

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物のクリープ性を考慮した風応答予測 その2：時刻歴風応答解析を用いたクリープ性を考慮した簡易風応答評価
Title(English)	Wind-response prediction of high-rise base-isolated buildings with high-friction sliding bearing incorporating creep property Part2. Simple estimation method using time history analysis
著者(和文)	平井宏幸, 二村夏樹, 佐藤大樹, 得能将紀
Authors(English)	Hiroyuki Hirai, Natsuki Futamura, Daiki Sato, Masaki Tokunou
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 653-654
Citation(English)	, , , pp. 653-654
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物のクリープ性を考慮した風応答予測

その2：時刻歴風応答解析を用いたクリープ性を考慮した簡易風応答評価

正会員 ○平井宏幸\*1 同 二村夏樹\*2  
同 佐藤大樹\*2 同 得能将紀\*1

超高層免震建物 高摩擦弾性すべり支承 クリープ性

## 1. はじめに

本報その1では、天然ゴム系積層ゴム支承 (NRB)、高摩擦弾性すべり支承 (ESB)、オイルダンパー (OD) を有する超高層免震建物の時刻歴風応答解析を行い、その結果の分析を行った。その2では、クリープ性を考慮した簡易風応答評価法を示すとともに、クリープ性を考慮しない場合との対応関係の確認を行う。なお、その2では平均成分を有するためにクリープ性を考慮する必要がある風方向のみの検討とし、時刻歴解析はその1で示した検討モデルおよび風外力を用いる。

## 2. 平均成分、変動成分を分離した時刻歴風応答解析

本章では、平均成分と変動成分を分離して風方向風応答を評価することの妥当性を、平均成分と変動成分での応答を足し合わせた結果と、その1に示した全成分の時刻歴解析結果を比較することにより検証する。

### 2.1 平均成分の算出および変動成分風外力の作成

免震層の平均風荷重  $Q_{0,m}$  は、 $i$  層目 ( $i = 1 \sim 10$ ) の平均風外力  $F_{i,m}$  との力の釣合から、式(1)より求められる。

$$Q_{0,m} = \sum_{i=1}^{10} F_{i,m} \quad (1)$$

$i$  層目 ( $i = 1 \sim 10$ ) の時刻歴風外力  $F_i(t)$  から平均風外力  $F_{i,m}$  を除いた変動成分  $F'_i(t)$  を用いて、その1で示した検討モデルについて、時刻歴風応答解析を行う。図1に10層目の時刻歴風外力  $F_{10}(t)$  および平均風外力  $F_{10,m}$  を除いた変動成分  $F'_{10}(t)$  の一例を示す。

### 2.2 変動成分の算出および平均・変動成分の足し合わせ

$F'_i(t)$  を風外力とした時刻歴解析結果より、免震層の最大変動層せん断力  $Q'_0$  を算出する。 $Q_{0,m}$  と  $Q'_0$  を足し合わせたものを免震層の最大層せん断力とし、免震層の復元力特性を用いて式(2)より免震層の最大変位  $\delta_{0,SUM}$  を算出する。

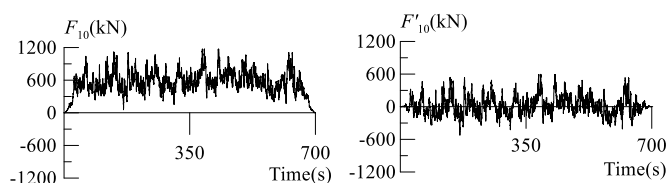
$$\delta_{0,SUM} = \begin{cases} (Q_{0,m} + Q'_0) / k_{01} & (Q_{0,m} + Q'_0 \leq Q_{0y}) \\ \delta_{0y} + (Q_{0,m} + Q'_0 - Q_{0y}) / k_{02} & (Q_{0,m} + Q'_0 > Q_{0y}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $k_{01}$ ,  $k_{02}$  : 免震層の1次剛性, 2次剛性,  $\delta_{0y}$ ,  $Q_{0y}$  : 免震層のすべり出し変位, すべり出し荷重を表す。図2に、平均成分と変動成分の足し合わせによって求めた免震層最大変位および層せん断力と、その1に示した全成分の時刻歴解析結果の比較 (例として S1D1, S2D1) を示す。

