

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風観測記録に基づく超高層免震建物における加速度ピークファクターの分析
Title(English)	ANALYSIS OF ACCELERATION PEAK FACTOR OF BASE – ISOLATED HIGH – RISE BUILDING BASED ON WIND OBSERVATION RECORDS
著者(和文)	平島裕大, 佐藤大樹, 普後良之, 田村哲郎
Authors(English)	Yudai Hirashima, Daiki Sato, Yoshiyuki Fugo, Tetsuro Tamura
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 27, No. 66, pp. 650-655
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 27, No. 66, pp. 650-655
発行日 / Pub. date	2021, 6
権利情報	日本建築学会

風観測記録に基づく超高層免震建物における加速度ピークファクターの分析

ANALYSIS OF ACCELERATION PEAK FACTOR OF BASE-ISOLATED HIGH-RISE BUILDING BASED ON WIND OBSERVATION RECORDS

平島裕大 — * 1 佐藤大樹 — * 2
菅後良之 — * 3 田村哲郎 — * 4

Yudai HIRASHIMA — * 1 Daiki SATO — * 2
Yoshiyuki FUGO — * 3 Tetsuro TAMURA — * 4

キーワード：
風応答観測, 超高層免震建物, 台風記録, 加速度のピークファクター

There are only few available studies about wind response of base-isolated high-rise buildings. Conventional design wisdom for wind response is to consider peak responses. However, according to observed wind speed and acceleration of a base-isolated high-rise building, the acceleration peak factor is larger than the expected design value. As such, the authors carry out analysis considering two typhoon records for wind speed and acceleration stability. Results show unstable characteristics of wind speed and acceleration, and in certain time duration, unstable characteristics even for 1 minute.

Keywords:
Wind response observation, Base-isolated high-rise building, Typhoon record, Peak factor of acceleration

1. はじめに

近年, 超高層建物に免震構造が積極的に採用されるようになり, 風揺れに対する評価が重要となっている. しかし, 超高層免震建物の実観測記録が報告された例は少なく, 風に対する応答挙動には不明な点が数多く残る.

そのような背景を受けて, 佐藤ら¹⁾は超高層, 大熊ら²⁾は中層の免震建物において強風時の風速と加速度の観測記録を基に分析を行い, 加速度ピークファクターが4~8程度の値となることを報告している. 耐風設計に一般的に用いられる加速度ピークファクター g は, 風外力および応答の変動が定常ガウス過程かつ応答が狭帯域のランダム振動であることを前提とした場合に, 3~3.5程度の値となる³⁾. これと比較して, 上述した免震建物において観測された値は大きな値であり, 原因の特定には至っていない.

筆者らは, 東京工業大学すずかけ台キャンパスに建つ超高層免震建物 (J2-3 棟, 図1) を対象として, 2018年台風24号 (T1824) と2019年台風15号 (T1915) が接近した時の最上階における加速度記録を示し, 加速度ピークファクターが8程度となる時間帯があったことを報告した⁴⁾. 本報では, 上記2台風時におけるJ2-3棟最上階の加速度ピークファクターに関して風速および加速度の定常性に着目して分析した結果を報告する.

2. 対象建物および観測システムの概要

J2-3棟は, 先に建設されたJ2棟 (2005年竣工) に後で建設されたJ3棟 (2012年竣工) が連結された2棟連結型の超高層免震建物である. 建物高さは91.35mであり, 免震層は1階と2階の間にある. 免震装置の詳細については文献5), 6)を参照されたい. J2棟とJ3棟は, 屋内では各階において幅13.2mの渡り廊下, 屋外では水平ブレース (6, 10, 14, 18階) を介して連結されており (図2), J2-3棟の平面全体を剛床と見なす設計がなされている. なお, 図2中の重心とは,

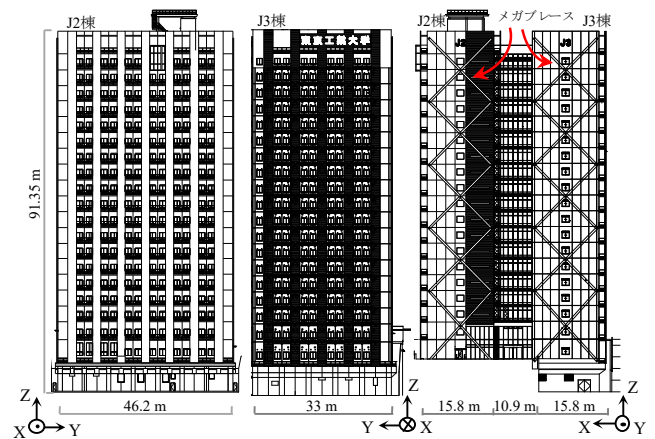


図1 J2-3棟立平面

部材レベルで再現した構造モデルにおける重心位置である. J2およびJ3棟の短辺であるX方向には4層を1ユニットとして架け渡すメガブレースが設置されている⁷⁾. 設計図書による固有周期は, 基礎固定・免震層固定とした場合, X方向1次固有周期は2.0秒, Y方向1次固有周期2.35秒である.

