T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech 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１ 頂部風速の変動特性に対する周辺地形・建物の影響
Title(English)	Non-stationarity of acceleration response records of base-isolated high-rise building during strong winds Part.1 Effect of surrounding terrain and buildings on the dynamic characteristics of wind speed on the top of the 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. 333-336
Citation(English)	，　Ⅰ，，pp. 333-336
発行日 / Pub. date	2021，3

Powered by T2R2 (Tokyo Institute 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１　頂部風速の変動特性に対する周辺地形・建物の影響

構造ー振動

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　風速変動
パワースペクトル密度　正規分布　カルマン型スペクトル

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，筆者らは東京工業大学の超高層免震建物である J2-3 棟を対象に，強風時における風速と応答加速度の観測を行ってきた．文献 1)および 2)では，2018 年台風 24 号（以後 T1824）と 2019 年台風 15 号（以後 T1915）を対象に加速度ピークファクターg_A に着目し分析した．その結果，応答が増大する時間帯においてg_A は一般に耐風設計時に想定される値よりも有意に大きいことを確認した．これは加速度波形が非定常な特性を示すためであった．さらに，風速変動が風力そして建物の応答と伝達する過程で，①：周辺地形・建物により生じた非定常な風外力，または，②：免震建物に特有の非線形システムの 2 つが影響した可能性を示した．しかし，個々の観測データには当然ながらばらつきがあり，それをいかに評価するかという点が課題として残った．

本論文では 2 台風を対象に，個々のデータのばらつきを除き共通の特性を抽出するため，風向と風速レベル毎にグループ分けし，グループ毎にアンサンブル平均を行う．応答が非定常となる要因をより絞り込むことが目的である．本報その 1 では，風速変動の特性について分析を行った結果を報告する．

2.　対象建物および風速計測システムの概要

J2 -3 棟は，J2 棟と J3 棟の 2 棟から成る高さ 91.35 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．免震装置の詳細については文献 3), 4)を参照されたい．J2 棟と J3 棟は，各階において渡り廊下，水平ブレース（6, 10, 14, 18 階）を介して連結されている（図 2）．

図 2 に風速計位置を示す．風速計は J2 棟屋上階の北側と南側にそれぞれ 1 機ずつあり，写真 1(a), (b)のように屋上外壁の頂部から約 4 m の高さに設置されている [5]．風速・風向のサンプリング周期は 1 秒である．瞬間風速は 3 秒間平均で評価する．風向は正 16 方位で記録される．

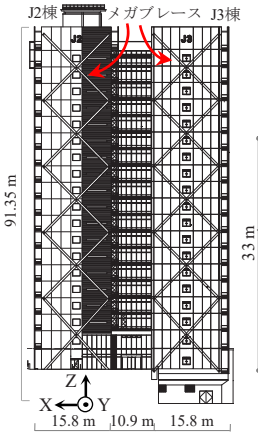


図 1　立面図

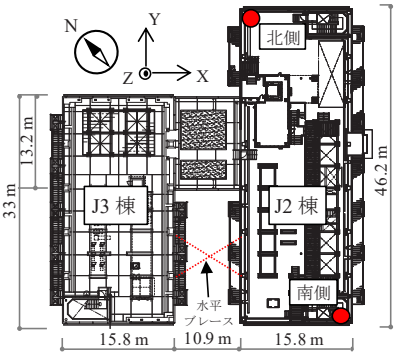
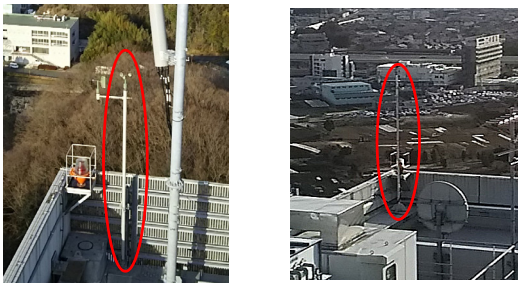


