

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	粘性ダンパーと履歴ダンパーを併用配置した超高層鋼構造建物の後揺れに関する研究
Title(English)	A Study on the Free Vibration Characteristics of High-rise Building with Viscous Damper and Hysteretic Damper
著者(和文)	添田幸平, 佐藤大樹
Authors(English)	Kohei Soeta, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 767-768
Citation(English)	, , pp. 767-768
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

粘性ダンパーと履歴ダンパーを併用配置した超高層鋼構造建物の後揺れに関する研究

超高層 制振構造 粘性ダンパー
履歴ダンパー 併用配置 後揺れ

正会員 ○添田 幸平*1 同 佐藤 大樹*2

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震において、首都圏に建つ超高層建物の多くが大きな揺れを経験し、建物の揺れの時間および周期が長いことが建物滞在者に大きな恐怖を与えた¹⁾。構造安全性は建物に生じる最大応力・最大変形を用いて評価されるが、建物滞在者に大きな恐怖を与えないとは言い切れない。

そこで、本研究の目的は、建物滞在者に大きな恐怖を与えない揺れの継続時間を評価することであり、本論文では、まず地震終了時の自由振動に着目する。これまで超高層建物の後揺れに関する研究^(例えば 2,3)がなされ、応答分析やダンパーの効果をj確認している。

本論文では、様々なダンパー配置が後揺れに与える影響をj応答解析結果から示す。また、後揺れ時間を自由振動解から導出し、後揺れ時間とダンパーの関係を定量的に把握する。

2. 建物概要

検討対象建物は、図1に示す地上30階の超高層鋼構造建物⁴⁾である。ダンパーの配置はY2およびY3通りに連層配置とする。ダンパー配置は、履歴ダンパーおよび粘性ダンパーをそれぞれ全層に配置したHD30およびVD30、履歴ダンパーおよび粘性ダンパーを高さ方向に併用配置したHD15およびVD15、HD30およびVD30のダンパーを同層に4台ずつ配置したHV30とする。HD30における履歴ダンパーの第1層の降伏せん断力係数は0.025である。VD30における粘性ダンパーの第1層の付加粘性減衰定数は2.9%である。紙幅の都合上詳細は参考文献4)を参照されたい。

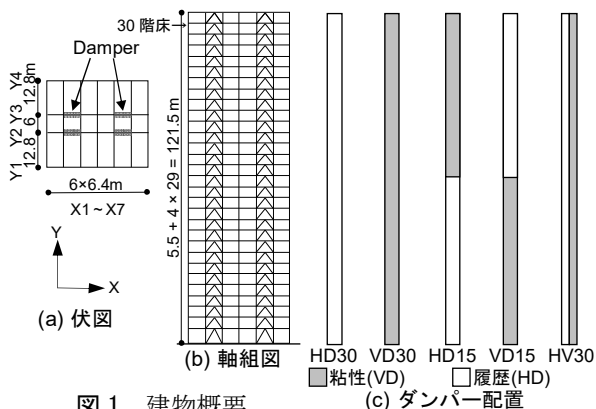


図1 建物概要

解析モデルは30質点系の等価せん断モデルとする⁴⁾。本解析モデルは、擬似フレーム、擬似ブレースおよび擬似ダンパーから構成され、ダンパー配置の違いによるダ

ンパーの実効変形の違いを表現できる⁴⁾。併用配置による特性値は既往値⁴⁾を採用する。解析はX方向のみを対象とする。主架構は弾性状態を保つものとする。微小変形を対象としていることから、構造減衰は主架構のみの1次固有周期に対して1%となる剛性比例型とする。

検討用地震動は、観測波のHachinohe 1968 NS波⁵⁾(以降HACHI)、模擬波の南海トラフ地震⁶⁾(以降KA1)および大正関東地震⁷⁾(場所は東京都庁。以降TA)とする。HACHIは最大速度を50cm/sに基準化する。図2に擬似速度応答スペクトル pSv ($h=5\%$)を示す。なお、地震動終了後の後揺れ(自由振動)を評価するため、各地震動の後ろに約150秒間の 0 cm/s^2 のデータを追加した。自由振動は地震動が終了後開始とする。

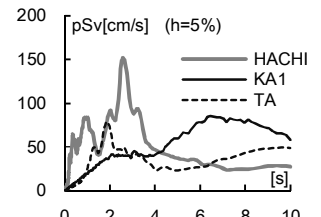


図2 擬似速度応答スペクトル

3. 応答結果

3.1 相対速度波形

主架構(Frame)の最上階床(30階)における相対速度の時刻歴波形を図3に示す。H-III⁸⁾「まったく不安を感じなかった」とH-IV⁸⁾「あまり不安を感じない」の境界となる速度($\approx 3\text{ cm/s}$)以下となるまでの時間は、自由振動区間のみで85.4sである。地震波の違いにより自由振動の占める割合は異なるが、自由振動を制御することが重要であることがわかる。判定値3cm/sは、文献8)の主架構の固有周期における加速度値から擬似速度を算出した。

