

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	固有周期に基づく超高層免震建物のエネルギー特性に関する研究
Title(English)	A Study of Characteristics of Energy for Seismic Isolated High rise Building Based on Natural Vibration Period
著者(和文)	齋藤元紀, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 池上昌志, 佐藤利昭, 北村春幸
Authors(English)	Genki Saito, Daiki Sato, Keisuke Yoshie, Masashi IKEGAMI, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	日本風工学会誌, Vol. 40, No. 143, pp. 187-188
Citation(English)	, Vol. 40, No. 143, pp. 187-188
発行日 / Pub. date	2015, 4

固有周期に基づく超高層免震建物のエネルギー特性に関する研究

A Study of Characteristics of Energy for Seismic Isolated High rise Building Based on Natural Vibration Period

○齋藤 元紀¹⁾ 佐藤 大樹²⁾ 吉江 慶祐³⁾ 池上 昌志⁴⁾ 佐藤 利昭⁵⁾ 北村 春幸⁵⁾

Genki SAITO¹⁾, Daiki SATO²⁾, Keisuke YOSHIE³⁾, Masashi IKEGAMI⁴⁾, Toshiaki SATO⁵⁾, Haruyuki KITAMURA⁵⁾

1. はじめに

近年、地震への対策として免震層を設置する超高層建物が増えており、風外力に対して構造物の弾塑性範囲における応答評価法の必要性が高まっている。風応答評価法として、鈴木ら¹⁾²⁾はエネルギー釣合に基づく弾塑性2質点系の風応答手法を提案し、その有効性を示しているが、風直交方向の辺長比1の建物でしか検討していないため、様々な条件におけるエネルギー特性を調べる必要がある。エネルギーに関して、吉江ら³⁾は無減衰弾性1質点系において入力エネルギーは固有周期に関連付けられること、筆者ら⁴⁾は、弾塑性多質点系において入力エネルギーに占める免震層の吸収エネルギーの割合は免震層の塑性率の標準偏差の影響が大きいことを検証している。

以上のことをふまえ本報では、固有周期に基づき変動風力を受ける超高層免震建物のエネルギー特性の評価を行う。

2. 解析対象モデルおよび風外力の概要

本報における検討対象建物の解析モデルを図1に示す。解析モデルは、上部構造を1次モードが直線のモデルとし、その下に免震層を設置した11質点せん断型モデルとする。構造減衰は、上部構造のみ減衰定数 $h=2\%$ の剛性比例型とし、免震層には内部粘性減衰を考慮しない。ダンパーの降伏変位 $d\delta_y=0.028\text{ m}$ とし、ダンパーの降伏せん断力係数 $d\alpha_y$ (=免震層に

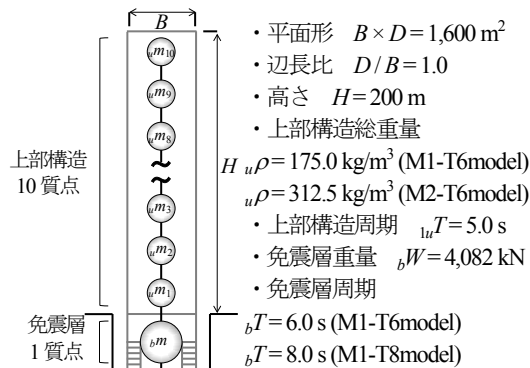


図1 弾塑性解析モデル概要

おけるダンパーの降伏耐力 / 総重量)を解析パラメータとして $d\alpha_y=0.02, 0.04, 0.06, 0.10$ の4種類を用いる。検討対象は、基準モデルを上部構造密度 $u\rho=175.0\text{ kg/m}^3$ 、上部構造を剛体とした場合の免震層の周期(以下免震層周期) $bT=6.0\text{ s}$ としたM1-T6modelとする。その他の検討モデルとして、基準モデルから $u\rho$ のみ $u\rho=312.5\text{ kg/m}^3$ と変更したM2-T6model、 bT のみ $bT=8.0\text{ s}$ と変更したM1-T8modelを用いる。表1に各モデルそれぞれの免震層の初期剛性を用いて11質点系の固有値解析から求めた1次固有周期 $1T$ を示す。