図 2 屋上階平面と風速計位置



(a) 北側　　(b) 南側

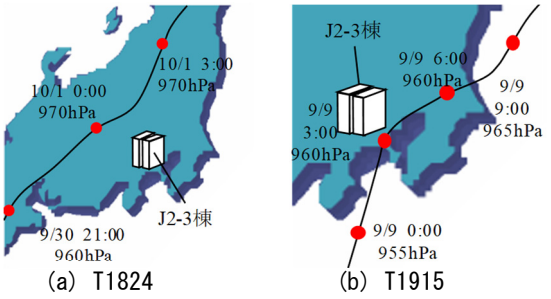
写真 1 風速計の設置状況

3.　対象とする台風の概要

T1824 と T1915 の台風の経路を図 3(a), (b)に示す [6]．T1824 は J2-3 棟に対して西側，T1915 は東側を通過している．図 4(a), (b)に J2 棟屋上階の風速計と横浜気象台 [7] で観測された平均風速・最大瞬間風速（上段），最多風向（下段）の時系列を示す．図 4 中には，赤矢印で最大平均風速を観測した 10 分間の最多風向を併記する．なお，図 4(b)中に示した青矢印の風向 WNW は 4 章の考察で扱う．J2-3 棟には南北 2 か所の風速計が設置されているが，T1824 の主風向は南寄りであるため，南側の風速・風向計を用いた．T1915 では主風向が北寄りであるため，北側の風速・風向計を用いた．最大平均風速は T1824 で 28.7 m / s，T1915 で 27.9 m / s と同程度であった．2 つの台風は風速・風向ともにいずれも横浜気象台と高い相関を示している．

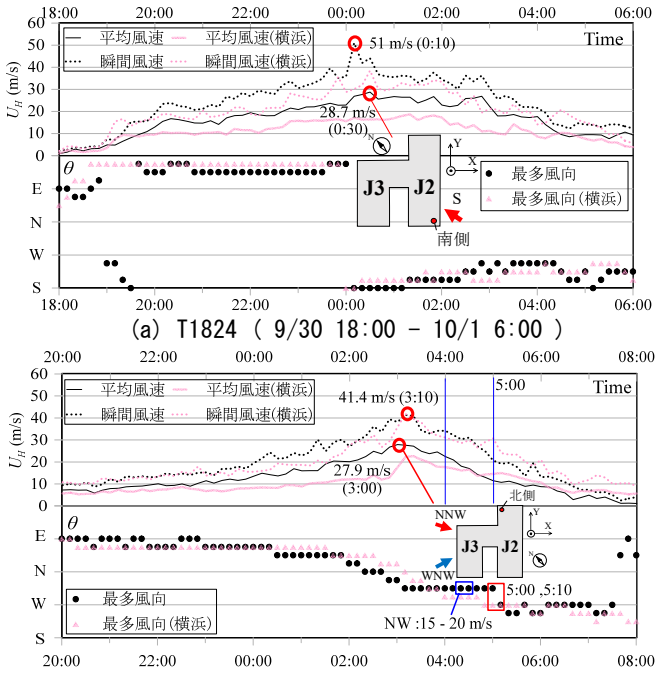
Non-stationarity of acceleration response records of base-isolated high-rise building during strong winds
Part.1 Effect of surrounding terrain and buildings on the dynamic characteristics of wind speed on the top of the building

Yudai HIRASHIMA, Daiki SATO,
Yoshiyuki FUGO, Tetsuro TAMURA



(a) T1824　　(b) T1915

図3　各台風の経路[6)]



(a) T1824 (9/30 18:00 – 10/1 6:00)

(b) T1915 (9/8 20:00 – 9/9 8:00)

図4 風速と風向の時系列変化[7)]

4.　風速の分析

4.1 分析手法の概要

1章に10分間毎の個々の観測データにはばらつきが含まれ，これが課題であることを述べた．ここでは，風向と風速レベルに応じてグループ分けを行い，分析結果をアンサンブル平均することにより共通の特性と個々のばらつきを分離し議論する．表 1(a)，(b)に各台風のグループ分けの概要を示す．風速のグループ分けの閾値はデータ数を勘案して決定した．また，対象としたのは20階の加速度計 X(EE)（本報その2参照）で最大値が観測された時刻（表1中に赤で示す）周辺のデータである．

