T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	超高層免震建物の強風時加速度記録の非定常性に関する一考察 その２ 風速変動と応答加速度の非定常性の関係
Title(English)	Non-stationarity of acceleration response records of base-isolated high-rise building during strong winds Part.2 Relationship between the dynamic characteristics of wind and the nonstationary acceleration response of building
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 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集,　Ｉ，，pp. 337-340
Citation(English)	,　Ｉ，，pp. 337-340
発行日 / Pub. date	2021, 3

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

2020年度日本建築学会
関東支部研究報告集 I
2021年3月

超高層免震建物の強風時加速度記録の非定常性に関する一考察
その２　風速変動と応答加速度の非定常性の関係

構造－振動

正会員 ○ 平島裕大 *1　〃 佐藤大樹 *2
〃 普後良之 *3　〃 田村哲郎 *4

超高層免震建物　風応答観測記録　加速度
ピークファクター　正規分布　レイリー分布

1.　はじめに

本報その 1 では，2018 年台風 24 号（T1824）と 2019 年台風 15 号（T1915）接近時の風速変動について，風速レベル・風向毎にグループ分けし，グループ毎の風速変動の特性を分析した．ごく一部非定常な特性を示した時間帯もあるが，グループ毎のアンサンブル平均は，定常ガウス過程かつ PSD がカルマン型スペクトルと合致する特性を示すことを確認した．

本報では，本報その 1 と同様に，風速レベル・風向毎に加速度応答の特性を分析する．定常性のある風速変動が建物に伝達した結果である応答加速度が，アンサンブル平均をしても非定常な変動の特性を示すかを確認することを目的とする．

2.　加速度計観測システムとフィルター処理方法の概要

本報では図 1 に示す 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，30 Hz のローパスフィルタを介し，100 Hz で収録されている．なお，図 1 中の重心は，部材レベルで再現した 3 次元立体解析モデルにおける重心位置である．

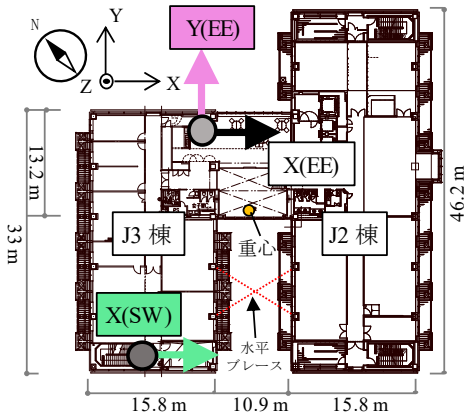


図 1 20 階加速度計位置

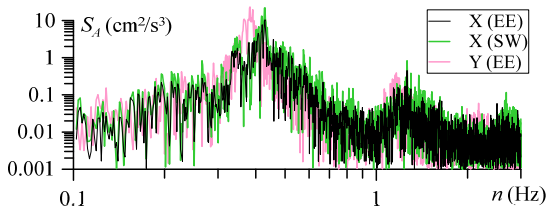
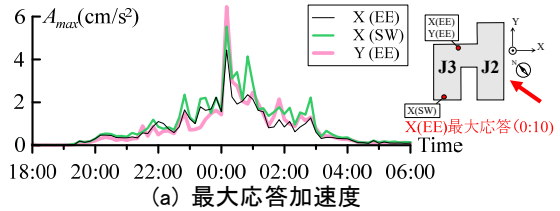


図 2 PSD(T1824，2018/10/1 0:10 - 0:20)

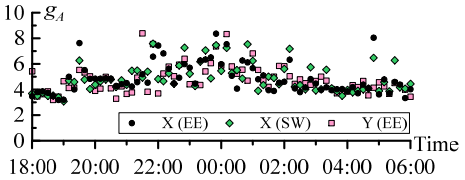
図 2 に T1824 時において各加速度計で加速度最大値 A_{max} を記録した 10 分間（2018/10/1 0:10 – 0:20）のパワースペクトル密度（PSD）を示す．X と Y 方向の PSD の谷が 1.0 Hz 付近に確認される．以降は，図 2 に見られる第一ピーク付近を対象として分析を行うことを目的として，平均値を除いたうえで，0.1 ～ 1.0 Hz の矩型のバンドパスフィルター処理を行った時刻歴波形を用いて検討する．

