

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	超高層免震建物の観測記録に基づく風応答特性の評価に関する研究
Title	
著者(和文)	鈴木 勇人, 佐藤 大樹, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸
Authors	daiki sato, TETSURO TAMURA, Yoshiyuki Fugo, Osamu Nakamura, KAZUHIKO KASAI, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 82, No. ,
Citation(English)	, Vol. 82, No. ,
発行日 / Pub. date	2012, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110009571506

超高層免震建物の観測記録に基づく風応答特性の評価に関する研究

構造—振動

準会員 ○ 鈴木勇人^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*2} 正会員 田村哲郎^{*3} 正会員 普後良之^{*4}
正会員 中村 修^{*4} 正会員 笠井和彦^{*5} 正会員 北村春幸^{*6}

風観測 超高層免震建物 長期観測

振れ応答 高次モード 固有振動数

1. はじめに

近年の高層建築物には、地震時や強風時の安全性だけでなく風揺れなどに対する居住性の向上が要求されるようになってきた。様々な建物が風観測^(例)を行っているが、未だ超高層免震建物で風を対象とした研究はあまり行われていない。しかし、免震建物の高層化により風荷重の増大が著しい場合には、風荷重が地震荷重を上回り、風荷重により免震層が塑性化する場合も考えられる。従って超高層免震建物の風応答について調査することは重要である。

本報では東京工業大学すずかけ台キャンパスの超高層免震建物であるJ2棟を対象とし、超高層免震建物の風応答特性を報告する。

2. 建物概要および観測概要

図1に、J2棟の立面図を示す。J2棟は地上20階、棟屋2階、高さ91.4mの超高層建物であり、平面における短辺に対して塔状比が5に達する比較的スレンダーな形状の建物である。2011年9月現在、J2棟の隣ではJ3棟が16~17階まで建設中であり、J2棟との接合が進められている。敷地は傾斜地に位置しており、1階の半分以上が周囲の土に埋もれているため、1階と2階の間に免震層を設けた中間免震構造を採用している。上部構造はCFT構造を用いた鉄骨構造、基礎および1階は鉄筋コンクリート構造である。免震層はφ1100、φ1200の天然ゴム系積層ゴム支障(16基)と免震用オイルダンパー(2基)および鋼材ダンパー(一体型12基、別置型2基)で構成されている。短辺方向

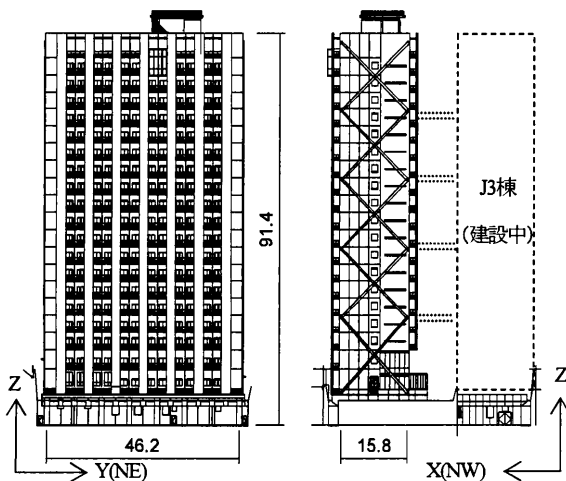


図1 東京工業大学J2棟(単位:m)

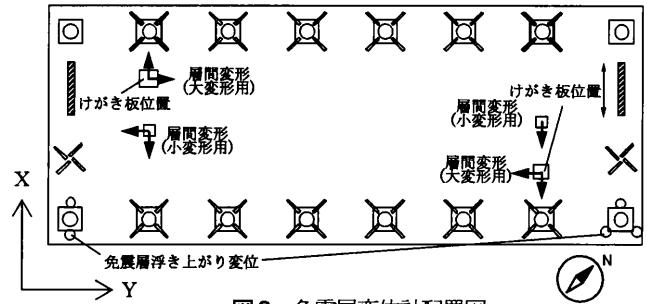


図2 免震層変位計配置図

をX方向、長辺方向をY方向と定義する(図1)。免震層(MF)には計12chの変位計が設置されている(図2)。また、J2棟内には計27chの加速度計が設置されている。更に、建物頂部には2つの風速計が設置されている(図3)。各種変位計測装置の詳細については文献2)を参照されたい。データ処理として、加速度記録は0.1~5.0Hzまでのバンドパスフィルターをかけている。変位記録は微風時の変位を全体の変位から引くことで平均値補正をしている。

