

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および居住性評価 その1 2024年台風7号の風速および加速度記録の評価
Title(English)	Assessment of wind response and occupancy based on the observational record of seismically isolated high-rise buildings Part.1 Evaluation of Typhoon No. 7 in 2024 wind speed and acceleration records
著者(和文)	清谷直生, 佐藤大樹, 普後良之, 陳引力
Authors(English)	Naoki Kiyotani, Daiki Sato, Yoshiyuki Fugo, Yinli Chen
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Ⅰ, , pp. 417-420
Citation(English)	, Ⅰ, , pp. 417-420
発行日 / Pub. date	2025, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

超高層免震建物の観測記録に基づく風応答および居住性評価

その1 2024年台風7号の風速および加速度記録の評価

構造—振動

準会員○ 清谷直生 * 1 正会員 佐藤大樹 * 2
正会員 普後良之 * 3 // 陳 引力 * 4

超高層免震建物 風応答観測記録 長期観測
再現期間1年

1. はじめに

近年、免震構造が積極的に採用され、超高層建物への適用が拡大している。超高層免震建物は非免震建物と比べ固有周期が長くなるため、風外力の影響を受けやすいとされている。しかし、超高層免震構造物の観測記録に基づく居住性評価例は少なく、風揺れと居住者の感覚の関係の実態調査例は、免震建物に限らず少ない。

超高層免震建物の居住性の既往研究として、鈴木らによる東京科学大学 J2 棟を対象とした観測調査がある⁵⁾。鈴木らは、J2 棟端部では加速度の並進成分よりも振れ成分が大きくなる場合があることを指摘しており、その原因として J2 棟の平面形状が扁平であるためと考察している。また、平島らは増築により建物形状が変わった J2-3 棟を対象とし、複数の台風接近時の加速度記録を用いて居住性能評価を行っている⁶⁾。その結果、振れの影響が大きく、J2-3 棟が免震建物であるために並進と振れ成分の1次固有振動数が近接したことが原因と考察している。

筆者らは平島らと同じ J2-3 棟を対象に、屋上付近風速と建物高さ方向3レベルの加速度の観測を継続している。本研究では新たに得られたデータを加えた長期観測記録に対し俯瞰した整理を行い問題の再抽出を行うと共に、2024年台風7号（以下、T2407）接近時には居住性に関するアンケート調査を実施し、詳細な分析を行った。本報その1では T2407 接近時の最大風速の再現期間の評価および T2407 接近時の加速度記録の分析結果を報告する。

2. 対象建物および風速、加速度計測システムの概要

J2-3 棟は、図1に示すように J2 棟と J3 棟の2棟が剛に連結された高さ91.4 mの超高層免震建物であり、免震層は1階と2階の間にある^{3), 4)}。図2に風向・風速計位置を示す。風向・風速計は J2-3 棟屋上階の北側と南側にそれぞれ1機ずつあり、屋上外壁の頂部から約4 mの高さに設置されている。風向・風速のサンプリング周期は1秒である。平均風速は10分間平均で評価される。風向は正

