

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴型ダンパーを有する超高層建物における塑性化予測の効率的な縮約質点数 その1 固有値および応答値の比較
Title(English)	Reduced efficiency of degree of freedom for plasticization prediction in high-rise buildings with hysteretic dampers Part. 1 Comparison of eigenvalue and response value
著者(和文)	田中 英之, 平塚紘基, 佐藤大樹
Authors(English)	Hideyuki Tanaka, Koki Hiratsuka, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 55-56
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 55-56
発行日 / Pub. date	2020, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

履歴型ダンパーを有する超高層建物における塑性化予測の効率的な縮約質点数

その1 固有値および応答値の比較

正会員
同

○田中 英之*1
佐藤 大樹*2

同 平塚 紘基*2

超高層制振建物
時刻歴解析

履歴型ダンパー
縮約モデル

風応答解析

1. はじめに

超高層建物に低い荷重レベルで塑性化する履歴型ダンパーを採用すると風外力に対しても塑性化することが考えられる。そのため、風外力に対しても履歴型ダンパーの塑性化の評価が必要となってくる。一般的にダンパーの塑性化を評価するためには、時刻歴応答解析を用いる必要があるが、膨大な計算量が必要となることから、時刻歴応答解析を用いない手法が求められている¹⁾。そこで筆者ら²⁾は、予測の効率化を図るために、対象モデルを10質点に縮約し、縮約モデルにおけるダンパーの塑性化予測手法を提案した。しかし、10質点のみでの検討に留まっており、検討が不十分である。

そこで、本報では10質点以外の縮約質点数も含め、縮約モデルにおける塑性化予測と60質点モデルにおける解析結果を比較し、予測精度が高く、かつ、効率的な検討が行うことができる縮約質点数について検討を行う。

2. 縮約方法

縮約前の N 質点を N' 質点に縮約する手法について述べる。縮約後における1次モードベクトル ${}_1\phi'_i$ は、縮約前の対応する層の1次モードベクトルと等しいと仮定し(Fig. 1(a))、質点比率 $n (=N/N', *n$ は整数)および縮約前の1次モードベクトル ${}_1\phi$ を用いて ${}_1\phi'_i = {}_1\phi_{ni}$ より算出される。

縮約後の質量 m'_i は、縮約層の総和(Fig. 1(b))として表され、 n および縮約前の m_j を用いて式(1)より得られる。

$$m'_i = \sum_{j=n(i-1)+1}^{ni} m_j \tag{1}$$

縮約後の1次モードベクトル ${}_1\phi'_i$ 、質量 m'_i および縮約前の1次円振動数 ${}_1\omega$ を用いて、縮約後の剛性 k'_i は次式で表される³⁾。

$$k'_i = \frac{{}_1\omega^2 \cdot m'_i \cdot \phi'_i + k'_{i+1} ({}_1\phi'_{i+1} - \phi'_i)}{{}_1\phi'_i - \phi'_{i-1}} \tag{2}$$

ただし、 $k'_{N+1} = 0$ 、 ${}_1\phi'_0 = 0$ である。

縮約後の風外力 $F'(t)_i$ は、上述した質量の縮約と同様に縮約される層の総和として表現され、縮約前の風外力 $F(t)_j$ および n を用いて式(3)より得られる。