本報では図2に示すJ3棟20階の3つのサーボ型加速度計 (X (EE), Y (EE), X (SW)) を扱う. 加速度記録は, 収録機において30 Hzのローパスフィルタを介し, 100 Hzで収録されている. 風速・風向計は図3に示すようにJ2棟屋上階の北側と南側にそれぞれ1機ずつ, 屋上外壁の頂部から約4mの高さに設置されている⁸⁾. 風速のサンプリング周期は1秒であり, 3秒間平均が瞬間風速として記録され, 風向は正16方位で記録される. 加速度計と風速計は独立したシステムとなっているが, 各々LANなどの通信を経由してタイムサーバーを定期的に参照することで観測時刻を同期している⁵⁾.

¹⁾ 東京工業大学環境・社会理工学院 大学院生 (〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

²⁾ 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学) (㈱風工学研究所)

⁴⁾ 東京工業大学 工博

¹⁾ Graduate Student, School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

²⁾ Assoc. Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

³⁾ Wind Engineering Institute, Co., Ltd.

⁴⁾ Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

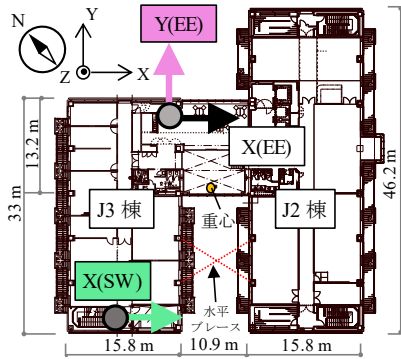


図2 J3棟20階加速度計位置

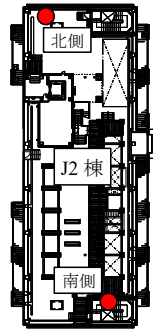


図3 屋上階風速計位置

3. 風速・風向変動に関する分析

3.1 台風イベント全体の風速・風向の変化

T1824とT1915の台風の経路を図4(a), (b)に示す⁹⁾。T1824はJ2-3棟に対して西側, T1915は東側を通過している。J2棟屋上階の風速計で観測された平均風速, 最大瞬間風速(上段), 最多風向(下段)の時系列を図5(a), (b)に示す。図5中には, 最大平均風速を観測した10分間の最多風向と建物の関係を併記する。T1824では, 北側と南側のそれぞれの風速計の平均風速のうち大きい方を代表風速とし, その風速計の風向および最大瞬間風速を採用した。一方, T1915では南側の風速計データが全ての時間帯で欠測していたため, 北側の風速計のデータのみを用いた。そこで近隣の横浜地方気象台における風速・風向変化と照合し, 9月9日7時30分(図5(b)中の青破線)までは高い相関を示すため, その時刻までの風速および風向の観測は妥当であると判断した。しかし, 以降の時間帯では横浜気象台との相関は低く, 観測不可と判断した。

後述するJ3棟20階の加速度応答で比較的大きな応答が確認された時間帯(応答増大時と定義)は平均風速10m/s以上であった。応答増大時は, T1824では9/30 20:00-10/1 4:00頃, T1915では9/8 23:00-9/9 6:00頃と両台風共に概ね7~8時間程度であった。以降はこの時間帯を分析の対象とする。各台風の最大平均風速はT1824で28.7m/s, T1915で27.9m/sと同程度であった。なお, 図5(a), (b)にそれぞれ併記した最大平均風速時の風向に着目すると, T1824でS, T1915でNNWと概ね逆向きである。写真1は北側から見たJ2-3棟と周辺の地形と建物の様子である¹⁰⁾。T1824において風向Sの風上側には丘陵地が広がっており, 周辺建物は概ね低層である。一方で, T1915時の風向NNWの風上側にはキャンパス敷地内の10層程度の建物が多く立ち並んでいる。

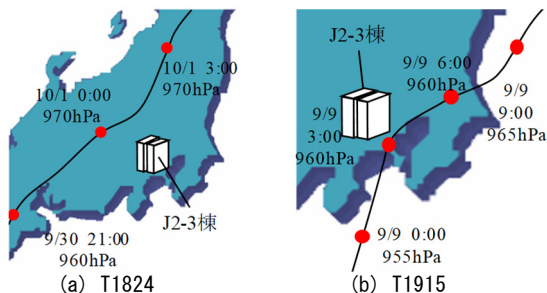
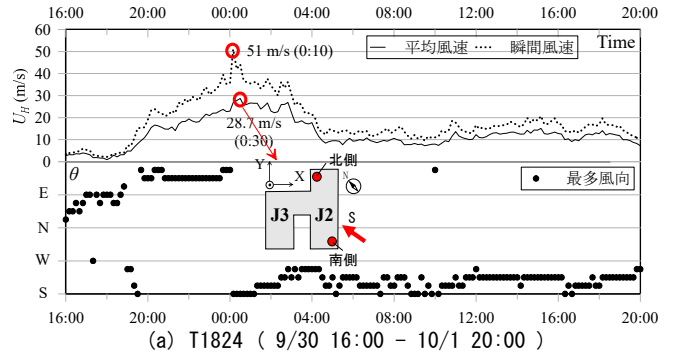
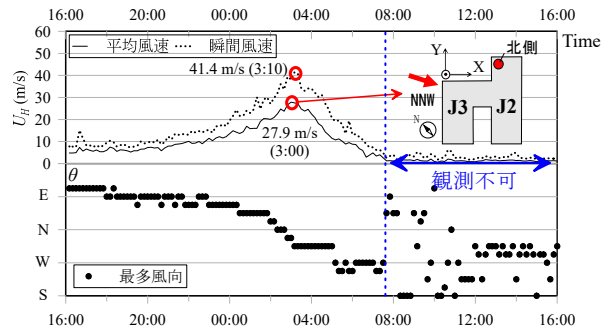