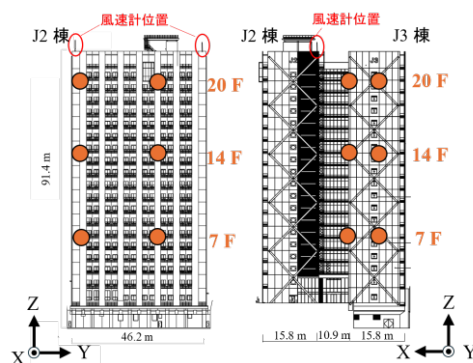


図1 J2-3 棟立面

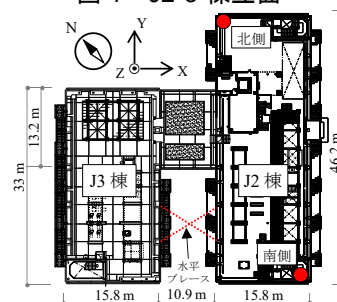


図2 風速計位置

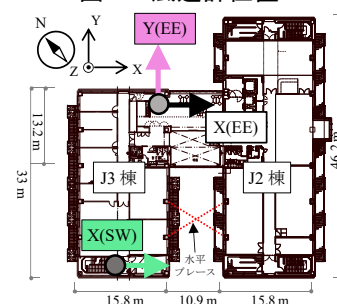


図3 J3 棟基準階 加速度計設置位置

16方位で記録され、10分間の最多出現風向で評価される。図1および図3に本論文で使用する加速度計設置位置を示す。加速度は、7階、14階、20階においてX方向2成分(X(E), X(SW))とY方向1成分(Y(E))の計3成分が常時計測されている。本報で扱うJ3側の加速度計は、30 Hzのアナログローパスフィルタを介しており、100Hzで収録されている。

3. 長期観測記録による T2407 の風速の評価

3.1 T2407 の概要と観測された風速について

T2407 は図 4 に示すように 8 月 16 日に関東の南側に接近した。図 5 に風向および風速の時刻歴を示す。T2407 の接近時、J2-3 棟屋上の風向は終始北よりであり、最大平均風速は北側風速計で観測された 13.0 m/s である。13.0 m/s を観測した時間帯は 15:30～15:40, 17:20～17:30, 17:30～17:40 であり、風向はそれぞれ NNW, NW, NW である。また、J2-3 棟屋上の風向・風速変動は、J2-3 棟の東南東約 17km に位置する横浜地方気象台と概ね対応していた。

3.2 T2407 の最大風速の再現期間算定

T2407 の再現期間を算出することを目的とし、この節では長期間の風速記録を整理する。再現期間の算出は荷重指針を参考に長期記録を風向ごとにグンベル分布に当てはめる手法で行う。分析には 2014 年 1 月 1 日から 2023 年 12 月 31 日までの 10 年間の日最大風速を使用する。J2-3 棟では南北 2 か所で風観測を行っているため、その 10 分毎に平均風速を比較し、その値が大きい方を代表風速とした。対象期間には、欠測日や一部の時間帯に欠測が

ある日が含まれている。これらの日のデータを除くと、3069 日であった。

図 6 に各風向の日最大風速と非超過確率の関係を示す。風向 i の非超過確率 $F_U(U_i)$ の規準化変数 S_i を式(1)のように定義し、図 6 の横軸とした。 $F_U(U_i)$ は Hazen の方法によって求めた。

$$S_i = -\ln\{-\ln(F_U(U_i))\} \quad (1)$$

規準化変数を用いるとグンベル分布は(2)式で表される。

$$U_i = \frac{1}{a_i} S_i + b_i \quad (2)$$

図 6 に対しグンベル積率法によって求めた近似曲線を重ねて示す。表 1 に算出した風向別グンベルパラメータ a_i 、 b_i と日最大風速の風向出現頻度 p_i を示す。

図 6 では日最大風速 U_i が 7.5 m/s 以上となった日のうち、気象庁の定義した日本に台風が近接した日を赤色、それ以外の日を黄色でプロットしている。20 m/s 以上の強風は主に南寄り（風向 SSE～WSW）で観測されている。これらの強風は台風を成因としたものが多いが、風向

表 1 J2-3 棟頂部の風向別グンベル分布のパラメータ

風向	a_i	b_i	p_i (%) J2 棟
NNE	0.67	6.40	1.9
NE	0.81	6.36	1.7
ENE	0.84	6.03	1.2
E	1.01	5.87	2.2
ESE	0.88	6.06	3.6
SE	0.28	8.09	0.5
SSE	0.44	6.61	2.5
S	0.44	7.89	13.4
SSW	0.40	7.97	11.7
SW	0.38	8.10	13.1
WSW	0.31	9.49	4.2
S	0.44	9.09	0.8
WNW	0.58	5.81	1.3
NW	0.49	6.81	16.9
NNW	0.56	6.91	21.8
N	0.59	6.80	3.3