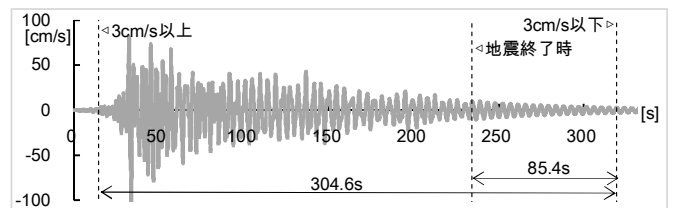


図3 30階床における相対速度波形 (Frame/HACHI)

j応答結果から地震波およびダンパー配置の違いによる傾向を確認する。図4に30階における相対速度の時刻歴波形(自由振動区間)を示す。地震波およびダンパー配置の違いにより地震終了時の相対速度が異なるため、一概にダンパー配置の差は明瞭でないが、下階に粘性ダンパーを多く配置しているVD15およびVD30は収束が早い。

3.2 モード分解

3.1節で示したj応答波形を次式よりモード分解する。

$$\{\dot{q}_s(t)\} = [\beta_s \phi_s]^{-1} \{\dot{y}(t)\}, \quad \dot{y}_{s,i}(t) = \beta_s \phi_{s,i} \cdot \dot{q}_s(t) \quad (1a, b)$$

ここで、 $q_s(t)$: s 次の一般化変位、 $\beta_s \phi_s$: s 次の刺激関数、 $\dot{y}_{s,i}(t)$: s 次の i 階相対速度を示す。また、固有モード ϕ は、

履歴ダンパーは弾性剛性および粘性ダンパーは 1 次の固有円振動数を仮定した等価剛性を考慮した剛性マトリクスを用いて算出した。

HD15 における、応答波形とモード分解した速度波形の比較を図 5 に示す。図 5 より、地震波終盤から自由振動中において 1 次モードの寄与率が高いことを確認できる。なお、いずれのケースにおいても 1 次モードの寄与率が高いことを確認している。

4. 自由振動解による後揺れ時間

3.2 節より地震終了後の自由振動中は 1 次モードの寄与率が高いことを確認した。本節では等価 1 質点系による自由振動解を用いて目標速度までにかかる時間を導出し、ダンパー配置の違いを示す。なお、3.1 節で示したように初期条件（初期速度および初期変位）が異なるとダンパー配置の違いにおける収束傾向の特徴が把握しにくいいため、本節では地震終了時の初期条件を同じと仮定し、収束傾向の評価に主眼をおく。

まず、自由振動時の 1 質点系における自由振動解⁹⁾より、初期変位 d_0 および初期速度 v_0 が与えられた場合の相対速度は次式となる。

$$\dot{y}(t) = Ae^{-h\omega t} \cdot \sin(\sqrt{1-h^2}\omega t + \theta) \quad (2)$$

ここで、

$$A = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{\omega d_0 + hv_0}{\sqrt{1-h^2}}\right)^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(-\frac{v_0\sqrt{1-h^2}}{\omega d_0 + hv_0}\right) \quad (3a,b)$$

自由振動時の相対速度の振幅項 $Ae^{-h\omega t}$ が aA (a : 低減率) となるまでにかかる時間 t_f (後揺れ時間) は、次式となる。

$$t_f = -\frac{T}{2\pi h} \log a \quad (4)$$

式(4)からもわかるように、固有周期に比例し、減衰定数に反比例する。図 6 に初期条件 ($d_0=0\text{cm}$, $v_0=10\text{cm/s}$) を想定したときの各システムにおける自由振動解を示す。表 1 に各ケースの等価減衰定数 h_{eq} ¹⁰⁾、等価周期 T_{eq} ¹⁰⁾ および式(4)より求めた後揺れ時間 t_f を示す。なお、 $a=0.3$ (3cm/s 以下に納まるまで) とする。また、各ケースの等価減衰定数および等価周期は微小変形を対象としているため履歴ダンパーは弾性状態とする。等価減衰定数が等しい Frame と HD30 に着目すると、周期の短い HD30 は Frame と比べて、収束が早い。各ケースを比較すると、等価減衰定数が高いほど収束が早く、特に VD30, VD15 および HV30 のように下層部に粘性ダンパーを設置すると後揺れ時間が短い。

5. おわりに

ダンパー配置が後揺れに与える影響を示した。自由振動の時間を短くするためには、小振幅時の周期と減衰の評価が重要となる。居住性能を示す判定値、ガタなどの影響を考慮した微小振幅時のダンパー性能については、