3.　加速度応答結果

各台風における最大応答加速度 A_{max} と加速度ピークファクターの時系列を図 3(a)，(b)と図 4(a)，(b)にそれぞれ示す．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．すでに文献 1)，2)で確認しているこ

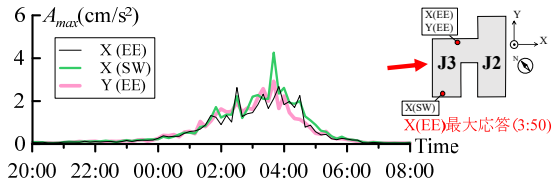


(a) 最大応答加速度

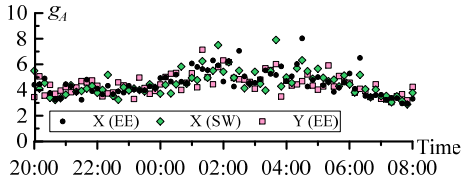


(b) ピークファクター

図 3 T1824（9/30 18:00 – 10/1 6:00）



(a) 最大応答加速度



(b) ピークファクター

図 4 T1915（9/8 20:00 – 9/9 8:00）

Non-stationarity of acceleration response records of base-isolated high-rise building during strong winds
Part.2 Relationship between the dynamic characteristics of wind and the non-stationary acceleration response of building

Yudai HIRASHIMA, Daiki SATO,
Yoshiyuki FUGO, Tetsuro TAMURA

とであるが，図 3，4 より，加速度応答の増大に伴い，加速度ピークファクターも増大する傾向が確認ある. 図 3(a), 4(a)の X 方向の応答に着目すると，X(EE)は X(SW)と比較して全時間を通じて小さい．これは，X(EE)が X(SW)に比べて重心位置に相対的に近いためであり，捩れの影響である．次章では捩れの影響が比較的小さい X(EE)を対象として，加速度応答の定常性について分析を行う．

4. 加速度応答の定常性の分析

4.1 分析手法の概要

本報その 1 と同じ時間帯を分析対象とする．グループ分けもその 1 に従う．表 1 に各時間帯の加速度最大値とグループ毎の加速度最大値の平均値を示す. なお, 各台風の最大応答時を赤字で示している．本研究は観測値の加速度ピークファクターが一般の建築物の耐風設計に用いられる 3～3.5 よりも有意に大きいことから加速度波形の非定常性に着目したものである．加速度波形が定常と見なされ，ピークファクターが 3～3.5 となる条件は 2 つある．1 つ目はその波形のヒストグラムが正規分布に従う，すなわち定常ガウス過程となることである. 2 つ目は 1 サイクルごとのピーク値のヒストグラムがレイリー分布に従う, すなわち定常ランダム振動となることである. ここではこの 2 点をグループごとに確認するとともに，その 1 の風速変動の分析結果を踏まえて, 加速度応答に非定常な性質が入り込む要因を把握する．

まず，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 $q(t)$と定義する. 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 を取り出す. これに対してヒストグラムを作成し，レイリー分布と比較する．

4.2 正規分布とレイリー分布との比較

図 5，図 6 に T1824 の結果を，図 7，8 に T1915 の結果をそれぞれ示す．また，図 5，図 7 に時刻歴 $q(t)$のヒストグラムの正規分布との比較を，図 6，図 8 に $q(t)$の正側ピーク値 q_e のヒストグラムのレイリー分布との比較をそれぞれ示す．なおここではアンサンブル平均の結果について着目して考察する．特に波形に固有の特殊性が見られたものについてはアンサンブル平均結果と比較してその特殊性について述べる. なお, 本報その 1 において, NW : 15 – 20 m / s では風速・風向の観測値が建物自身の影響を受け，風向が WNW であった可能性が高いことを述べており, 図 7(e), 図 8(e)には WNW の風向と建物の関係を併記している．