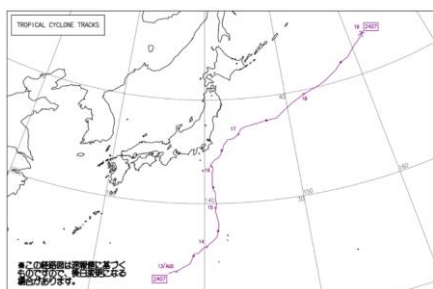


図 4 T2407 経路図⁸⁾

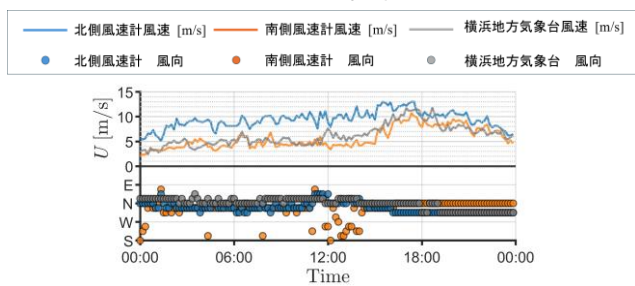


図 5 2024/8/16 の風速時刻歴

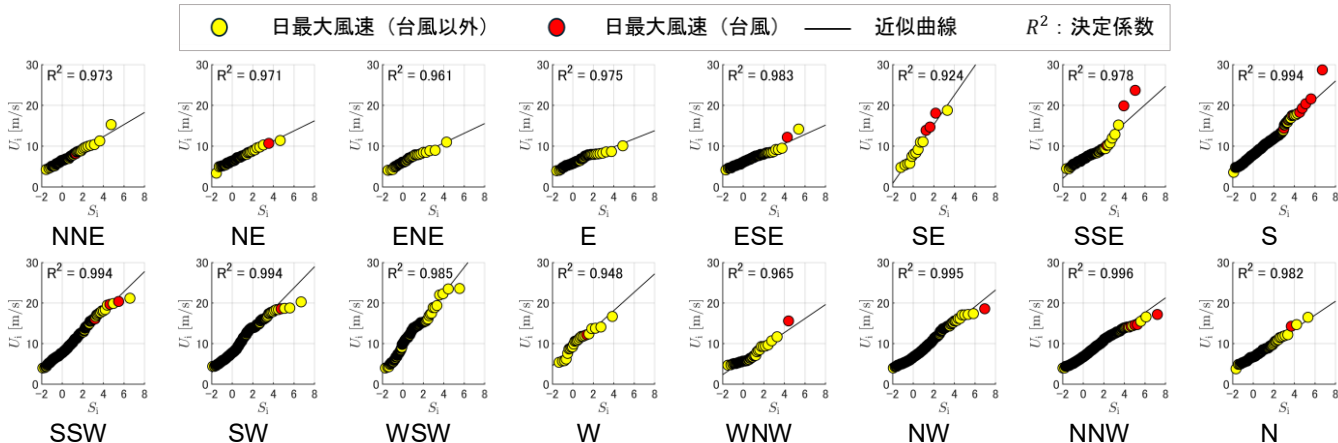


図 6 風向別日最大風速分布

WSW においては台風以外を成因としている。また、台風発生時において一部近似曲線とプロットとの間で乖離が見られる。これは強風の発生要因の違いが原因だと考えられる。しかし、大幅にプロットが近似曲線と乖離している日は数日であるため、再現期間推定精度への影響は小さいと判断し、発生要因の分離は行わなかった。

再現期間は風向別非超過確率の和から算定され、風速 U に対応する非超過確率 $F(U)$ は (3)式により求まる。T2407の最大風速の再現期間は、約 13 日であった。

$$F(U)=\sum_i p_i \exp\{-\exp(-a_i(U-b_i))\} \tag{3}$$

3.3. 近隣の気象台との比較

この節では J2-3 棟屋上の再現期間 1 年の風速を、横浜地方気象台および荷重指針と比較する。J2-3 棟屋上の再現期間 1 年風速は、(3)式の $F(U)$ が 1/365.25 となる風速 U を収束計算により求めた。横浜気象台の風速は、J2-3 棟と横浜気象台の周辺が共に地表面粗度区分Ⅲ、かつ荷重指針に示される風速鉛直分布が実際の鉛直分布に近いと仮定し、べき指数 0.20 を用いて J2-3 頂部高さに換算した。その風速を用いて 3.2 節と同様のグンベル分布への当てはめを行い、横浜地方気象台の位置の、高さ 95m 相当の再現期間 1 年の風速を算定した。荷重指針¹⁾の再現期間 1 年の設計用風速は、同解説中の横浜のグンベルパラメータを用いて J2-3 棟風速計高さに対し算定した。表 2 にそれぞれの地点での再現期間 1 年風速値の比較を示す。3 つの風速は概ね近い値となった。

