

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	長周期地震動における超高層建物の知覚時間の予測手法
Title(English)	Prediction Method of Perception Time of Super High-rise Building against Long-period Ground Motions
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, 構造II, , pp. 321-322
Citation(English)	, 構造II, , pp. 321-322
発行日 / Pub. date	2024, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 長周期地震動における超高層建物の知覚時間の予測手法

知覚時間 制振構造 粘性ダンパー  
履歴ダンパー 長周期地震動 超高層

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<sup>1)</sup>。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。

本研究の目的は、今後想定される長周期地震動による建物の応答中に居住者が不安や不快を感じ続けた時間（以降、知覚時間<sup>2)</sup> $t_p$ ）を事前に把握することであり、制振構造の新しい制振性能の評価指標の1つとして、制振性能を把握することである。これらを展開する上で、本論文では知覚時間を簡易的に予測する手法を提案する。

## 2. 知覚時間の予測手法

図1に本手法の概要を示す。本手法は弾塑性多質点系の最上階床における知覚時間を、弾性時に等価減衰 $h$ ・弾性周期 $T$ を持つ弾性1質点系を用いて予測する。なお、知覚時間に着目すると、下記①～③の特徴を持つことを確認し、弾性1質点系を用いることに至った。

- ① 知覚時間は1次モードのみで評価可能である<sup>3)</sup>。
- ② 知覚時間の終点時間が弾性応答を示す終盤区間または自由振動区間内である<sup>3)</sup>。
- ③ 終盤における地震終了までの弾性応答区間が十分に長い場合、弾性多質点系が弾塑性多質点系の知覚時間を模擬できる<sup>2)</sup>。

## 2.1 予測手法の概要

本論文で提案する予測手法は応答スペクトル法と同様の手順(Step1~3)である(図1)。本手法は、さまざまな周期をもつ1質点系から求めた知覚時間(以降、知覚時間スペクトル)を用い、減衰補正式に知覚時間補正係数 $C_h(h, T)$ (詳細は2.2節に示す)を導入する。

**Step1:** 弾性1質点系の知覚時間と弾性周期の関係を表した知覚時間スペクトル $St_p(h_0, T)$ を用いて、主架構の1次固有周期 $1T_f$ における知覚時間を求める。

**Step2:** 知覚時間スペクトル $St_p(h_0, T)$ を用いて、想定するダンパー配置の弾性周期 $eT$ における知覚時間 $St_p(h_0, eT)$ を求め、ダンパー付加による周期変動を評価する。

**Step3:** 知覚時間補正係数 $C_h(h, T)$ を用いて、想定するダンパー配置の等価減衰 $h$ における知覚時間 $St_p(h, eT)$ を求め、ダンパー付加による減衰変動を評価する。

以上より、弾塑性多質点系の最上階床における知覚時間 $t_p$ は、弾性1質点系の知覚時間 $St_p(h, eT)$ に近似され、知覚時間短縮係数 $C_h(h, T)$ を用いて次式で表現できる。

$$t_p \approx St_p(h, eT) \approx C_h(h, T) \cdot St_p(h_0, eT) \quad (1)$$

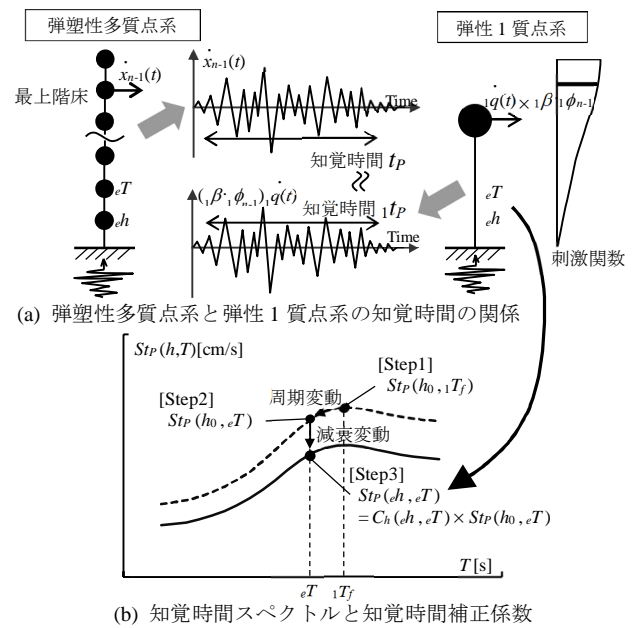


図1 提案手法の概要

2.2 知覚時間補正係数 $C_h$ 

弾性時に等価減衰が5%を超えるのは制振効率の高い架構に粘性系ダンパーを主に配置したケースに限られ、一律5%のスペクトルを用いて知覚時間を評価することは危険側の評価となり得る。そこで、減衰定数 $h$ が知覚時間に与える影響を簡易的に評価できるよう、知覚時間補正係数 $C_h(h, T)$ を導入する。また、 $C_h(h, T)$ は様々なケースの1質点系の応答結果に適合する式を提案する。