4.2.1 T1824 の加速度応答の分析

図 5(a)，(b)，(c)より，SE : 20 － 25 m / s と SSE : 20 -25 m / s，S : 25 － 30 m / s では，$q(t)$のヒストグラムが正規分布と乖離する．また，図 6(a)，(b)，(c)の正側ピーク値 q_e のヒストグラムもレイリー分布から乖離する．これらのグループの風速変動は定常的であることを確認しており，

表 1 各台風のグループ分けの概要

(a) T1824

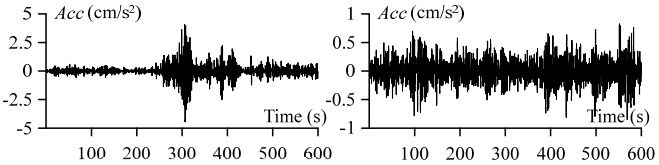
グループ	time	A_{max}(cm/s^2)	μ_{Amax}
SE 20-25m/s	22:40 - 22:50	0.86	1.36
	22:50 - 23:00	1.65	
	23:00 - 23:10	1.23	
	23:10 - 23:20	1.00	
	23:20 - 23:30	1.79	
	23:30 - 23:40	1.62	
SSE 20-25m/s	23:40 - 23:50	1.69	1.83
	23:50 - 0:00	2.23	
	0:00 - 0:10	1.56	
S 25-30m/s	0:10 - 0:20	4.44	2.40
	0:20 - 0:30	2.25	
	0:30 - 0:40	1.92	
	0:40 - 0:50	2.06	
	0:50 - 1:00	2.36	
	1:00 - 1:10	2.15	
	1:10 - 1:20	1.62	
SSW 25-30m/s	1:20 - 1:30	1.56	1.20
	1:40 - 1:50	0.85	
	1:50 - 2:00	1.19	

(b) T1915

グループ	time	A_{max}(cm/s^2)	μ_{Amax}
N 20-25m/s	2:20 - 2:30	1.02	1.65
	2:30 - 2:40	2.64	
	2:40 - 2:50	1.28	
NNW 25-30m/s	2:50 - 3:00	1.41	1.44
	3:00 - 3:10	1.46	
NW 25-30m/s	3:10 - 3:20	1.84	2.09
	3:20 - 3:30	2.33	
NW 20-25m/s	3:30 - 3:40	1.66	2.06
	3:40 - 3:50	2.12	
	3:50 - 4:00	2.68	
	4:00 - 4:10	1.84	
	4:10 - 4:20	1.98	
NW 15-20m/s	4:20 - 4:30	1.70	1.98
	4:30 - 4:40	2.26	

免震建物の特有の非線形システムが加速度応答の非定常性に影響したと考えられる. しかし, 図 5(c), 図 6(c)より，最大応答時（0:10 – 0:20）のそれぞれのヒストグラムの正規分布，レイリー分布との乖離の程度はその他の時間帯と比較して顕著である．図 9(a)に最大応答時の加速度時刻歴を示しており，風速変動と同様に 300 s 付近で応答が急増している. この時間帯では, 風速の非定常性も加速度応答の非定常性に影響したと考えられる．

SSW : 25 – 30 m / s では，図 5(d)より，$q(t)$のヒストグラムが正規分布と概ね合致する．また，図 6(d)より，正側ピーク値 q_e のヒストグラムもレイリー分布とよく合致し，このグループの加速度応答は定常的な特性を示す. 図 9(b)に 1:40 – 1:50 の時刻歴を示しており，波形からも定常性が確認できる．表 1(a)で最大加速度の平均値がこのグループと概ね同等である SE : 20 – 25 m / s では応答が非定常であり，同程度の加速度応答でも風向によって波形の特性が異なる. この点については, 荷重方向の違いで免震層の変形状況が異なるために，構造特性が異なる状態にあった可能性があり，構造特性を同定するなどして今後検討していく．



(a) 0:10 - 0:20（最大応答）　(b) 1:40 - 1:50

図 9 加速度時刻歴（T1824）

4.2.2 T1915 の加速度応答の分析

図 7(a)，(c)～(e)の各グループでは，$q(t)$のヒストグラムが正規分布と乖離している傾向がある．また，図 8(a)，(c)～(e)より正側ピーク値 q_e のヒストグラムもレイリー分布から乖離する．これらのうち風向 NW のグループでは建物自体の影響を受けた可能性もあるが，風速変動は概ね定常的であるため，応答の非定常性に免震建物特有の非線形システムが影響したと考えられる．