構造物に作用する風外力は風洞実験結果⁵⁾を用いた。頂部風速 $U_H=63.8\text{ m/s}$ (再現期間500年)を用いる。応答値は30波の応答のアンサンブル平均結果により評価した。検討用風力は平均成分を含まない変動成分のみの風方向および風直交方向風力とする。図2に風力入力方向ごとの頂部層風力のパワースペクトル密度 S_{F10} を示す。

3 等価固有周期に基づくエネルギーの評価

本章では、上部重量および免震周期が入力エネルギーに占める免震層の吸収エネルギーの割合 α_p (後述)に与える影響を文献3)に倣い、等価固有周期 $1T_{eq}$ を用いて検討する。なお、 $1T_{eq}$ は、免震層の1サイクルあたりの履歴吸収エネルギーが等価になるような免震層の等価剛性 bK_{eq} ⁶⁾を用いて、11質点系の固有値解析から求めた建物の1次固有周期としている。 bK_{eq} ⁶⁾は(1)式より算出される。

表1 1次固有周期 $1T$

$d\alpha_y$	M1-T6	M2-T6	M1-T8
0.02	5.36 s	5.37 s	5.38 s
0.04	5.19 s	5.20 s	5.20 s
0.06	5.13 s	5.14 s	5.13 s
0.10	5.08 s	5.09 s	5.08 s

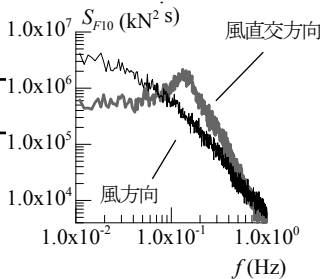


図2 頂部層風力のパワースペクトル密度

¹⁾ 東京工業大学(元東京理科大学) ²⁾ 東京工業大学 ⁵⁾ 東京理科大学
Tokyo Institute of Technology Tokyo Institute of Technology Tokyo University of Science
³⁾ 株式会社 日建設計 博士(工学) ⁴⁾ 前田建設工業(元東京理科大学)
Nikken Sekkei Ltd., Dr.Eng Maeda Corporation

$${}_b K_{eq} = {}_{1b} K \cdot \left\{ 1 - (1 - \alpha) e^{-\frac{{}_b \delta_y^2}{2 \cdot {}_b \sigma_x^2}} + (1 - \alpha) \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{{}_b \delta_y}{{}_b \sigma_x} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{{}_b \delta_y}{\sqrt{2} \cdot {}_b \sigma_x} \right) \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 ${}_{1b} K$: 免震層の初期剛性、 α : 免震層の剛性比 (= 免震層の2次剛性 / 免震層の初期剛性)、 ${}_b \delta_y$: 免震層の降伏変位、 ${}_b \sigma_x$: 免震層応答変位の標準偏差である、なお、 ${}_b \sigma_x$ は時刻歴応答解析結果を用いる。

まず、 ${}_1 T_{eq}$ に基づき風力入力方向ごとの入力エネルギー E の評価を行う。なお、 E は上部構造全層の構造減衰による吸収エネルギー ${}_u W_h$ および免震層の吸収エネルギー ${}_b W_p$ の和で表される²⁾。図3に風力入力方向ごとの E をそれぞれ示す。図3に着目すると、風方向に比べ風直交方向の E が大きいこと、パラメータによらず、 ${}_1 T_{eq}$ が長くなると、 E は大きくなることわかる。これらは、本報の解析範囲のほとんどが風直交方向における層風力のパワーのピークより、振動数が高いところにあることにより、風力が風方向より風直交方向のほうが大きく、また、振動数が低いほど大きくなるためである(図2参照)。以上より、無減衰弾性1質点系で確認されていた³⁾、入力エネルギーは固有周期に関連付けられることが、弾塑性多質点系においても確認された。