理想的な定常ランダム波形の性質を持つ風速変動は，そのヒストグラムが正規分布を示し，またそのパワースペクトル密度（PSD)はカルマン型スペクトルとなる．従って，10分間毎の風速の変動成分を基に作成したヒストグラムを正規分布と比較する．また，風速のPSDをカルマン型と比較する．これにより，周辺地形・建物の影響を受けた風速変動がどのような特性を持つかを確認する．

4.2　分析結果

表 1 には，風速の自己相関関数より求めた乱れのスケール L_u^x を併記している．地表面粗度区分Ⅲとして荷重指針・同解説[8)]より求めた乱れのスケール L_u^x は180 m程度である．T1824 は指針値よりも大きくなる時間帯が多いが，T1915 では指針値と近い値をとる時間帯が多い傾向にある．

表 1 各台風のグループ分けの概要

(a) T1824

グループ	time	最多風向	最大平均 (m/s)	最大瞬間 (m/s)	L_u^x(m)	μ_{Lux}(m)
SE 20-25m/s	22:40 - 22:50	SE	20	31.8	313.5	359.0
	22:50 - 23:00		21.5	33.8	244.9	
	23:00 - 23:10		20.9	30.5	390.8	
	23:10 - 23:20		22	31.8	395.7	
	23:20 - 23:30		22.1	32.9	611.7	
	23:30 - 23:40		22.9	34.8	197.5	
SSE 20-25m/s	23:40 - 23:50	SSE	23.7	39.5	235.6	234.2
	23:50 - 0:00		22.8	35.2	235.6	
	0:00 - 0:10		22.9	35.7	231.4	
S 25-30m/s	0:10 - 0:20	S	26.9	51.0	672.2	325.0
	0:20 - 0:30		27.7	42.0	320.9	
	0:30 - 0:40		28.7	44.1	275.2	
	0:40 - 0:50		25.6	36.8	455.5	
	0:50 - 1:00		26.1	35.9	167.0	
	1:00 - 1:10		26.7	35.5	210.4	
	1:10 - 1:20		26.5	36.1	173.8	
SSW 25-30m/s	1:20 - 1:30	SSW	26.5	36.0	378.3	303.4
	1:40 - 1:50		25.2	34.6	201.7	
	1:50 - 2:00		26.7	37.7	330.3	

(b) T1915

グループ	time	最多風向	最大平均 (m/s)	最大瞬間 (m/s)	L_u^x(m)	μ_{Lux}(m)
N 20-25m/s	2:20 - 2:30	N	22.5	31.8	208.0	183.5
	2:30 - 2:40		24.8	36.1	222.3	
	2:40 - 2:50		23.7	33.7	120.3	
NNW 25-30m/s	2:50 - 3:00	NNW	26.7	39.4	122.2	199.2
	3:00 - 3:10		27.9	38.1	276.2	
NW 25-30m/s	3:10 - 3:20	NW	27.6	41.4	159.1	251.6
	3:20 - 3:30		27.2	40.9	344.1	
NW 20-25m/s	3:30 - 3:40	NW	24.8	34.2	111.4	168.9
	3:40 - 3:50		23.8	33.0	256.9	
	3:50 - 4:00		24.6	34.1	138.8	
	4:00 - 4:10		22.5	34.1	98.10	
	4:10 - 4:20		20.9	32.2	239.4	
NW 15-20m/s	4:20 - 4:30	NW	18.1	30.3	143.4	120.8
	4:30 - 4:40		17.0	31.1	98.14	

図5，図6に T1824 の結果を，図7，図8に T1915 の結果をそれぞれ示す．また，図5，図7に風速変動のヒストグラムと正規分布の比較を，図6，図8に PSD とカルマン型の比較をそれぞれ示す．同図には表 1 の各グループから3例（グループの構成数が2個の場合は2例）とグループ毎のアンサンブル平均の結果を示した．なお，共通の特性についてはアンサンブル平均から議論するが，個々のデータのばらつき度合を確認するため，データ数が4個以上のグループに関しては，乱れのスケール L_u^x が最大，最小のものと，各グループの平均値 μ_{Lux} に最も近いものを選定している．