表 2 J2-3 棟頂部風速計位置（地上 95 m）での
再現期間 1 年風速値の比較

使用したデータ	風速値(m/s)
J2-3 棟頂部風速計（算出値）	21.7
横浜地方気象台（算出値）	21.8
荷重指針の設計用風速	24.9

4. T2407 接近時の応答加速度の分析

4.1 各階の加速度時刻歴について

図 7 に台風接近時の各階の 10 分間の加速度時刻歴の最大値 A_{MAX} の時系列変化を示す。各階の加速度は風速と概ね対応して増減した。各階において建物端部の加速度計である X(SW)の加速度は建物中心部の加速計 X(EE)に比べ大きく、特に 20 階においてその差は大きかった。

4.2 加速度処理方法について

各階の加速度時刻歴のパワースペクトル密度 (PSD) の一例を図 8 に示す。モード別の分析を目的とし、各次の固有振動数と推定される各ピーク間の谷の位置をカットオフ周波数としてバンドパスフィルター処理を行った。ただし、データにより PSD の谷の位置にはバラツキが見られた。隣接するモードの成分を独立に評価するため、バラツキの中で着目モードの固有振動数に近い振動数を選択した。バンドパスフィルターの設定周波数を表 3 に示す。なお、風速に応じて固有振動数および各モード間の PSD の谷となる周波数が変化したため、このバンドパス