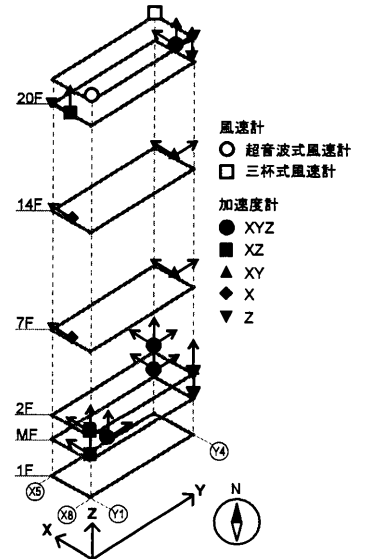


図3 加速度計設置位置図

3. 観測記録概要

本報では1日の最大平均風速が大きい2007年10月27日(台風20号)、と2011年9月21日(台風15号)を対象とする。図4に各日の台風の経路³⁾とJ2棟の位置を示す。平均風速をU、最大瞬間風速をTとする。図5、6に両日の風速および風向の時系変化を示す。10月27

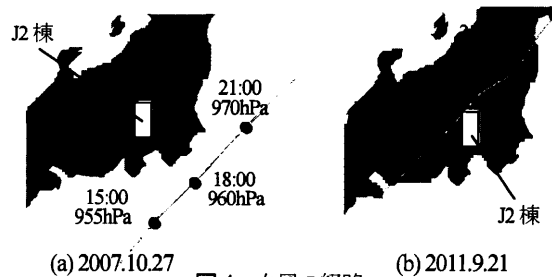


図4 台風の経路

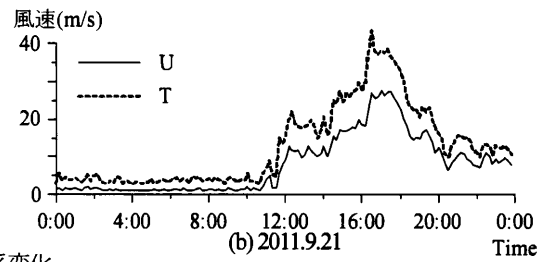
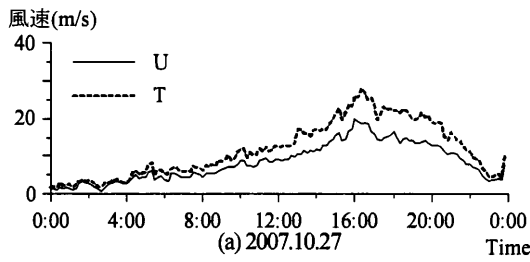


図5 風速の時系変化

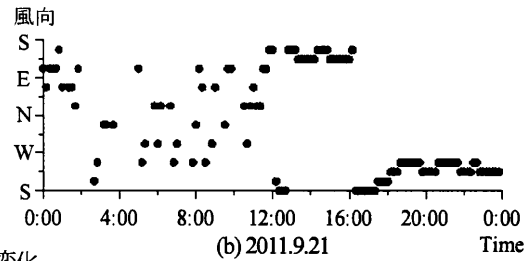
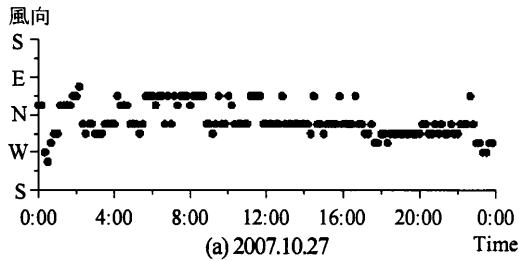