図4 各台風の経路⁹⁾



(a) T1824 (9/30 16:00 - 10/1 20:00)



(b) T1915 (9/8 16:00 - 9/9 16:00)

図5 風速と風向の時系列変化



写真1 北側から見たJ2-3棟と周辺の地形と建物¹⁰⁾

3.2 風速変動の定常性の分析

応答加速度の分析に先立ち, 風速変動の定常性を確認するため, 正規分布およびカルマン型スペクトル¹¹⁾との比較を行う。X(EE)(図2)において各台風で加速度最大値を観測した10分間(Time-B)および応答が比較的小さい時間帯(Time-A, C)の一例を取り出し, その風速と風向の変動特性に着目し, 定常ランダム過程とみなせるかを評価する。図6(a), (b)に, 風速 U_H (上段)と風向 θ (下段)の時刻歴変化をそれぞれ示す。10分毎に風速の変動成分に対してヒストグラムを作成し, 正規分布と比較する。また風速変動のパワースペクトル密度(PSD)をカルマン型と比較する。図7にT1824の結果を, 図8にT1915の結果をそれぞれ示す。図7のT1824の最大応答時(Time-B)は, 風速変動のヒストグラムが正規分布と一致せず, 観測値のPSDもカルマン型と大きく異なる。図6(a)の最大応答時(Time-B)の時刻歴より風速が増加している時間帯があり, この10分間は非定常性が高い風速変動であると言える。ただし, Time-Bと風向が同じで最大平均風速が同程度の場合でも正規分布およびカルマン型スペクトルと良い対応を示す時間帯もあることを追記する(附録)。一方で, Time-AおよびTime-Cでは風速変動が正規分布と概ね対応し, 観測値のPSDは高周波側がカルマン型よりもやや大きくなるものの概ねカルマン型に近い傾向が見られた。他の時刻も確認し, ほとんどのデータ

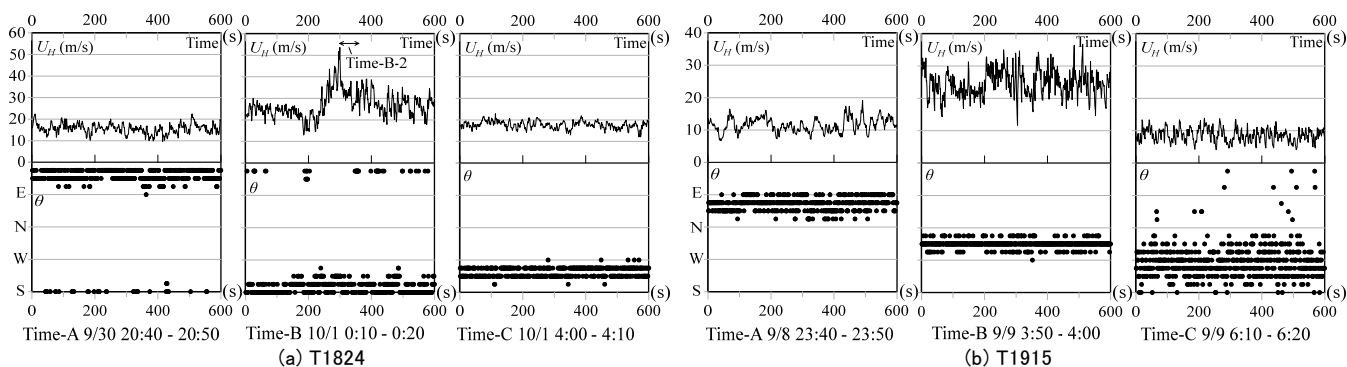


図6 風速・風向の時刻歴

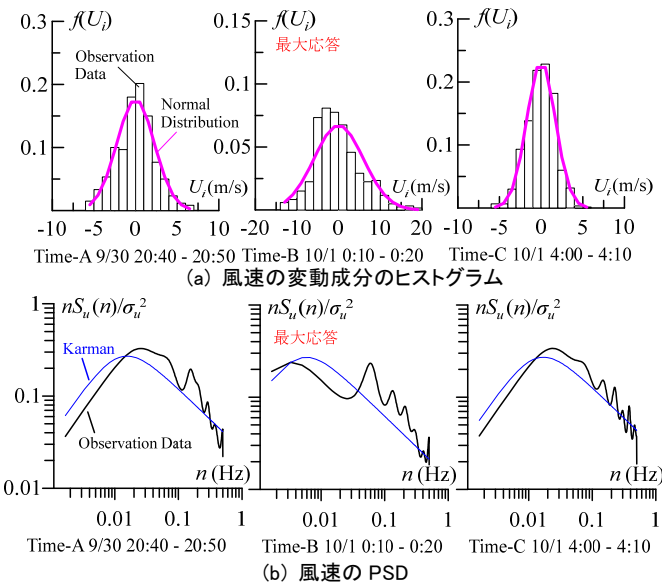


図7 各10分間の比較(T1824)