知覚時間補正係数 $C_h(h, T)$ は、次式の通り、基準となる減衰定数 $h_0$ (本論文では $h_0 = 2\%$ とする)における知覚時間スペクトル $St_p(h_0, T)$ に対する減衰定数 $h$ における知覚時間 $St_p(h, T)$ と定義する。

$$C_h(h, T) = St_p(h, T) / St_p(h_0, T) \quad (2)$$

適合式の設定に用いる1質点系は、様々なダンパー配置を想定した超高層建物を対象とし、周期 $T$ は1.6~6.0秒(0.2秒刻み)、減衰定数 $h$ は1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.25, 2.5, 2.75, 3.0, 4.0, 5.0および10%とする。検討用入力地震動は、3章に示す5波とする。上記の条件における応答解析結果から求めた $C_h(h, T)$ の5波平均と周期 $T$ および減衰定数 $h$ の関係を図2に示す。代表して、 $h$ は1.0, 1.5, 2.0, 5.0および10%、 $T$ は2.0, 4.0および5.0を示し、提案式(後述)も重ねて示す。図2(a)より、ばらつきはあるものの $C_h(h, T)$ は $T$ に対して概ね比例関係となり、 $h < 2\%$ の場合に右肩上がり、 $h > 2\%$ の場合に右肩下がりの傾向を持つ。図2(b)より、 $C_h(h, T)$ は $h$ に対して減少傾向を示し、 $h \geq 2\%$ では傾きが小さい。また、 $T$ が短いほど $h$ に対する $C_h(h, T)$ の変化は鈍い。以上の傾向を踏まえ、各周期において5波平均

の  $C_h(h, T)$  に可能な限り適合するように設定した提案式は下式で表現する。図 2 より、提案式は各減衰定数において、5 波平均の応答結果の平均を概ね捉えている。

$$C_h(h, T) = \begin{cases} 0.761h^{-0.07} - (0.258 + 0.065 \ln(h))(T - 1.6) & (h < 0.02) \\ 1 & (h = 0.02) \\ 0.761h^{-0.07} - (0.0291 + 0.0074 \ln(h))(T - 1.6) & (h > 0.02) \end{cases} \quad (3)$$

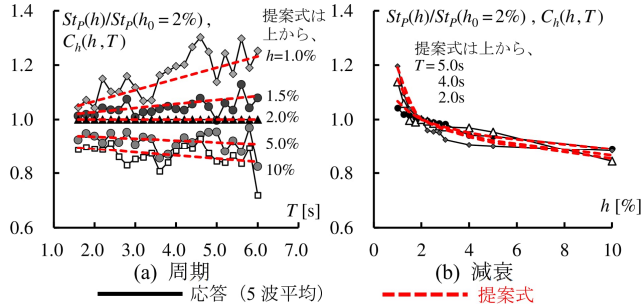


図 2 知覚時間補正係数  $C_h$  と周期および減衰の関係

### 3. 時刻歴応答解析による精度検証

多質点系の応答結果を精算値として提案手法の精度検証を行う。検討用建物は下記に基づく 4 棟とする (図 3)。

- 1) 主架構の 1 次固有周期  ${}_1T_f$ : 2.5s (F16), 3.5s (F23), 4.5s (F30), 5.5s (F38)
- 2) 建物高さ  $H$  (m) と  ${}_1T_f$  の関係:  ${}_1T_f \approx 0.035H$
- 3) ダンパー配置 (平面): Y2 および Y3 通りに各層 8 台
- 4) ダンパー配置 (高さ方向): 全層履歴 (HD16, HD23, HD30, HD38), 階数の半分を境界層として下層に履歴・上層に粘性 (HD8, HD12, HD15, HD19), 階数の半分を境界層として下層に粘性・上層に履歴 (VD8, VD12, VD15, VD19), 全層粘性 (VD16, VD23, VD30, VD38)
- 5) ダンパー量: 履歴ダンパーは第 1 層の降伏せん断力係数を 3%, 粘性ダンパーは第 1 層の付加粘性減衰定数を 5% とし,  $A_i$  分布に基づく設計用層せん断力分布をもとに最下層から 5 層ごとに設定する。粘性ダンパーは, 線形粘性ダッシュポットと弾性バネを直列結合したモデルとし, 各層の弾性バネ剛性  $K_d$  と粘性係数  $C_d$  との関係は  $K_d = 4.5C_d$  とする。