図6 風向の時系変化

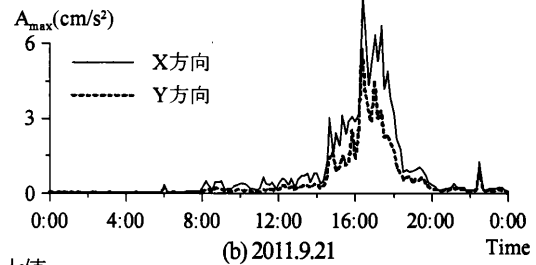
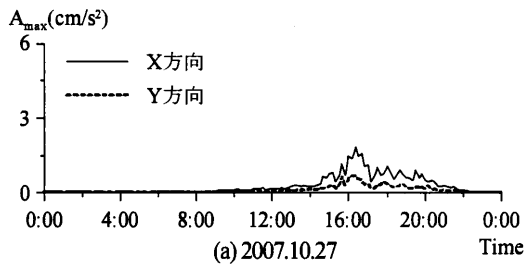


図7 加速度の最大値

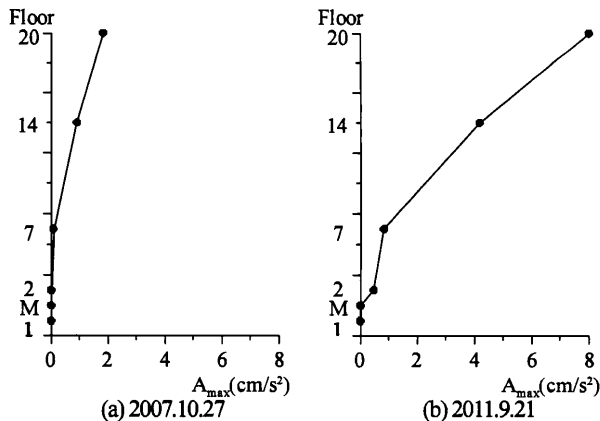


図8 加速度の高さ方向分布

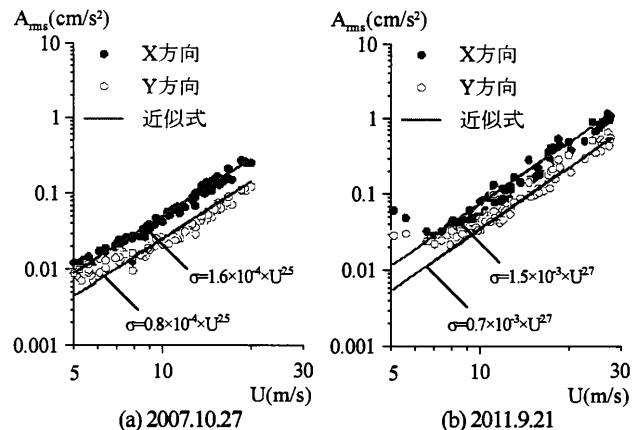


図9 応答加速度の標準偏差と平均風速の関係

日は最大風速時の風向が北側のため三杯式風速計、9月21日は南側のため超音波式風速計での結果を示している。なお、最大瞬間風速については平均化時間を3秒間としている。図7に20階の北側で記録した最大加速度の最大値 A_{max} を示す。両日で16時20分にX、Y両方向で最大となっていることが分かる。図8に20階で最大加速度を記録した時刻の、北側の最大応答加速度の高さ方向分布を示す。図9に応答加速度の標準偏差 A_{ms} と平均風速 U の関係を示す。図9より応答加速度の標準偏差はX方向、Y方向のいずれも風速の2.5~2.7乗に比例して増大していることが確認できる。この結果は文献4)と同様の結果が得られた。また、同程度の風速に対する応答は9月21日の方が大きいことがわかる。

4. 振れ振動と高次モードの評価

4.1 振れ振動

図10に20階での北側のX方向の加速度のパワースペクトル密度(PSD)の例を示す。図より0.6Hzと0.8Hz付近に、併進(X方向)の1次固有振動数、振れの1次固有振動数に相当する振動数にピーク⁹⁾が見られる。併進(X方向)、振れのPSDのピーク値をそれぞれ併進パワー、振れパワーと定義する。図11に併進パワー、振れパワーの風速による変化を示す。図より、風速の上昇と共に、両パワーが増大する様子がわかる。しかし、併進パワーの変化は振れパワーの変化に比べて大きい。また、図9と同様に、同程度の風速に対する併進パワー、振れパワーは9月21日の方が大きいことが確認できる。