$$F'_i(t) = \sum_{j=n(i-1)+1}^{ni} F_j(t) \tag{3}$$

以上の式に、後述する非制振モデル、風外力、制振モデルの値を代入することにより、縮約モデルを算出する。

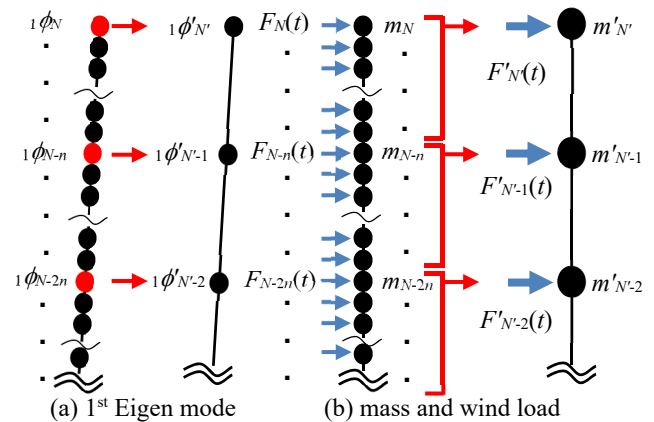


Fig. 1 Outline of Contraction

3. 検証用モデル

3.1. 風外力

構造物に作用する風外力は風洞実験結果を用いた。層風力係数の時刻歴データは、高さ方向に14点で測定しており、今回対象とする建物高さ、質点数および再現期間500年風外力へ変換を行った。なお、風向角 0° は建物面に正対する風向であり、1組につき60質点分の波形を0.01s刻み70000ステップとし、700s \times 12組取り出した。また、各波形前後に50sのエンベロープを設け、600s(10分間)での応答を評価に用いる。

3.2. 非制振モデル

本報では、文献²⁾と同様に高さ300m、 $D/B = 1$ の超高層建物を対象とし、1次固有周期 ${}_1T_f = 7.49$ s、減衰定数 $\xi = 0.02$ とする60質点せん断型モデルを用いる。

3.3. 制振モデル

本報では、ダンパーに実効変形比を考慮した付加系を非制振モデルに設置する。なお、ダンパー量 α_{dy1} (ダンパー1層目の降伏せん断力係数)は、0.01、0.02、0.04の3パターンとし、ダンパーの降伏層間変形角 R_{dy} は1/600とす

る。実効変形比 α_{ei} は、第1層目を1、第 N 層目を0.1とし、第1層目から第 N 層目まで直線となるように仮定している。付加系の降伏変位 δ_{ayi} は、 R_{dy} と質点間距離 h および α_{ei} を用いて、 $\delta_{ayi} = R_{dy} \cdot h / \alpha_{ei}$ より算出される。

各層のダンパー量は A_i 分布に基づく地震層せん断力分布をもとに5段階に分け、各グループのダンパー量はグループ最下層のダンパー量をそのグループの各層に投入する。ダンパーの降伏耐力 Q_{dy1} (第1グループ目)、第2グループ以上のダンパーの降伏耐力 Q_{dyi} は、 $Q_{dy1} = \alpha_{dy1} \cdot W$ 、 $Q_{dyi} = (Q_i / Q_1) \cdot Q_{dy1}$ より算出される。ここで、 W : 対象モデル全重量、 Q_i : i 層の地震層せん断力、 Q_1 : 第1層の地震層せん断力である。よって、上記の式より、付加系の剛性 k_{ai} は、 $k_{ai} = Q_{dyi} / \delta_{ayi}$ で表される。

縮約後の付加系の降伏変位 δ'_{ayi} は、 $\delta'_{ayi} = R'_{ayi} \cdot h'$ で求められる。ここで、 R'_{ayi} : 縮約後の付加系降伏層間変形角、 h' : 縮約後のモデルにおける質点間距離を表す。 R'_{ayi} は対応する層の降伏層間変形角と等しいと仮定し、 n および縮約前の付加系の降伏層間変形角 R_{ayi} を用いて、 $R'_{ayi} = R_{ayi}$ より算出される。また、縮約後の質点間距離 h' は、縮約前の質点間距離 h と n を用いて、 $h' = nh$ で求められる。

縮約後の付加系の剛性 k'_{ai} は縮約後の制振モデルの剛性 k'_{si} と縮約後の非制振モデルの剛性 k'_{fi} を用いて $k'_{ai} = k'_{si} - k'_{fi}$ で表される。よって、縮約後の付加系の降伏せん断力 Q'_{ayi} は、上述の δ'_{ayi} および k'_{ai} を用いて $Q'_{ayi} = k'_{ai} \cdot \delta'_{ayi}$ で求められる。

4. 固有値と応答値の精度検証

Table 1 に制振モデルの固有値解析より得られた60質点(60DOF)~5質点(5DOF)の1次~3次固有周期を、Fig. 2(a)~(c)に固有値解析より得られた60DOF~5DOFの1次~3次モード ($1\phi_s, 1\phi'_s \sim 3\phi_s, 3\phi'_s$: ϕ'_s は縮約後の固有モード)を示す。Fig. 3 に時刻歴応答解析より得られた60DOF~5DOFの層間変形角 R 、応答加速度 A 、付加系の吸収エネルギー W_a を示す(縮約後は R', A', W'_a)。なお、各計算値は12波のアンサンブル平均であり、 $\alpha_{dy1} = 0.02$ の結果を示している。