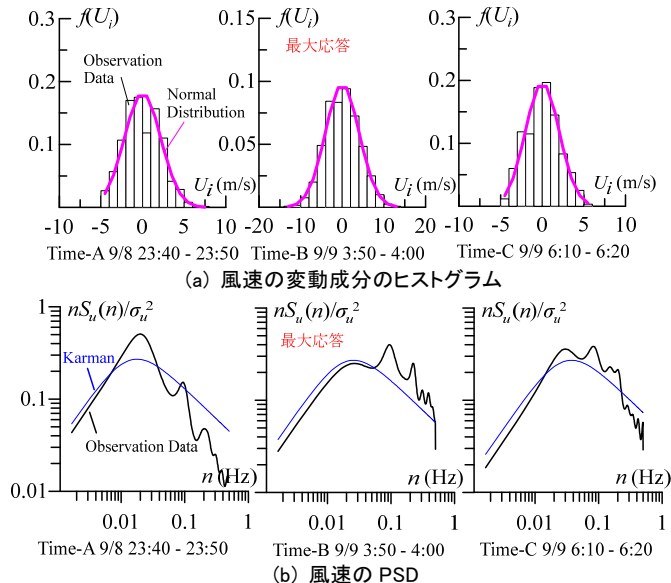


図8 各10分間の比較(T1915)

が同様の性質を示した。T1915では、図8(a)より最大応答時も含めて正規分布とよく合致する傾向が見られた。また図8(b)より、観測値のPSDはTime-Aではカルマン型とは異なる傾向を示したが、Time-B, Cでは高周波側がカルマン型よりやや大きくなるものの概ねカルマン型に近い傾向が見られた。以上から両台風の風速変動は、T1824の最大応答時(Time-B)およびT1915の応答の小さい時間帯の一部では非定常的な特性を示したものの、その他の時間帯では耐風設計で想定される風速変動と定性的に近い性質を示した。

4. 建物最上階における加速度応答記録の分析

4.1 加速度記録のデータ処理方法

以降は5章までを10分間ごとに解析した統計値を示し、6章においては1分間ごとに解析した統計値についてもあわせて示した。図9にT1824時において各加速度計で加速度最大値 A_{max} を記録した10分間のパワースペクトル密度(PSD)を示す。XとY方向のPSDの谷

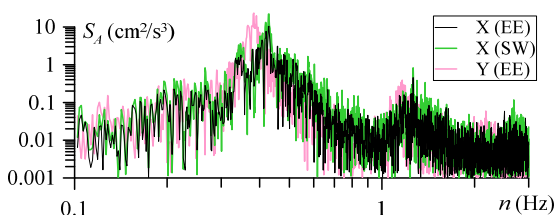


図9 PSD(T1824, Time-B)

が1.0 Hz付近に確認される。以降は、平均値を除いたうえで、0.1 ~ 1.0 Hzの矩型のバンドパスフィルター処理を行った時刻歴波形を用いて検討を行う。

4.2 20階の加速度応答特性

最大応答加速度 A_{max} の時系列を図10(a), (b)に示す。なお、X(EE)において加速度最大値を観測した時刻の最多風向を併記する。表1に、各加速度計の加速度最大値と観測時刻を示す。表1より、3つの加速度計のいずれもT1824の方が大きな値を示した。X(EE)とX(SW)の2つの加速度記録を比較すると、X(SW)の応答がX(EE)より大きく、これは振れが影響したものと思われる。部材レベルで再現した構造モデルにおける重心位置(図2)はX(EE)寄りに位置するため、5章以降では振れの影響が小さいと思われるX(EE)について検討する。

T1824およびT1915の10分毎の加速度ピークファクター g_A の時系列変化を図11(a), (b)に示す。 g_A は A_{max} を10分間の加速度標準偏差 σ_A で除すことで求められる。図11より、両台風共に応答増大時の中でも応答が比較的小さい時間帯(T1824の20:00付近および4:00付近、T1915の0:00付近および6:00付近)は、 g_A は4程度の値をとることが確認できる。これは設計時に想定される3~3.5程度の値と比較してやや大きいものの近い値と言える。一方で、加速度最大値の時刻付近(T1824の0:00付近、T1915の4:00付近)では、最大で8程度を示している。 g_A が大きくなる要因としては応答加速度波形が定常ガウス過程および狭帯域のランダム振動でないことが考えられる。

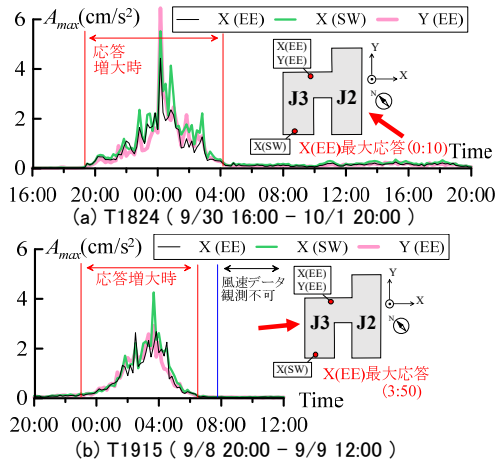


図 10 最大応答加速度の時系列変化

表 1 20 階加速度最大値(cm/s²)と観測時刻

加速度計	T1824	T1915
X(E)	4.44 (10/1 0:10 - 0:20)	2.68 (9/9 3:50 - 4:00)
X(SW)	5.53 (10/1 0:10 - 0:20)	4.26 (9/9 3:40 - 3:50)
Y(E)	6.46 (10/1 0:10 - 0:20)	2.92 (9/9 3:40 - 3:50)