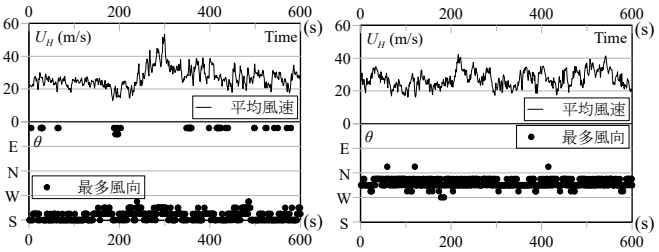
4.2.1　T1824 の風速変動の特性

図 5(a)，(b)より，SE：20 – 25 m / s と SSE：20 -25 m / s では，ヒストグラムが正規分布によく合致する．また，図6(a)，(b)より PSD のピーク位置はカルマン型と合致している．無次元振動数が1以上の領域に着目すると，図6(b)では2つピークが立つものの勾配がよく合致しているが，

図 6(a)ではカルマン型よりもパワーが大きくなる傾向にある．これより両グループともに定常ガウス過程の特徴を示すが，SE：20 – 25 m / s では周辺建物・地形の影響を受け，高周波側のパワーが卓越した可能性が考えられる．図 5(c)より，S：25 -30 m / s では，風速変動のヒストグラムは正規分布とよく合致しており，図 6(c)の PSD は高周波側においてカルマン型より若干卓越するものの，ピーク位置や勾配は概ね近い傾向を示す．ただ，最大応答時の 0:10 – 0:20 において正規分布との誤差が大きく非定常な特徴が示される．図 9(a)に T1824 の最大応答時の風速・風向の時刻歴を示しており，風速は 300 s 付近において急激に増速している．また，図 3(a)より 0:00 時点の台風の目と建物の距離はかなり大きく，風向は概ね一定である．これに加え，同グループの他の時間帯と比較して特殊であることから，気象的要因である可能性が高いと考える．SSW：25 -30 m / s では，図 6(d)より，PSD はカルマン型と近い傾向をしている．また，図 5(d)より，ヒストグラムが中央部分でわずかに歪んでいるが，概ね正規分布と合致しており，定常的な風速変動と見なせる．

4.2.2 T1915 の風速変動の特性

図 7(a)，(b)より，N：20 – 25 m / s と NNW：25 – 30 m / s では風速のヒストグラムが正規分布とよく合致する．また，図 8(a)，(b)より PSD はカルマン型の概形をとらえている．ただ，図 8(b)の PSD のピーク部分のパワーがカルマン型よりも大きく，これはサンプル数が少なく 2:50 – 3:00 の PSD の影響を受けたためである．次に，風向 NW の 3 グループを分析する．表 1 より，最大平均風速および最大瞬間風速が最も大きい NW：25 – 30 m / s では，図 7(c)よりヒストグラムが正規分布によく合い，図 8(c)より PSD もカルマン型とよく合致する．ただ，3:20 -3:30 においてヒストグラムは正規分布から若干外れている．図 9(b)に 3:20 – 3:30 の風速・風向の時刻歴を示す．風速は 200 s 付近で増速しているが，風向は 10 分間で概ね一定である．これに加えて，同グループの 3:10 – 3:20 と比較して傾向が異なることから，気象的要因である可能性が高い．また，風向 NW では風速計が建物の風下側に位置するため，建物自身の影響を受けた可能性も考えられる．ただ，図 9(a)の T1824 と比較すると非定常性は定性的に小さい．同じ風向の NW：20 – 25 m / s では，図 8(d)より，正規分布によく合致する．一方で，図 9(d)より，PSD の高周波側におけるパワーが大きくなる傾向がある．図 4(b)より 4:00 頃 ~ 5 :00 頃で J2 棟の平均風速が大きく低下し，横浜気象台よりも小さくなっている．これより，このグループでは観測において建物自身の影響を受けた可能性が高い．NW：15 – 20 m / s では，図 8(e)より，PSD はカルマン型と合致する．しかし，図 7(e)より，ヒストグラムが正規分布とよく合致するものの，平均風速の値に対してヒストグラムの振幅が大きく，風向 NW の他の 2 つと傾向が異なる．図 4(b)より, 5:00 から 5:10 にかけて風向は NW から W に急変していることから（図中赤枠），図 7(e)の真の風向は WNW であり，建物の影響を強く受けて NW を示した可能性が高いと考える．これより，NW：15 – 20 m / s では，ヒストグラムが図 7(c)，(d)と異なる傾向を示したと考えられる．