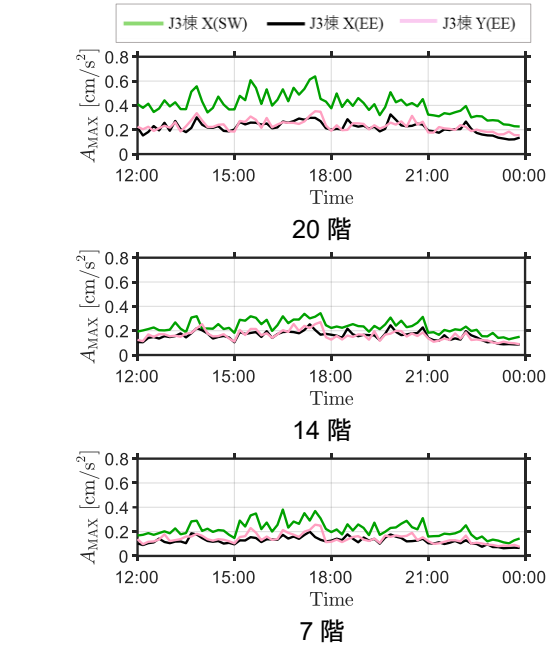


図 7 最大応答加速度の時系列変化

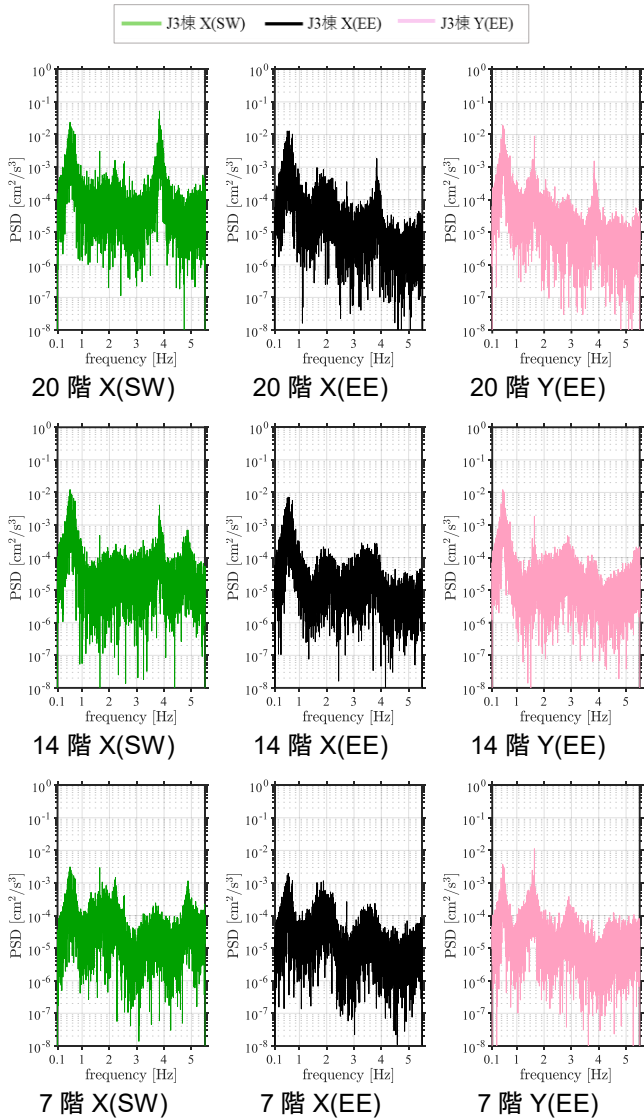


図 8 T2407 最接近時の加速度の PSD
(2024/8/16 17:30 -17:40)

フィルター設定は T2407 接近時のみに適用した。

表 3 バンドパスフィルターの設定周波数

	X 方向 [Hz]	Y 方向 [Hz]
1 次	0.1~1.0	0.1~1.0
2 次	1.2~2.5	1.2~2.5
3 次	2.7~4.2	2.5~3.5
4 次	4.5~5.2	3.5~4.2

4.4 応答加速度の分析

最大風速を観測した 10 分間（15:30~15:40）において 20 階の X(SW)で最大加速度を観測した前後の加速度時刻歴波形を図 9 に示す。いずれのモードにおいても 2 つの加速度計時刻歴が一致しないのは、振れの影響と考えられる。X(EE)は建物剛芯に近い振れの影響を受けにくく、X(SW)は剛芯から離れており振れの影響を強く受ける。X(EE)の加速度が小さい時間帯に X(SW)加速度が大きいデータが各次で見られた。この時間帯の X(SW)の加速度は主に振れによる振動と考えられ、これが X(EE)の最大振幅と同程度の値を示すことは、振れによる加速度振幅が並進による加速度振幅と同程度であることを意味する。1 次に関して並進加速度振幅と振れ加速度振幅が同程度を示したことは既往研究と同様の傾向であった。2 次でも同様に振れが大きな振幅を示し、3 次では振れに起因する振幅の方が並進より大きい結果となった。図 10 に加速度最大振幅の高さ方向分布を示す。2 次は低層である 7 階

で建物頂部と同程度の加速度を示しており、これは免震層が大きく動かない状態であっても上層階に比べて低剛性であるためにおこる免震建物特有の動きであると推察される。3 次の 20 階の X(SW)は 1 次に近い最大振幅を示しており、免震層が振れに関して低剛性であることが原因の可能性はある。

5. まとめ

本報その 1 では、T2407 接近時の風速および加速度記録を評価した。長期間の風速記録を整理した結果、T2407 の再現期間は 13 日と算定された。加速度記録の分析では、2 次は 7 階で建物頂部と同程度の振幅を示し、3 次振れは 1 次に近い振幅となった。これらの原因は、免震層が上層階に比べて低剛性であるためと考えられる。

参考文献

1) 日本建築学会:建築物荷重指針・同解説, 2015. 2
2) 日本建築学会:建築物の振動に関する居住性能評価規準・同解説, 2018. 11
3) 大木他: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取り組み, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp. 73-77, 2005. 6
4) 菊地他:メガブレースを用いた超高層免震鋼構造建築物の設計, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp. 217-222, 2005. 12
5) 鈴木他:超高層免震建物の観測記録に基づく風応答の分析, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, pp. 251-256, 2012. 12
6) 平島他:2 棟連結型超高層免震建物の強風観測記録に基づく振れ応答挙動に関する研究その 2 並進・振れ挙動の分析および振れ成分を考慮した知覚確率の評価法の一提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 構造 I, 20045, pp. 89-90, 2021. 9
7) 気象庁, 過去の気象データ検索, 参照 2024 年 6 月
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
8) 気象庁ホームページ台風経路図, 参照 2024 年 8 月
https://www.data.jma.go.jp/yoho/typhoon/route_map/bst/2024.html