図 7(c)，図 8(c)の 3:20 – 3:30 は風速変動が若干非定常であることを確認したが，各ヒストグラムの正規分布，レイリー分布との乖離程度が同グループの 3:10 – 3:20 と概ね同等である．これより，T1824 の最大応答時は 2 台風含めても特殊な風速変動であったといえる．

図 7(b)，図 8(b)の NNW：25- 30 m / s より，各ヒストグラムが正規分布，レイリー分布とそれぞれ概ね合致しており，加速度応答は定常的な特性を示す．表 1(b)の最大加速度の平均値がこのグループと概ね同等である N:20 – 25 m / s では応答が非定常であり，同程度の加速度応答でも風向により波形の特性が異なる．T1824 の SSW：25 – 30 m / s と同様に，荷重方向の違いで構造特性が異なる状態にあったことが考えられる．

風向 NW の 3 グループに着目する．表 1 の各グループの最大応答加速度の平均値は 2 cm / s^2 程度と同等である．しかし，図 7(c)～(e)，図 8 (c)～(e)より NW：15 – 20 m / s では，風向 NW の他のグループと比較して，各ヒストグラムの正規分布，レイリー分布との誤差が僅かに大きい．本報その 1 で NW：15 – 20 m / s では風向が WNW であった可能性が高いことを述べており，これについても WNW と NW で荷重方向の違いにより構造特性が異なる状態にあったことが考えられる．

5. まとめ

本報では，2018 年台風 24 号と 2019 年台風 15 号の 2 台風の接近時に観測された J2-3 棟の最上階における加速度記録を対象とした．既往研究 1)，2)では加速度記録は非定常の性質を示したが，個々のデータのばらつきの可能性があった．その 1 では風速変動の定常性が確認されたが，これに対する応答である加速度が統計的に見ても非定常性を示すかという視点に立ち，その 1 と同様の手法を用いて分析を行った．以下に得られた知見を示す．

(1) T1824 の SSW：25～30 m / s および T1915 の NNW：25～30 m / s は定常に近い特徴を示すが，その他のグループにおいて，加速度応答が非定常な特性を示すことを確認した．本報その 1 よりこれらの時間の風速変動は定常の特性を示していることから，免震建物特有の非線形システムの影響で加速度波形が非定常となったと考えられる．

(2) 風速変動の非定常性が高い T1824 の最大応答時の加速度波形は他の時間帯よりも突出して非定常な特徴を示した．免震建物特有の非線形システムに加えて非定常な風外力が作用したためと考えられるが，これには気象的な要素が多分に含まれる．

(3) 同程度の応答レベルでも風向によって加速度応答波形は定常に近い特性を示すグループがあったことから，荷重方向によって構造特性が異なる状態にあった可能性がある．この点について構造特性を同定するなどして明らかにすることを課題に挙げる．

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) 平島裕大，佐藤大樹，呉嘉瑞，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
2) 平島裕大，佐藤大樹，普後良之，田村哲郎：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，日本建築学会技術報告集（掲載決定）
3) 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
4) 平島裕大，呉嘉瑞，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
5) 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，風工学シンポジウム，pp.251-256，2012.12
6) 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）
7) 横浜気象台: https://www.jma-net.go.jp/yokohama/(2019.9.9-10, 2019.10.12-13 参照)
8) 日本建築学会:建築荷重指針同解説，2015.2

*1 東京工業大学　環境・社会理工学院　大学院生
*2 東京工業大学未来産業技術研究所　准教授・博士（工学）
*3 (株)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 Associate Prof. , FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
*3 Wind Engineering Institute,Co.,Ltd.
*4 Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