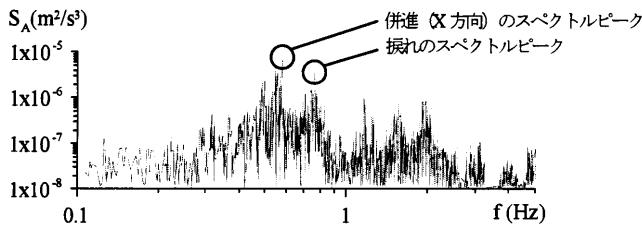


図 10 20 階での X 方向加速度の PSD

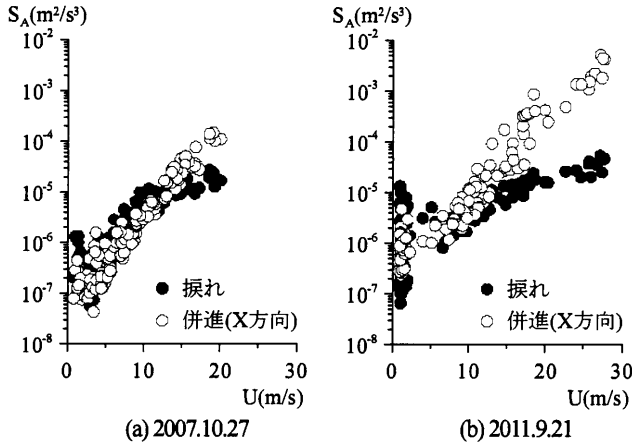


図 11 風速による併進, 振れの変化

4.2 応答成分の分離

図 12 に, 9 月 21 日における 20 階で最大加速度を記録した時刻の北側と南側の応答加速度 (図 3) の時刻歴の平均処理により, 振れ成分を除いた X 方向加速度波形の PSD を示す。PSD は図中に示す境界振動数 f_{bound} を境に準静的成分と共振成分に分離することができる^{9) 7)}。本報では文献 6) にない, 境界振動数 f_{bound} を固有振動数の 1/3 の振動数 (固有周期の 3 倍の周期) とする。さらに共振成分を 1, 2, 3 次共振成分に分解していく。図 12 より, それぞれの固有振動数に相当する振動数にピークが見られる。各次数の境界振動数 f_{high} および f_{low} を決定し, 加速度の各次共振成分の標準偏差を算出する。なお, 4 次共振成分以降の応答はまとめて 3 次共振成分としている。

図 13 に 20 階 X 方向加速度の各次モードに対応する分散 A_{rms}^2 の時系変化を示す。図より, 準静的成分はほとんどないことがわかる。強風時と比べると微風時は各成分が極めて小さい。中でも 1 次共振成分の占める割合が最も大きく, 強風時では全体の 8 割程度を占めている。2, 3 次共振成分は残りの 2 割程度を占めている。