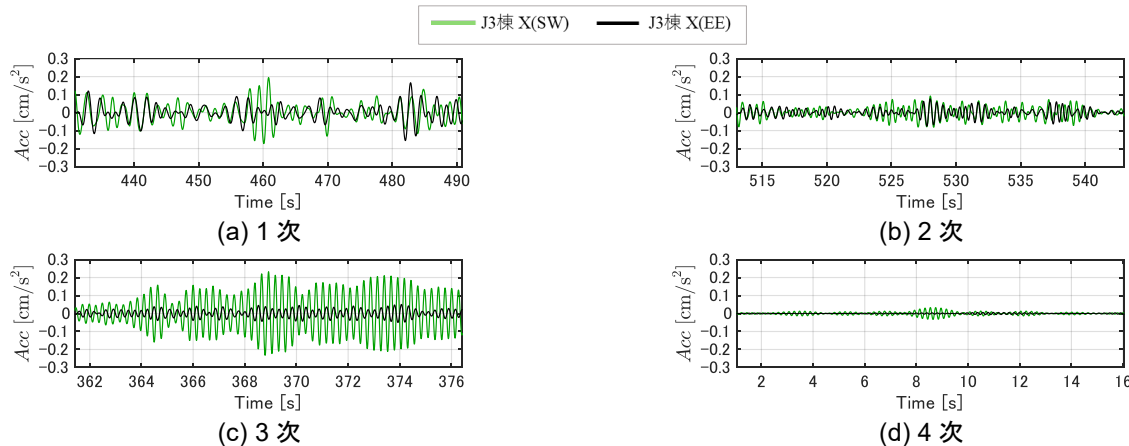


図 9 20 階加速度時刻歴波形（15:30~15:40）

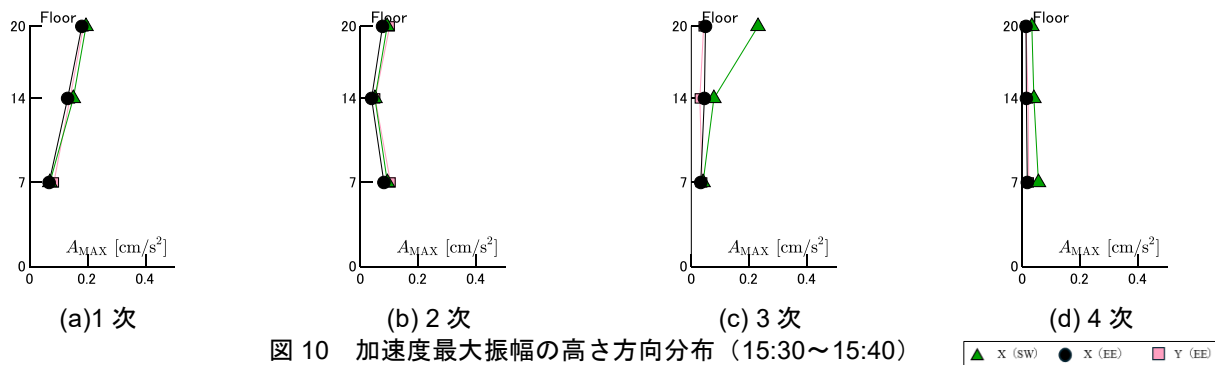


図 10 加速度最大振幅の高さ方向分布（15:30~15:40）

*1 学生会員 東京科学大学 学生
*2 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士（工学）
*3 (株)風工学研究所
*4 東京科学大学 総合研究院 助教・博士（学術）

Undergraduate Student, Institute of Science Tokyo*1
Associate Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Dr.Eng*2
Wind Engineering Institute, Co., Ltd.*3
Assistant Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Ph.D.*4