Table 1 より、全ての縮約質点数において固有周期の誤差は小さいことがわかる。しかし Fig. 2において、高次モードになるにつれて誤差が大きくなっている。特に、5DOFと10DOFの誤差が大きいことが確認できる。

Fig.3 より、風方向・風直交方向ともに5DOF、10DOFの誤差が大きくなっており、特に層間変形角、付加系吸収エネルギーの誤差が大きい。これは、測定点数(14点)以下に縮約した風外力、縮約後の高次モードのずれにより誤差が生じていると考えられる。一方、20DOF、

Table 1 Natural period, unit : s ($\alpha_{dy1} = 0.02$)

	60DOF	30DOF	20DOF	10DOF	5DOF
1st	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58
2nd	2.34	2.35	2.36	2.37	2.38
3rd	1.52	1.46	1.47	1.47	1.48

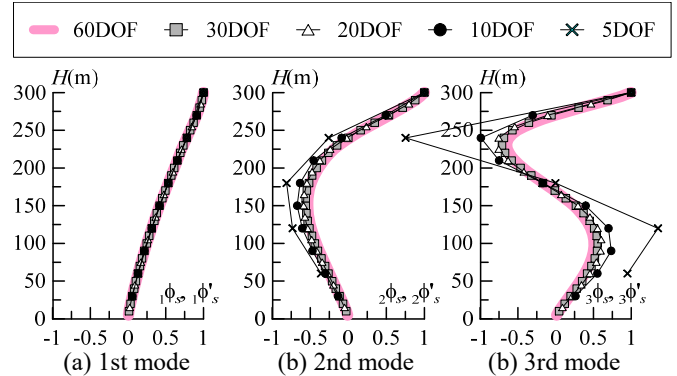


Fig. 2 Eigen mode ($\alpha_{dy1} = 0.02$)

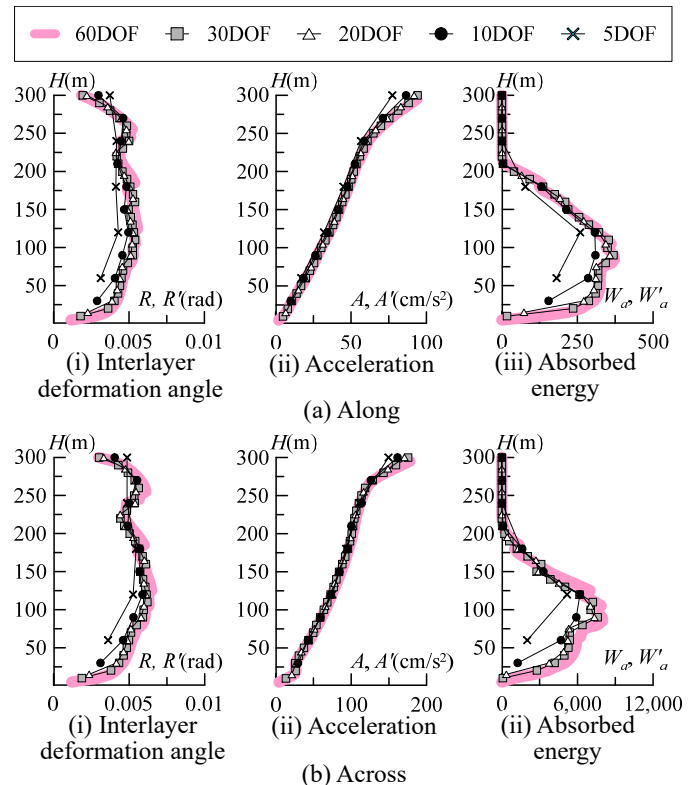


Fig. 3 Result of analysis ($\alpha_{dy1} = 0.02$)

30DOF においては60DOFと精度よく一致している。なお、非制振モデル、その他の制振モデル ($\alpha_{dy1} = 0.01, 0.04$) の場合も、同様の結果を得られたことを確認している。

5. まとめ

本報その1では、非制振モデルと制振モデルを対象に、縮約前後の固有値と応答値の比較を行った。その結果、固有値においては、精度よく再現できたが、応答値においては、5DOF、10DOFの精度が低くなることがわかった。謝辞および参考文献は本報その2にまとめて示す。

*1 株式会社 竹中工務店

*2 東京工業大学

*1 Takenaka Corporation

*2 Tokyo Institute of Technology