平均成分と変動成分の足し合わせによって求めた結果は、全成分の結果と概ね一致することが確認できる。よって、本ケースにおいては、平均成分と変動成分を分離して風方向風応答を評価することは妥当であると考えられる。

### 2.3 全成分と変動成分のみの時刻歴解析結果の比較

図3に全モデルの風方向全成分および風方向変動成分の免震層の最大変位の比較を示す。風方向全成分に対しては S1~3 モデルでは免震層最大変位がすべり出し変位よりも大きくなっていったが、風方向変動成分に対しては S1D0~2, S2D0 のみ免震層最大変位がすべり出し変位よりも大きくなっていることが確認できる。



(a) 風方向全成分  $F_{10}(t)$  (b) 風方向変動成分  $F'_{10}(t)$

図1 時刻歴解析風外力の一例

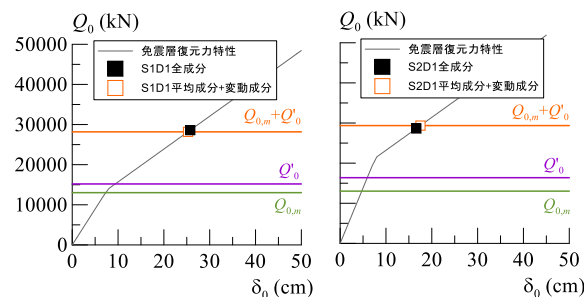


図2 全成分と分離して算出した時刻歴解析結果の比較

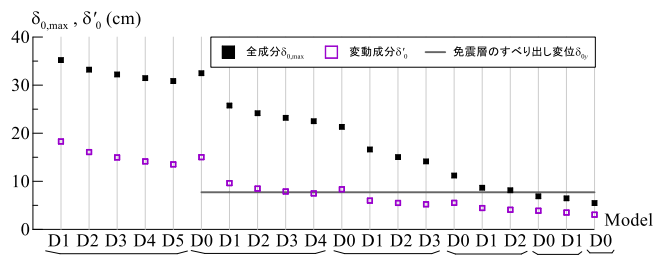


図3 全成分および変動成分の免震層最大変位の比較

### 3. クリープ性を考慮した簡易風応答評価法

平均成分と変動成分を分離して風方向風応答を評価できるものとし、クリープ性部材が静的な外力に対して無抵抗であるとみなしクリープ変形を評価する簡易法が提案されている<sup>2), 8)</sup>。これはクリープ変形の上限を評価するものであり、平均荷重の大きさによらず安全側の評価となる。以降この手法を簡易風応答評価法と呼ぶ。免震システムは、表1に示す免震部材の組み合わせで構成されると仮定する。なお、クリープ性を有さない弾塑性ダンパーは鋼材ダンパー、クリープ性を顕著に有する弾塑性ダンパーは鉛ダンパー、流体系ダンパーはODなどである。ESBは滑動時の剛性がないことや摩擦力が軸力変動の影響を受けること等により、風外力により滑動が生じる場合にはクリープ性を顕著に有する弾塑性ダンパーとみなすことが望ましいとされている<sup>2)</sup>。

そこで、ESBが平均成分に無抵抗であると仮定した場合、免震層の平均変位 $\delta_{0,m}$ はNRBの剛性 $K_{NRB}$ を用いて式(3)より求められる。

$$\delta_{0,m} = Q_{0,m} / K_{NRB} \quad (3)$$

次に、 $i$ 層目 ( $i = 1 \sim 10$ ) の時刻歴風外力  $F_i(t)$  から平均風外力  $F_{i,m}$  を除いた変動成分  $F'_i(t)$  を用いて、ESBも含めたその1で示した検討モデルについて時刻歴風応答解析を行い、免震層の最大変動変位 $\delta'_0$ を求める。 $\delta_{0,m}$ と $\delta'_0$ を足し合わせ、式(4)より算出される $\delta^*_0$ を、クリープ性を考慮した免震層の最大変位の簡易評価値とする。

$$\delta^*_0 = \delta_{0,m} + \delta'_0 \quad (4)$$

図4に、簡易風応答評価結果とその1で示したクリープ性を無視した時刻歴解析結果の、免震層最大変位および層せん断力の比較(例としてS0~4D1, S5D0)を示す。S0, S1モデルではESBの影響が比較的小さいため、簡易風応答評価結果と時刻歴解析結果は概ね近い値を示している。S2~5モデルでは簡易風応答評価結果は時刻歴解析結果より安全側の値を示し、 $\alpha_s$ の値が大きいくほど、大きく安全側の評価となる。最も安全側の評価となるS5D0では、免震層最大変位について、簡易風応答評価結果は時刻歴解析結果の約3.5倍となることが確認された。