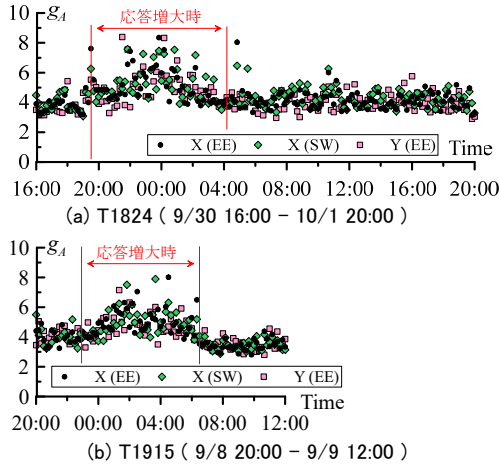


図 11 ピークファクターの時系列変化

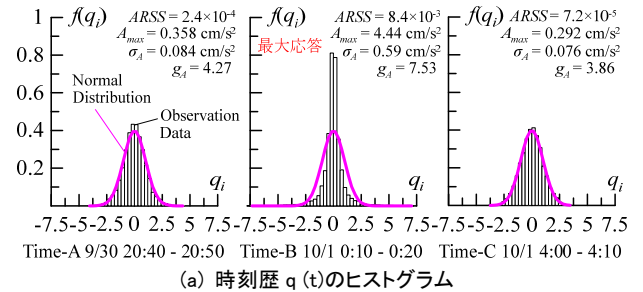
5. 正規分布およびレイリー分布との比較

本章では応答増大時(図 11)の応答加速度波形が、定常ガウス過程および狭帯域のランダム振動であるかを分析する。10 分間の加速度時刻歴 $A(t)$ を加速度標準偏差 σ_A で除したデータを $q(t)$ と定義し、これに対してヒストグラムを作成し正規分布と比較する。つぎに 10 分間の時刻歴 $q(t)$ に対して 1 サイクル毎に正側ピーク値 q_e を取り出し、これに対して累積頻度分布を作成し、レイリー分布と比較する。なお、ピーク値はデータ数が少なくヒストグラムの精度が低下して傾向が分かりにくいため累積頻度分布による比較とする。

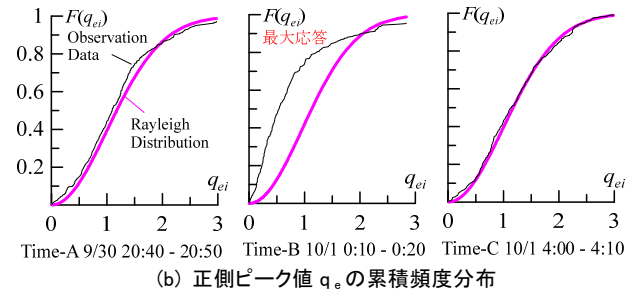
各台風の応答増大時(図 11)の中で比較的応答が小さい時間帯を一例として取り出し Time-A および Time-C とする。Time-A および Time-C の g_A は 4 程度である。次に最大応答時を Time-B とする。Time-A~C における $q(t)$ のヒストグラムと正規分布の比較を図 12(a), 13(a)に、正側ピーク値 q_e の累積頻度分布とレイリー分布の比較を図 12(b), 13(b)にそれぞれ示す。正規分布との合致度合いを判定する尺度として式(1)により求まる残差 2 乗和 (RSS) をヒストグラムの階級総数 m で除した $ARSS$ (Average of RSS) を用いる。

$$ARSS = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (f_o(q_i) - f_N(q_i))^2 \quad (1)$$

ここで、 $f_o(q_i)$:観測記録のヒストグラム、 $f_N(q_i)$:正規分布の確率密度関数である。図 12, 13 より、両台風共に Time-A, C ではヒストグラムと 1 サイクル毎のピークが正規分布、レイリー分布に概ね合致している。一方で最大応答時は正規分布およびレイリー分布から大きく乖離しており、 $ARSS$ が大きい。正規分布から乖離する程度は g_A に影響すると考え、図 14(a), (b)に g_A と $ARSS$ の時系列変化を示す。図 11 および図 14 より、 $ARSS$ の増大に伴い g_A は大きくなる傾向が明確であり、応答が大きくなるに従い加速度応答は定常ガウス過程および狭帯域のランダム振動の特性を示さなくなることが分かった。この原因の一つとして対象建物の固有周期や減衰定数などの構造特性に振幅依存性を有する^{12), 13)}ことが考えられる。また、周辺地形の影響により、建物に作用する風力が非定常となることも推測されるが、これについては風洞実験等による検討が考えられ、今後の課題である。

