.6 に擬似速度応答 スペクトル $_{PSv}$ ($\zeta = 5\%$), エネルギースペクトル V_E (ζ = 10%)をそれぞれ示す。主架構の 1 次固有周期 (7.39 s) 付近では, OS2 が ART HACHI に対し, $_{PSv}$ は約 1.3 倍, V_E は約 1.4 倍となる。また, OS1 が ART HACHI に対し $_{pSv}$,



*V*_Eは約2倍となり、いずれもレベル2相当の地震動(ART HACHI)より大きな値を示す地震動であることが分かる。

3.2 部材構成モデルとせん断モデルの応答比較

間柱型粘弾性ダンパーを組み込んだ 50 層の部材構成モ デル(Fig.1)をせん断モデルに置換して時刻歴応答解析 を行い,応答を比較することでせん断モデルの妥当性を 検証する。Fig.7(a)に層間変形角 R, (b)に粘弾性ダンパー のエネルギー吸収量、 W_d , (c)に粘弾性ダンパーの実行変形 比、 a_e の最大応答値の高さ方向分布,Fig.8 に 5 層の粘弾 性ダンパーのループ,Fig.9 に 5 層の層間変形角の時刻歴 を示す。Fig7,8 は ART HACHI入力時のみを示し,Fig9 は 3 波の時刻歴を示す。ここで,*i*層の実効変形比、 $a_{e,i}$ は 部材構成モデルのダンパー最大変位、 $\delta_{dmax,i}$,最大層間変位 $\delta_{max,i}$,またはせん断モデルの擬似ダンパー最大変位、 $\delta_{dmax,i}$, 擬似フレームの最大層間変位 $\delta_{smax,i}$ を用いて式(9)で表さ れる。

 $v\alpha_{e,i} = v\delta_{d,\max i}/\delta_{\max i} = v\alpha_{N,i} \times v\delta_{ds,\max i}/\delta_{s,\max i}$ (9) また, Fig.8 に示す粘弾性ダンパーのせん断応力度 $v\tau_d$, ひ ずみ度 vy_d はそれぞれ次式で表される。

$${}_{v}\tau_{d} = {}_{v}F_{d}/{}_{v}A_{d} = {}_{v}F_{ds}/{}_{v}A_{ds}$$

$$\tag{10}$$

 $_{\nu}\gamma_{d} = _{\nu}\delta_{d}/_{\nu}d_{d} = _{\nu}\delta_{ds}/_{\nu}d_{ds}$ (11)

Fig.7(a)より,層間変形角はせん断モデルの応答が部材 構成モデルと概ね一致し,特に低層から中層にかけては 精度よく一致していることがわかる。しかし,高層はせん 断モデルの応答が若干危険側に評価される傾向があり, ダンパーの数が多いほどその傾向が顕著である。Fig.7(b), (c)より,粘弾性ダンパーのエネルギー吸収量と実行変形 比は部材構成モデルとせん断モデルの応答が精度よく一 致している。このことから,せん断モデルでも間柱型粘弾 性ダンパーの変形を過大評価しておらず,粘弾性ダンパ ーの付帯梁の曲げ変形や層の曲げ変形によるダンパー変 形の減少を適切に評価できている。また,層間変形角の ように高層でせん断モデルの応答が危険側に評価される





Fig.8 ダンパーループ(5層, ART HACHI)

ことはなく、全層にわたって精度よく一致した。Fig.8よ り、5層の粘弾性ダンパーのループを比較すると、各モデ ル部材構成モデルとせん断モデルの応答が精度よく一致 している。このことから、せん断モデルは粘弾性ダンパー の時刻歴も適切に評価することができる。Fig.9より、5層 の層間変形角の時刻歴を比較すると、各モデルともに部 材構成モデルとせん断モデルの応答が精度よく一致して いる。このことから、せん断モデルは層の最大応答値だけ でなく、層の応答の時刻歴も精度よく再現できることが わかる。また、各地震波ともに精度よく応答が一致したた め、地震波によらず適切に建物応答を評価することがで きる。

4. まとめ

間柱型粘弾性ダンパーの実効変形を考慮したせん断モ デルを作成し,部材構成モデルの応答と比較することで せん断モデルの精度を検証した。以下に得られた知見を 示す。

(1) 各モデル,層の最大応答値は部材構成モデルとせん 断モデルでおおむね一致した。しかし,層間変形角 は高層部で若干応答が乖離し,せん断モデルは応答 を危険側に評価する傾向があった。また,その傾向



^{*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 JFE スチール株式会社



Fig.9 層間変形角時刻歴(5層)

はダンパーの数が多いほど顕著であったため,実務 設計に適用する場合には注意が必要である。

- (2) ダンパーループを比較すると、各モデル部材構成モデルとせん断モデルの応答が精度よく一致した。このことから、せん断モデルは粘弾性ダンパーの時刻 歴も適切に評価できる。
- (3) 各モデルともに部材構成モデルとせん断モデルの層の応答の時刻歴が部材構成モデルと精度よく一致した。このことから、せん断モデルは層の最大応答値だけでなく、層の応答の時刻歴も精度よく再現できる。また、各地震波ともに精度よく応答が一致し、地震波によらず適切に建物応答を評価することができる。

謝辞,参考文献はその2にまとめて記す

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