表1 各免震部材の風荷重に対する特性<sup>2)</sup>

免震部材	平均成分	変動成分
積層ゴム	有効	有効
クリープ性を有さない弾塑性ダンパー	有効	有効
クリープ性を顕著に有する弾塑性ダンパー	無効	有効
流体系ダンパー	無効	有効

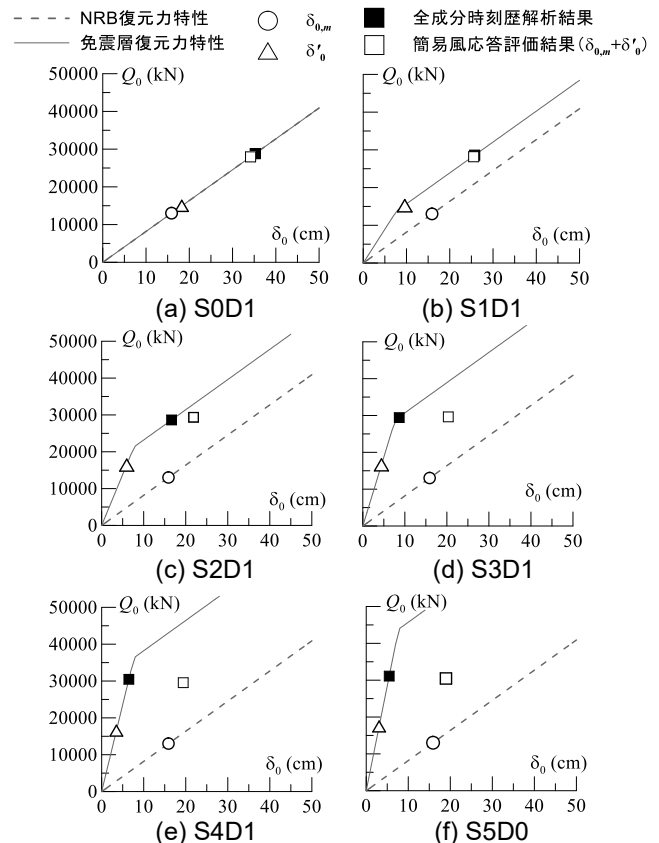


図4 簡易風応答評価と全成分の時刻歴解析の比較

### 4. おわりに

その2では風方向について、クリープ性を考慮した簡易風応答評価を示し、クリープ性を考慮しない場合との対応関係を確認した。その3では簡易風応答評価を基に、時刻歴解析を用いない風応答予測手法の提案を行う。

### 謝辞

本報告は、戸田建設株式会社、東京工業大学佐藤研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 安井八紀, 大熊武司, 丸川比佐夫: クリープ変形を伴う免震建物の風応答性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第619号, pp. 41-48, 2007.9
- 2) 日本免震構造協会: 免震建築物の耐風設計指針, 2012
- 3) 竹中康雄, 飯塚真巨, 鈴木雅晴, 吉川和秀, 山田和彦: 鉛プラグ型積層ゴムのクリープ性を考慮した高層免震建物の風応答簡易評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第561号, pp. 89-94, 2002.11
- 4) 吉江慶祐, 北村春幸, 大熊武司, 和田章: 時刻歴風応答解析におけるアンサンブル平均のばらつき, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) B-1, pp.233-234, 2005.9
- 5) 佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎: 粘弾性ダンパーの振幅依存性が風応答に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第635号, pp. 75-82, 2009.1
- 6) 二村夏樹, 佐藤大樹, 稲井慎介, 石田琢志, 丸尾純也: 高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物の時刻歴風応答解析 その1 風洞実験気流特性および風力特性に関する検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 305-308, 2021.3
- 7) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2015), 2015.2
- 8) 竹中康雄, 吉江慶祐, 安井八紀, 大熊武司: 免震部材クリープ性を考慮した風応答簡易評価法について その1 各種免震システムの風応答簡易評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) B-2, pp.273-274, 2010.9

\*1 戸田建設株式会社

\*2 東京工業大学

\*1 TODA Corporation

\*2 Tokyo Institute of Technology