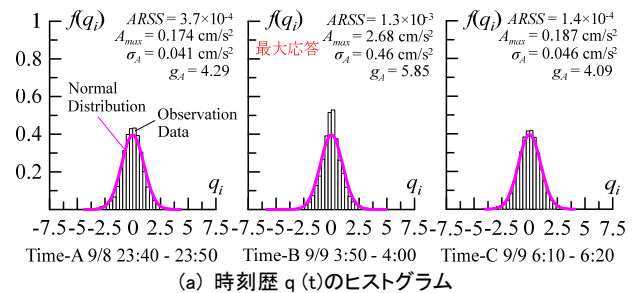


(a) 時刻歴 $q(t)$ のヒストグラム

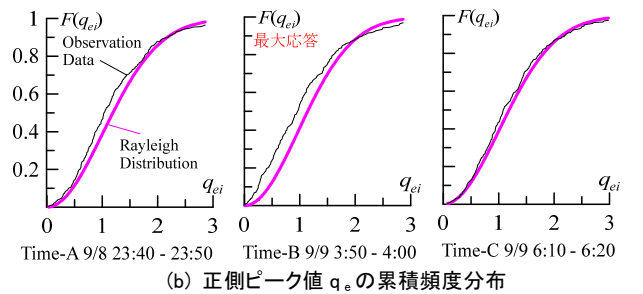


(b) 正側ピーク値 q_e の累積頻度分布

図 12 各分布との比較(T1824, X(EE))

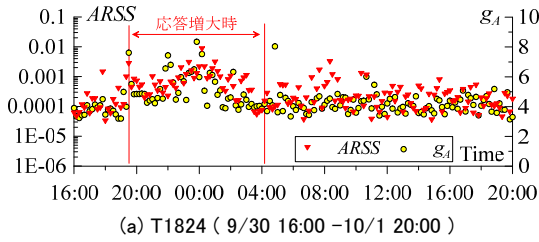


(a) 時刻歴 $q(t)$ のヒストグラム

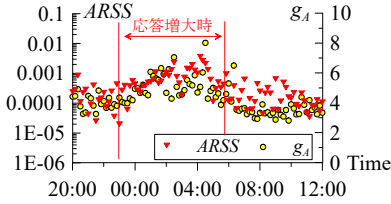


(b) 正側ピーク値 q_e の累積頻度分布

図 13 各分布との比較(T1915, X(EE))



(a) T1824 (9/30 16:00 -10/1 20:00)



(b) T1915 (9/8 20:00 -9/9 12:00)

図14 正規分布のARSSと g_A の時系列変化の比較(X(EE))

6. 評価時間を1分間とした場合の定常性

前章では10分間の時刻歴波形に対して定常性を評価し、応答が大きくなるに従い非定常な性質が示された。本章では、10分間の中でも、定常ガウス過程および狭帯域のランダム振動と見なせる時間帯があるのかを調べるため、最大応答時 (Time-B) を1分間に分割して評価する。

図15(a), (b)に各台風における最大応答時 (Time-B) の加速度時刻歴波形を示す。この10分間の応答を1分毎に分割して分析する。両台風の最大応答10分間において、1分毎に評価した加速度標準偏差とピークファクターの時系列変化を図16(a), (b)と17(a), (b)にそれぞれ示す。なお、1分毎、10分間で算出した標準偏差をそれぞれ σ_i , σ_{10} 、ピークファクターをそれぞれ g_i , g_{10} とする。図16(a), 17(a)より、1分毎に標準偏差 σ_i は大きく変動していることが分かる。一方、図16(b), 17(b)より1分毎のピークファクター g_i は多少のばらつきはあるが概ね一定の値を示した。

次に、5章と同様に1分間毎の加速度時刻歴 $A(t)$ をそれぞれの標準偏差 σ_i で除した時刻歴 $q(t)$ のヒストグラムの正規分布との比較、および1サイクル毎の正側ピーク値 q_e の累積頻度分布とレイリー分布との比較を行う。図15中に網掛けで示したTime-B-1~3の3つの時間帯における結果を図18, 19にそれぞれ示す。図18, 19より、評価時間を1分間にすれば各分布に概ね合致し、定常ガウス過程および狭帯域ランダム振動の特性を示す時間帯もある (Time-B-1, 3)。一方

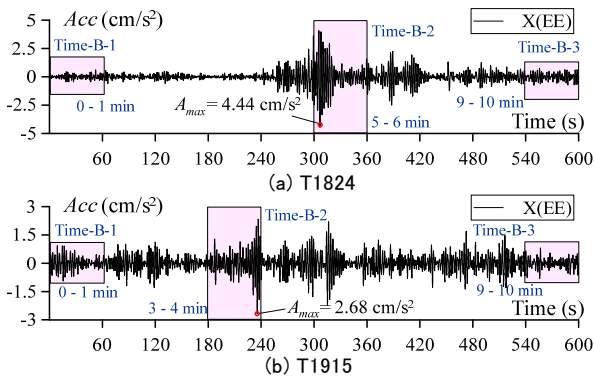


図15 最大応答時の加速度時刻歴波形 (Time-B)

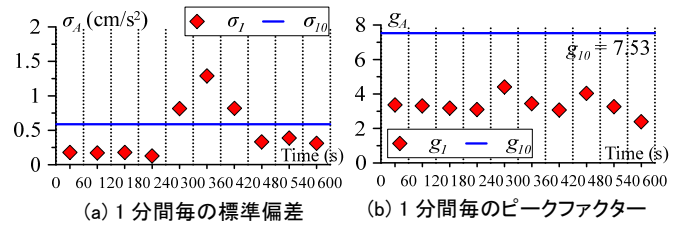


図16 T1824 最大応答時 (Time-B, X(EE))