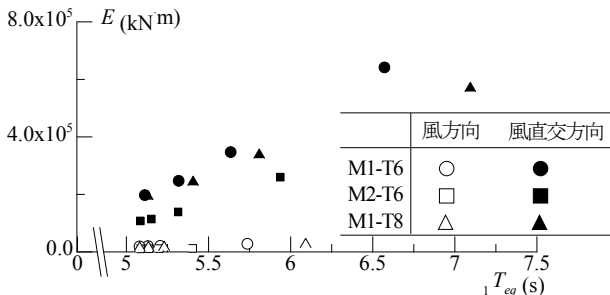


図3 ${}_1 T_{eq}$ に基づく入力エネルギーの変化

次に、パラメータが α_p (2式より算出)に与える影響を検討する。各モデルそれぞれの ${}_1 T_{eq}$ を、免震層の初期剛性を用いて11質点固有値解析から求めた建物の1次固有周期 ${}_1 T$ で除した値を α_T と定義し、 α_T に基づき α_p を検討する。なお、 α_T は、塑性化による固有周期の変化率を表し、(3)式より算出される。

$$\alpha_p = {}_b W_p / ({}_u W_h + {}_b W_p) = {}_b W_p / E \quad (2)$$

$$\alpha_T = {}_1 T_{eq} / {}_1 T \quad (3)$$

図4に各モデルにおける α_p と α_T の関係を示す。図4に着目すると、パラメータによらず、 $\alpha_T < 1.1$ の範囲において、 α_T が大きくなると α_p は急激に増加していることがわかる。しかし、 $\alpha_T > 1.1$ の範囲では、 α_p

は約0.8程度の値となり、上限値を有することがわかる。このことから、 α_p は α_T の影響が大きいことがわかる。 α_T が同程度の場合、パラメータの差異によるばらつきはあるが、 α_p は概ね同程度になっている。以上より、本報の解析範囲では、 α_p は風力入力方向、 ${}_d \alpha_y$ 、 ${}_u W$ および ${}_b T$ の影響は小さく、 ${}_1 T_{eq}$ で評価できることが確認された。

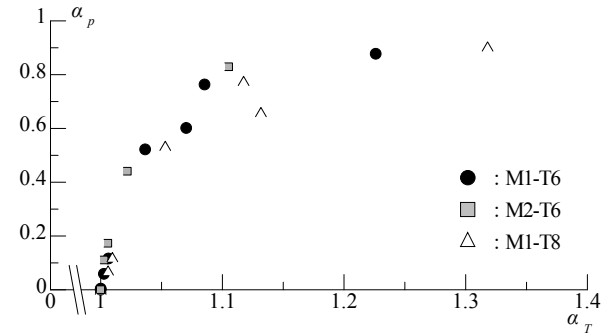


図4 α_p と α_T の関係

4. まとめ

本報では、固有周期に基づき変動風力を受ける超高層免震建物のエネルギー特性の評価を行った。本報で対象とした建物の場合、1質点系で確認されていた、入力エネルギーは固有周期に関連付けられることが、弾塑性多質点系においても確認された。また、入力エネルギーに占める免震層の吸収エネルギーの割合 α_p は、風力入力方向、ダンパーの降伏せん断力係数、上部重量および免震層周期による影響は小さく、塑性化による固有周期の変化率 α_T で評価できることが確認された。

謝辞

本研究は、神奈川大学大熊武司教授、(株) 泉創建エンジニアリング、(株) 日建設計、東京理科大学北村研究室、東京工業大学佐藤研究室による新耐風設計法研究会の成果の一部です。特に、本研究を進めるにあたり、大熊武司教授、(株) 泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫博士、片桐純治博士、鶴見俊雄氏からご指導を賜りました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木悠也、佐藤大樹、吉江慶祐、北村春幸：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層免震建物の応答予測手法、日本建築学会学術講演梗概集, pp281-282, 2010.7
- 2) 平井宏幸、佐藤大樹、吉江慶祐、鈴木悠也、北村春幸：多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層免震建物の上部構造の応答評価、日本建築学会学術講演梗概集, pp283-284, 2010.7
- 3) 吉江慶祐、北村春幸、大熊武司：変動風力による弾塑性構造物への総エネルギー入力に関する研究、日本建築学会構造系論文集, 第572号, pp31-38, 2003.10
- 4) 齋藤元紀、佐藤大樹、吉江慶祐、池上昌志、北村春幸：多質点系モデルを用いた変動風力を受ける超高層免震建物の応答評価、関東支部研究報告集, 2015.3
- 5) 丸川比佐夫、大熊武司、北村春幸：風洞実験に基づく高層建物の多層風力によるエネルギー入力性状(その2)、学術講演梗概集, pp193-194, 2010.7
- 6) 吉江慶祐、北村春幸、大熊武司：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法、日本建築学会構造系論文集, 第589号, pp59-66, 2005.3