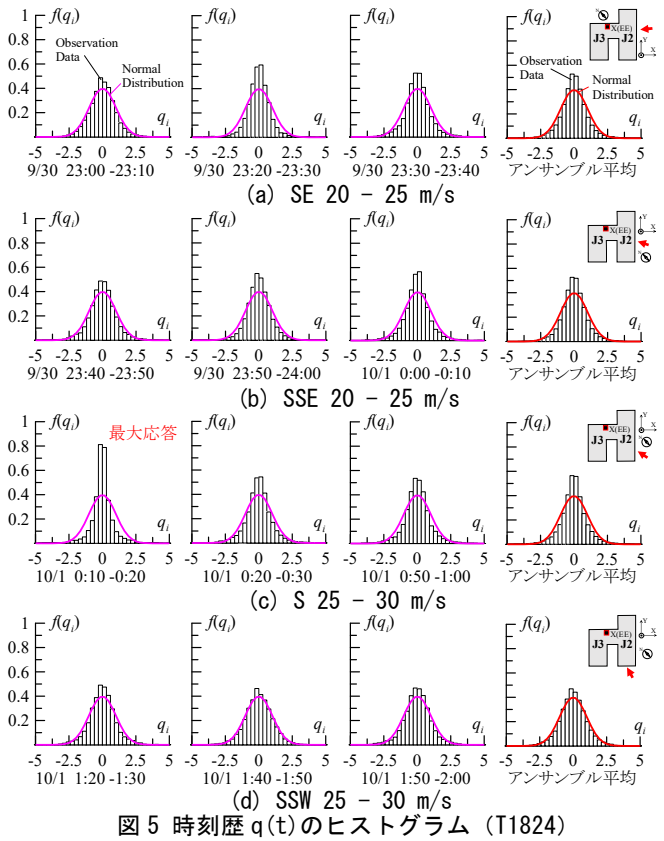


図 5 時刻歴 q(t)のヒストグラム（T1824）

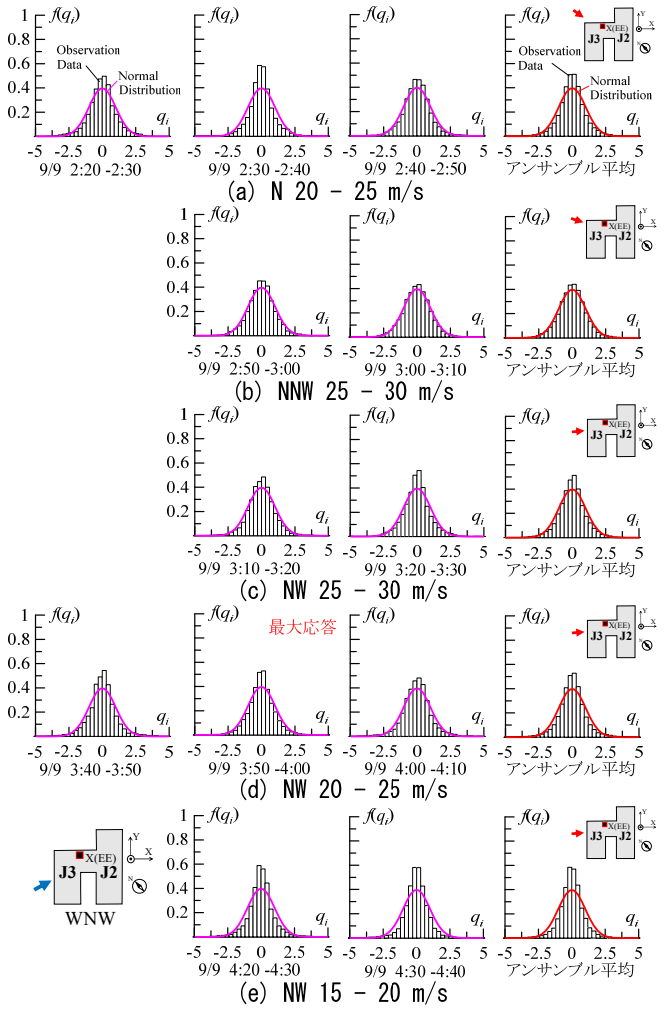


図 7 時刻歴 q(t)のヒストグラム（T1915）