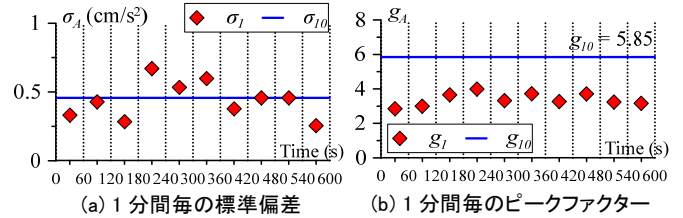
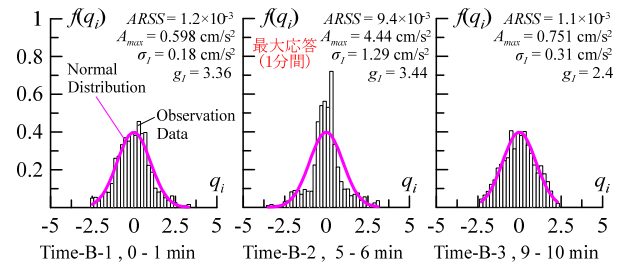
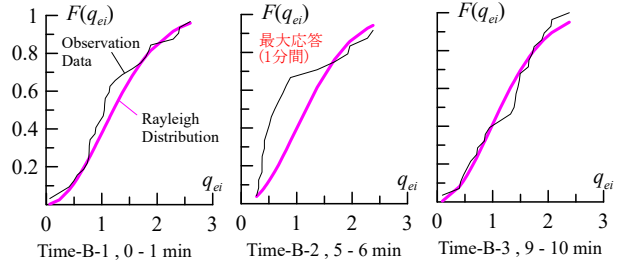


図17 T1915 最大応答時 (Time-B, X(EE))

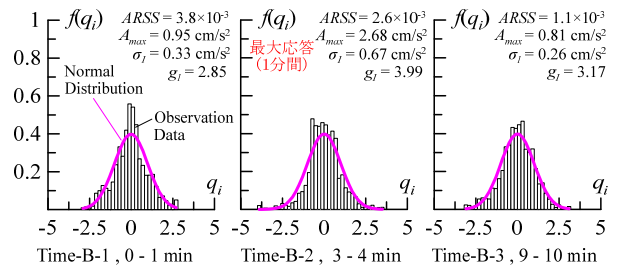


(a) 時刻歴 $q(t)$ のヒストグラム

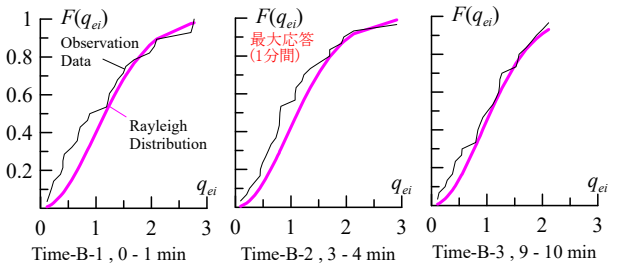


(b) 正側ピーク値 q_e の累積頻度分布

図18 1分間毎の分布との比較 (T1824, X(EE))



(a) 時刻歴 $q(t)$ のヒストグラム



(b) 正側ピーク値 q_e の累積頻度分布

図19 1分間毎の分布との比較 (T1915, X(EE))

で、最大応答の1分間 (Time-B-2) は1分間でもその傾向を示さず、特に T1824 の最大応答時において乖離が顕著である。この要因としては、図 6(a)の Time-B の風速時刻歴より 300 s 付近で風速が急増しており、TimeB-2 の1分間の風速変動が非定常であったことが影響したと考えられる。

7. まとめ

本報では、2棟連結型超高層免震建物において2つの台風(2018年台風24号(T1824)、2019年台風15号(T1915))が接近した際の風速および加速度記録を基に、建物最上階の加速度ピークファクターに関して風速および加速度の定常性に注目して分析を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 風速の定常性について分析した結果、T1824 の最大応答時の風速は定常ガウス過程の特徴を示さなかったが、それ以外の時間帯では定常ガウス過程の特徴を示した。T1915 では最大応答時を含めほとんどの時間帯で定常ガウス過程の特徴を示した。
- (2) 応答増大時において比較的応答が小さい時間帯は、ピークファクターが4程度を示した。設計時に一般的に想定される3~3.5よりはやや大きいものの、加速度時刻歴は定常ガウス過程および狭帯域ランダム振動の特性を示した。一方で最大応答時付近ではピークファクターが最大8程度を示し定常ガウス過程および狭帯域ランダム振動の特徴を示さなかった。
- (3) 最大応答時の加速度時刻歴を1分間毎に区切り定常性を評価すると、定常ガウス過程および狭帯域ランダム振動の特性を示す時間帯も存在するが、最大応答付近の応答は1分間でもその特徴を示さなかった。

謝辞

本研究の一部は、JST産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラムおよび公益財団法人大林財団より助成を受けました。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。また、J2-風応答観測研究会において、日建設計の吉江慶祐氏と風工学研究所の勝村章氏より貴重なご意見を多数頂きました。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