情報の充実が望まれる。

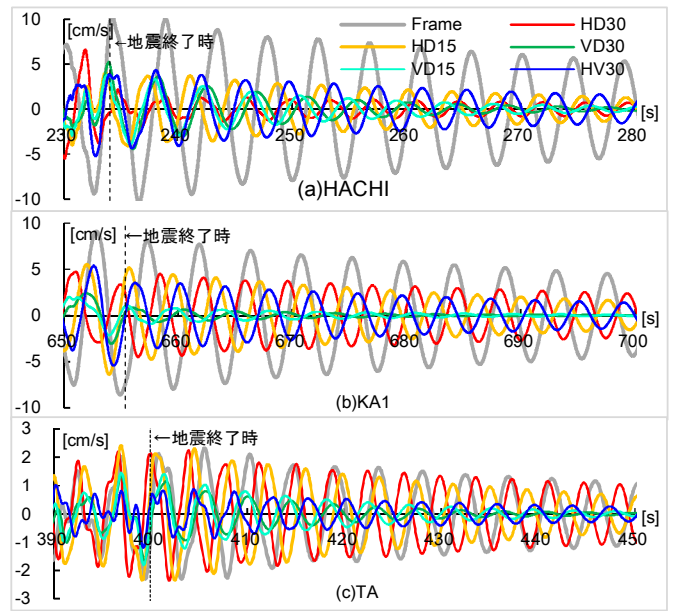


図 4 30 階床における相対速度波形

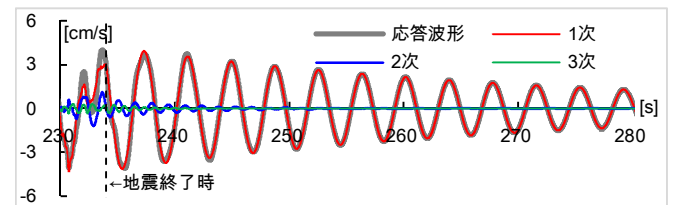


図 5 応答波形とモード分解した波形の比較 (HD15/HACHI)

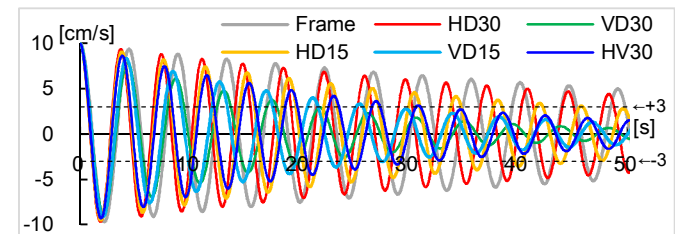


図 6 等価 1 質点系による自由振動解 (相対速度)

表 1 各ケースの h_{eq} , T_{eq} および t_f

	Frame	HD30	HD15	VD30	VD15	HV30
$h_{eq}(\%)$	1.0	1.0	1.6	3.9	2.9	2.3
$T_{eq}(\text{s})$	4.46	3.71	3.81	4.39	4.25	3.86
$t_f(\text{s})$	85.5	71.2	47.0	21.6	27.9	32.2

参考文献

- 1) 気象庁：東北地方太平洋沖地震時における長周期地震動による揺れの実態調査について、長周期地震動に関する情報のあり方検討会（第 1 回）、2011.11
- 2) 齊木健司ら：超高層制震構造物の振動性状に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.825-826、2003.7
- 3) 池田雄一：東北地方太平洋沖地震の強震記録に対する超高層建物の揺れの時間長さと地震時居住性に関する研究、日本建築学会四国支部研究報告、pp.5-6、2016.5
- 4) 添田幸平ら：粘性ダンパーと履歴ダンパーを連層配置した超高層鋼構造建物の簡易モデル作成手法、日本建築学会構造系論文集、No.768、pp.197-207、2020.02
- 5) 翠川三郎ら：1968 年十勝沖地震の八戸港湾での強震記録の再数値化、日本地震学会論文集、第 10 巻、第 2 号、2010
- 6) 内閣府：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告、南海トラフの巨大地震モデル検討会、首都直下地震モデル検討会、2015.12
- 7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長周期地震動評価 2016 年試作版—相模トラフ巨大地震の検討—、2016.10
- 8) 日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価標準・同解説、第 3 版、2018.11
- 9) 添田明徳：最新耐震構造解析、第 1 章、森北出版、2003
- 10) 添田幸平ら：履歴ダンパーと粘性ダンパーを直列連層配置した超高層鋼構造建物の応答予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp.909-910、2012.09

*1 久米設計
*2 東京工業大学

*1 KUME SEKKEI
*2 Tokyo Institute of Technology