(a) 0:10 - 0:20 (T1824)　(b) 3:20 - 3:30 (T1915)

図 9 風速の時刻歴

5. まとめ

本報では，その 2 で行う加速度応答の分析に先立ち，2018 年台風 24 号（T1824）と 2019 年台風 15 号（T1915）の風速データについて，風速変動の定常性に着目して分析を行った．得られた知見を以下に示す．

(1) 風向・風速レベルでグループ分けをし，グループごとに共通の傾向を見出すために，風速変動のヒストグラムおよび PSD をグループごとにアンサンブル平均した．

(2) その結果を，正規分布およびカルマン型スペクトルと比較した．風向 NW およびそれより西側の風向では風速の観測値が J2-3 棟自身の影響を受ける可能性があるが，それ以外はいずれのグループも，風速変動が定常ランダム過程の特徴を示した．従って，周辺建物や地形が風速変動の非定常性に与える影響は小さいと考えらえるが，PSD は各グループに共通して nL/U = 1.0 以上の領域でカルマン型よりやや大きな値を示し，これは周辺建物や地形の影響と考えられる．

(3) 個々のデータは T1824 の最大応答時と T1915 の最大応答付近の 3:20-3:30 は特に非定常な特性が示された．同じグループの他の時刻とは特性が異なることから，気象的要因の可能性がある．

謝辞および参考文献は，本報その 2 にまとめて示す．

*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.