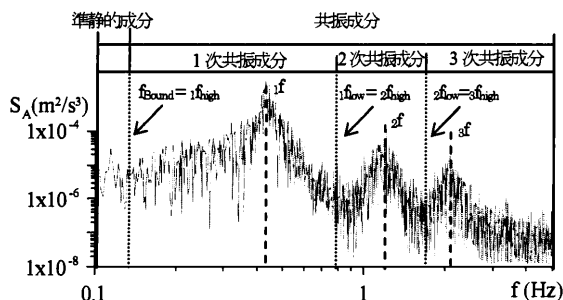


図 12 20 階での加速度の PSD

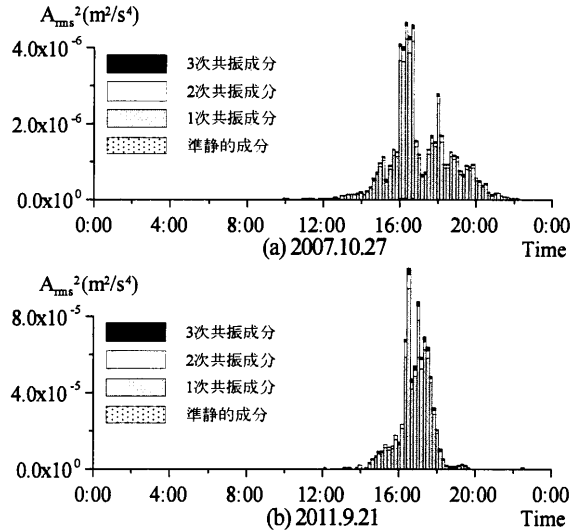


図 13 X 方向加速度の各次モードの分散の時系変化

5. 固有振動数の変動の検討

5.1 免震層の変位

図 14(a), (b)に両日の免震層の西側の小変形用変位計の 10 分間の変形の中心位置を示す。図 15(a), (b)に両日の免震層の最大変形を記録した 10 分間の変位のオービットを示す。小変形用の変位計の観測記録を用い (図 2), X 方向については東西の変位計記録の平均値を, Y 方向については西側の変位計記録を用いた。図内の数値は平均風速を示し, また括弧内の数値は最大瞬間風速を示す。矢印は風向を示しており, 矢印の長さは平均風速に比例している。図 15(a), (b)より, 風向と風速に伴い, 免震層が動いている様子が確認できる。図 15(b)では, 免震層は 9 月 21 日に最大で X 方向に 10.8mm 動いていることがわかる。なお, 鋼材ダンパーの降伏変位は 31.7mm であるため, ダンパーは弾性範囲に留まっている。

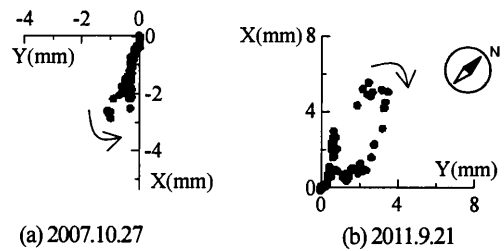


図 14 10 分毎の免震層の変形の中心

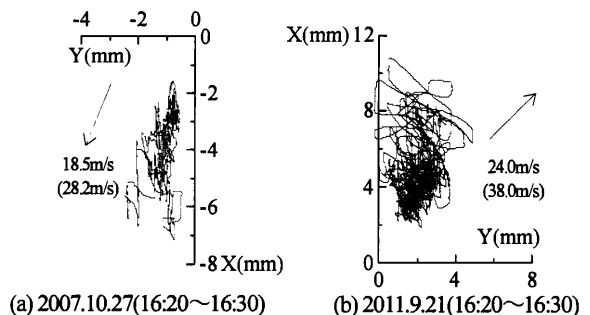


図 15 最大変形発生時における免震層の変位のオービット(10 分間)

5.2 固有振動数の推移

図16にX方向、Y方向の併進の1次固有振動数、振れの1次固有振動数の時系変化を示す。各1次固有振動数は、応答加速度のPSDにおけるピークに対する振動数を用いる。図16(a)、(b)を見ると、微風時に比べ、強風時では免震層が大きく変形することで(図15)それぞれの固有振動数が低下していることが確認できる。特に9月21日では最大応答時にX方向とY方向の併進1次の固有振動数がそれぞれ0.4Hz付近となり、ほぼ同じ値を示していることがわかる。千葉県北西部地震(2005.7.23.M6.0)および宮城県沖地震(2005.8.16.M7.2)において、免震層が9月21日の16時20分と同程度変形しており、この場合と比較すると、9月21日の最大応答時の1次固有振動数は概ね一致する⁸⁾。

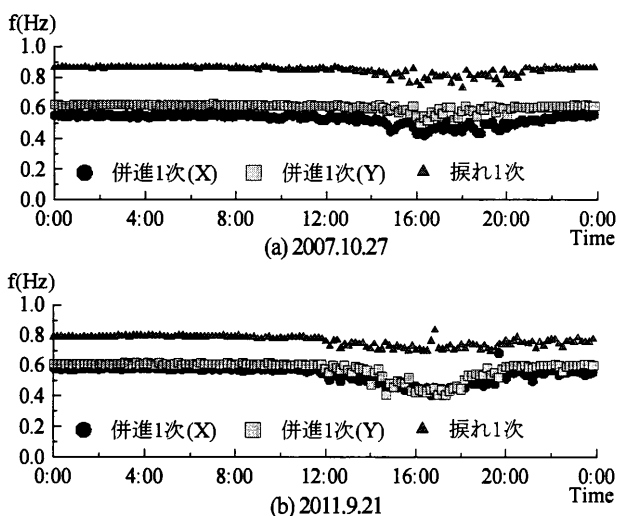


図16 1次固有振動数の時系変化

5.3 知覚確率の評価

建物の知覚確率の評価を行う際には、最大風速時の1次固有振動数と応答加速度の最大値を用いる。文献9)の性能評価曲線を参考に、観測記録の応答加速度から知覚確率の評価を行う。図17(a)、(b)に両日の知覚確率の評価を示す。最も高い数値として、9月21日(図17(b))ではX方向でH-90を示した。またY方向でもH-50を示した。