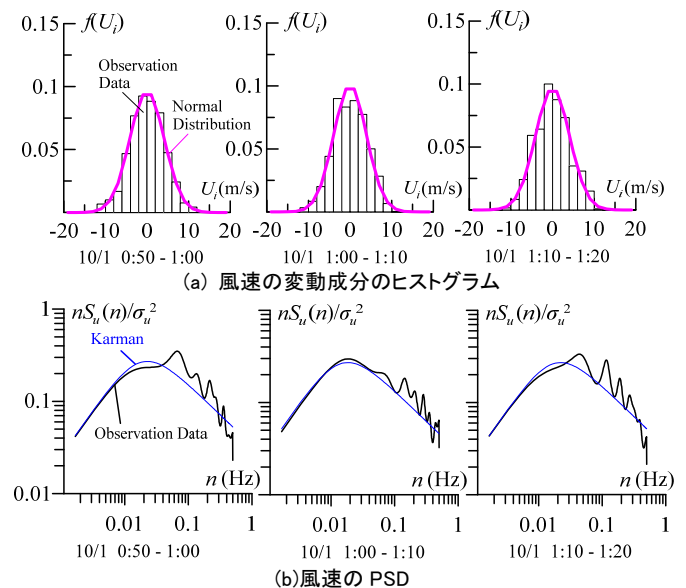
- 1) 普後良之, 佐藤大樹, 田村哲郎, 中村修, 勝村章, 笠井和彦: 観測記録に基づく超高層免震建物の風応答評価 その4 長期観測記録による応答加速度の非超過確率分布予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.199-200, 2013.8
- 2) 大熊武司, 安井八紀, 下村祥一, 小賀伸一: 23号館の強風時実挙動観測, 地震・台風災害の制御・低減に関するシンポジウム, pp.69-80, 2002.3
- 3) 大熊武司, 神田順, 田村幸雄: 建築物の耐風設計, 鹿島出版会, pp.122-123, pp.127-130, 2004.6
- 4) 平島裕大, 佐藤大樹, 吳嘉瑞, 普後良之, 田村哲郎: 2棟連結型超高層免震建物の強風観測記録に基づく実応答挙動の分析 その2 建物最上階における加速度応答記録の分析と居住性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, 20037, pp.71-72, 2020.9
- 5) Yoji Ooki, Tadamichi Yamashita, Hitoshi Morikawa, Satoshi Yamada, Hiroyasu Sakata, Hiroaki Yamanaka, Kazuhiko Kasai, Akira Wada: Concrete approach on long term and dense monitoring system of seismically isolated tall building, AIJ J. Technol. Des, No.21, pp.73-77, 2005.6 (in Japanese)
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取り組み, 日本建築学会技術報告集, 第21号, pp.73-77, 2005.6

- 6) 平島裕大, 吳嘉瑞, 佐藤大樹, 普後良之, 田村哲郎, : 超高層免震建物の最上階における風応答加速度記の分析, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2018, pp.225-228, 2020.3
- 7) Takeshi Kikuchi, Satoru Fujimori, Toru Takeuchi, Akira Wada: Design of high rise isolated steel building with mega-bracing system, AIJ J. Technol. Des, No.22, pp.217-222, 2005.12 (in Japanese)
菊地岳志, 藤森智, 竹内徹, 和田章: 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
- 8) 佐藤大樹, 鈴木勇人, 田村哲郎, 普後良之, 中村修, 笠井和彦, 北村春幸: 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
- 9) 気象庁: 台風位置表, https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/position_table/index.html (2020年9月)
- 10) Google earth, <https://www.google.com/maps/place/東京工業大学+すすかけ台キャンパス/> (2020年9月)
- 11) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2015
- 12) Arisa Nakai, Daiki Sato, Tomokazu Murakami, Kazuhiko Kasai: Evaluation of stiffness of base-isolation layer and super-structure of high-rise base-isolated building based on seismic observation recording, AIJ J. Technol. Des, Vol.24, No.57, pp.571-576, 2018.6 (in Japanese)
中井亜里沙, 佐藤大樹, 村上智一, 笠井和彦: 超高層免震建物の地震動観測記録に基づく免震層および上部構造の剛性の評価, 日本建築学会技術報告集, 第24巻, 第57号, pp.571-576, 2018.6
- 13) 吳嘉瑞, 佐藤大樹, 普後良之, 田村哲郎: 複数の地震応答観測記録から同定した解析モデルによる超高層免震建物の風応答解析, 構造工学論文集, Vol.65B, pp.55-65, 2019.3

附録

附図1(a), (b)にT1824の最大応答時(Time-B)と風向が同じで平均風速が同程度であった3つの時間帯(10/1 0:50-1:00, 1:00-1:10, 1:10-1:20)における風速変動について、正規分布およびカルマン型スペクトルと比較した結果を示す。附図1(a)より、3つの時間帯全てにおいてヒストグラムが正規分布とよく合致している。また、附図1(b)より3つの時間帯全てにおいて高周波側がカルマン型よりやや大きくなるものの概ねカルマン型に近い傾向が見られた。



附図1 3つの時間帯における比較
(T1824 10/1 0:50-1:00, 1:00-1:10, 1:10-1:20)

[2020年10月7日原稿受理 2020年11月20日採用決定]