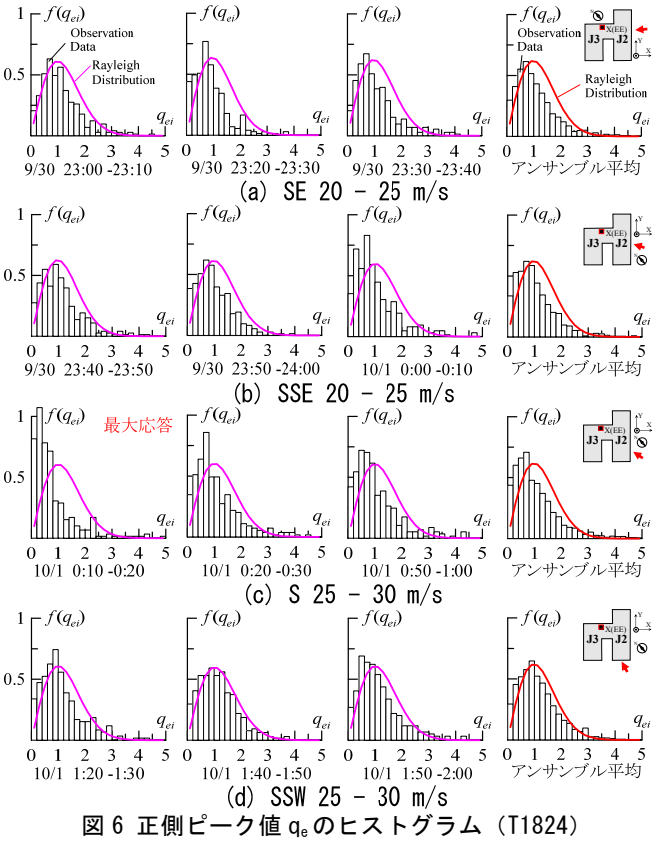


図 6 正側ピーク値 q_e のヒストグラム（T1824）

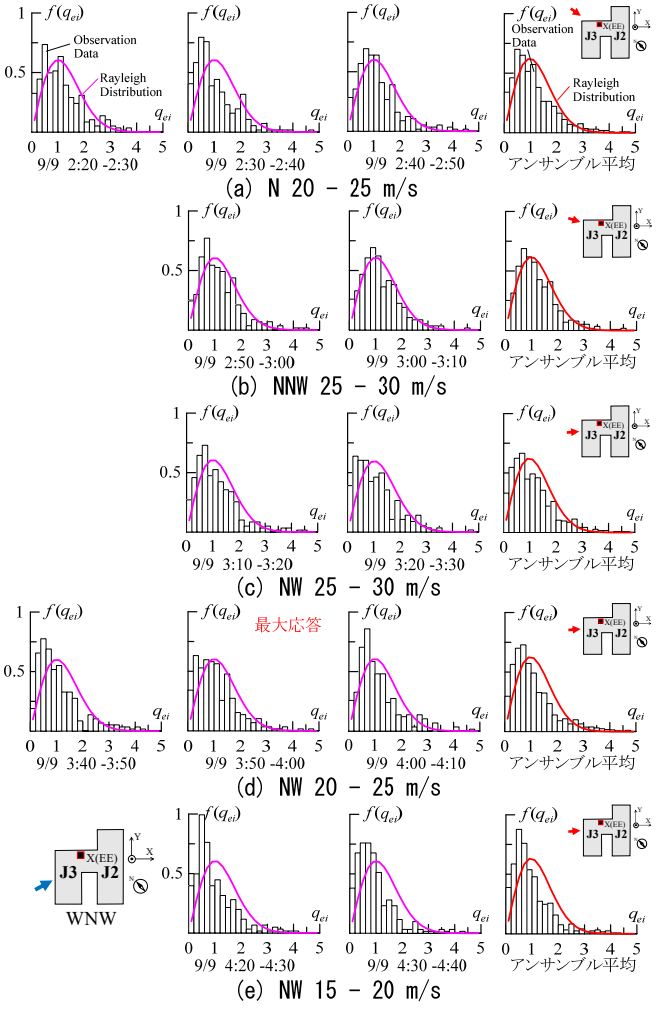


図 8 正側ピーク値 q_e のヒストグラム（T1915）