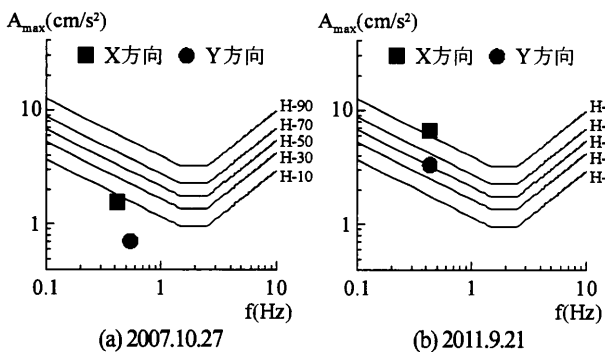


図17 知覚確率の評価

6. まとめ

本報では超高層免震建物である東京工業大学J2棟を対象とし、観測記録を基に風応答特性を明らかにした。以下に知見を示す。

- (1) 振れパワー、併進パワーともに、風速に伴い増大する。しかし、振れパワーの変化に比べ、併進パワーの変化の割合が大きい。
- (2) 高次モードの評価を行った。強風時には全ての共振成分が増大し、1次共振成分は加速度の分散において8割程度、2次共振成分および3次共振成分が2割程度を占めた。
- (3) 頂部加速度の最も大きい9月21日の台風は、免震層は10.8mm変形したことを確認した。しかし、鋼材ダンパーの降伏変形は31.7mmであり、弾性範囲内であった。
- (4) 強風時には免震層の変形に伴い、振動数が低下することを確認した。この9月21日の最大応答時の1次固有振動数は、地震時において、免震層が同程度変形した場合と比較すると、概ね一致する。

本報ではJ3棟接合によるJ2棟の風応答への影響は確認できていない。これについては今後行う予定である。

謝辞

本研究で用いたJ2棟の観測データは、東京工業大学GCOEプログラムから提供して頂いたものであります。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 溜正俊, 塚谷秀範, 堀田祐介, 中村修, 宮下康一, 勝村章, 岸田岳一: 丸の内ビルディングの風・地震観測 その3 周辺建物が風応答に与える影響の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.95-96, 2010.9
- 2) 大木洋司, 山下忠道, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章: 超高層免震建物の長期観測システム構築に関する具体的な取り組み, 日本建築学会技術報告集第21号, pp.73-77, 2005.6
- 3) ウェザーニュース: <http://weathernews.jp/typhoon/> (2012.1.5 参照)
- 4) 藤本盛久, 大熊武司, 天野輝久, 赤木久真, 平松和嗣, 飯利昌人: 7920 台風時の建物風圧力および建物振動についての実現結果(その2)建物振動および振動の居住者への影響, 風工学シンポジウム, pp.201-208, 1980
- 5) 海老原崇弘, 佐藤大樹, 大木洋司, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章, 北村春幸: 超高層免震建物の地震・風応答特性に関する研究, 2007年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.173-176, 2007.3
- 6) 吉江慶祐, 大熊武司, 北村春幸, 和田章: 広帯域性の変動風力を受ける弾塑性構造物の応答変位振幅の確率分布, 日本建築学会構造系論文集第604号, pp.37-46, 2006.6
- 7) 辻田修, 早部安弘, 大熊武司, 和田章: 弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測手法に関する研究その2 風方向振動の場合, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.25-34, 1996.7
- 8) 佐藤大樹, 大木洋司, 盛川仁, 山田哲, 坂田弘安, 山中浩明, 笠井和彦, 和田章, 北村春幸: 観測記録に基づく超高層免震建物の応答特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.309-310, 2008.9
- 9) 日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性評価指針・同解説

*1 東京理科大学
 *2 東京理科大学 助授・博士(工学)
 *3 東京工業大学 教授・工博
 *4 (株)風工学研究所
 *5 東京工業大学 建築物物理研究センター 教授・PhD
 *6 東京理科大学 教授・博士(工学)