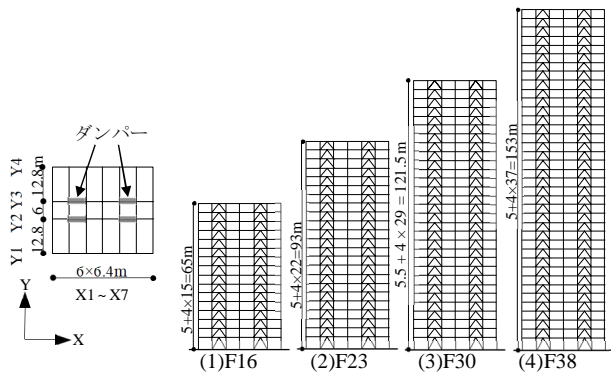


図 3 検討建物の概要

検討用入力地震動は観測波 2 波, 模擬波 3 波の計 5 波とする。観測波は, Hachinohe 1968 NS 波<sup>4)</sup> (以降 HACHI, 最大速度は基準化しない), 2011 年東北太平洋沖 NS<sup>5)</sup> (観

\*1 久米設計

\*2 東京工業大学

測点は新宿 TKY007, 以降 TOHOKU) を採用する。模擬波は, 南海トラフ地震<sup>6)</sup> (以降 KA1) および大正関東地震<sup>7)</sup> (場所は東京都庁, 以降 TA), 告示波 (極稀, 位相特性は HACHINOHE 1968 NS, 以降 告示 H) を採用する。

解析モデルは等価せん断モデルとする。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。居住性評価を対象としているため, 構造減衰は主架構の 1 次固有周期に対して 1% となる剛性比例型とする。

検討用入力地震動における知覚時間スペクトル  $St_p(h_0 = 2\%, T)$  を図 4 に示す。知覚時間スペクトルは, 弾性 1 質点系の応答に最上階における刺激関数  ${}_1\beta_1\phi_{n-1} = 1.34$  (F16, F23, F30 および F38 における最上階の刺激関数の平均値) を考慮した最上階の速度応答を用いて算出する。

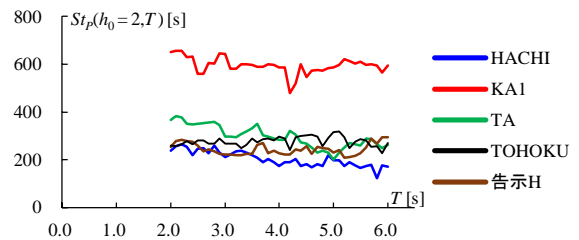


図 4 知覚時間スペクトル  $St_p(h_0 = 2\%, T)$  ( ${}_1\beta_1\phi_{n-1} = 1.34$ )

全てのケースにおける, 応答結果より求まる知覚時間  $t_p$  と本手法により求まる知覚時間  $St_p(h, eT)$  の比較を図 5 に示す。本手法より算出した知覚時間は応答結果に対して概ね  $\pm 10\%$  以内の誤差であり, 知覚時間を用いた制振性能評価をする上で十分有効である。

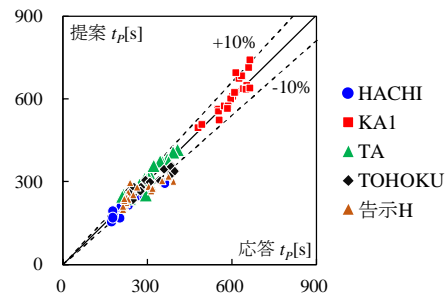


図 5 本手法により求めた知覚時間と応答結果の比較

### 4. おわりに

知覚時間を簡易的に予測する手法を提案した。限定された例題建物による検証ではあるが, 様々なダンパー配置を行った地上 16 階, 23 階, 30 階および 38 階建物に提案手法を適用し, 知覚時間を用いた制振性能評価をする上で十分有効な精度であることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 気象庁: 東北地方太平洋沖地震時に於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) 添田幸平ら: 制振構造を想定した弾塑性 1 質点系の知覚時間に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.329-330, 2023.9
- 3) 添田幸平ら: 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知覚時間に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, pp.551-552, 2022.9
- 4) 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, 日本地震工学会論文集, 第 10 巻, 第 2 号, 2010
- 5) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), NIED K-NET, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (DOI: https://doi.org/10.117598/NIED.0004)
- 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

\*1 Kume Sekkei Co., Ltd.

\*2 Tokyo Institute of Technology