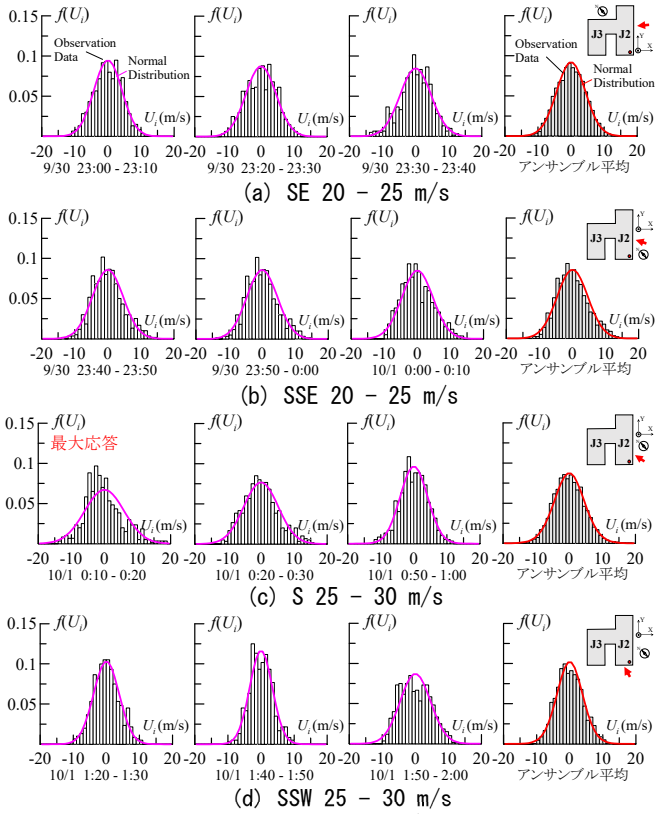


図 5 風速の変動成分のヒストグラム（T1824）

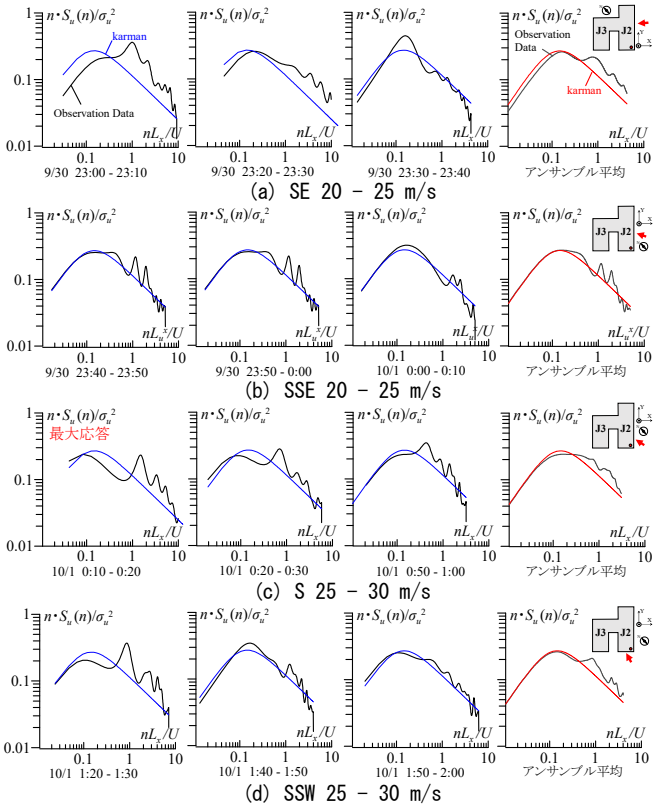


図 6 風速の PSD（T1824）

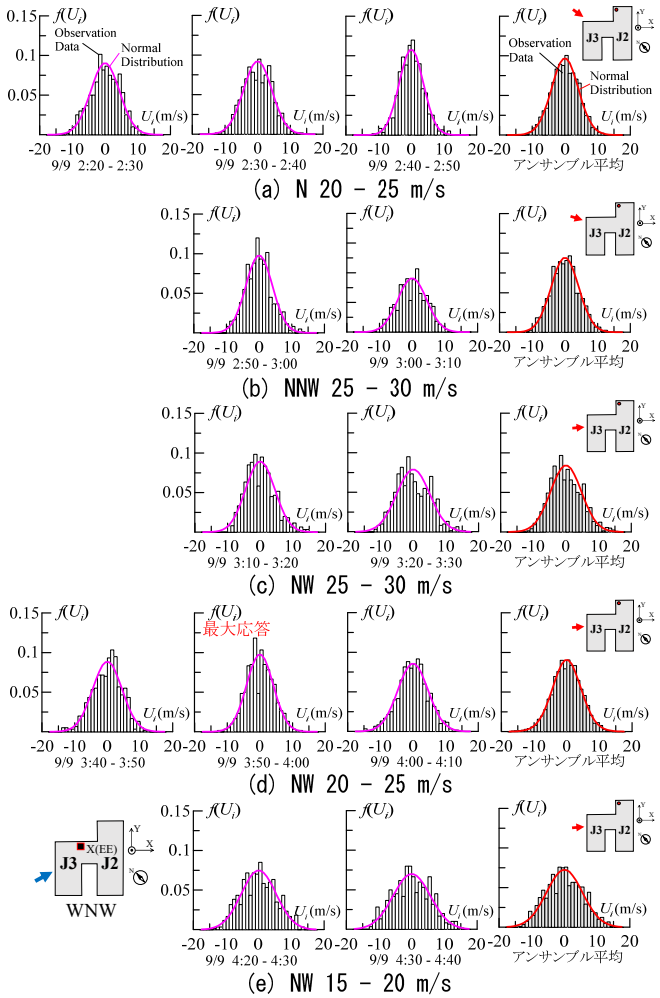


図 7 風速の変動成分のヒストグラム（T1915）

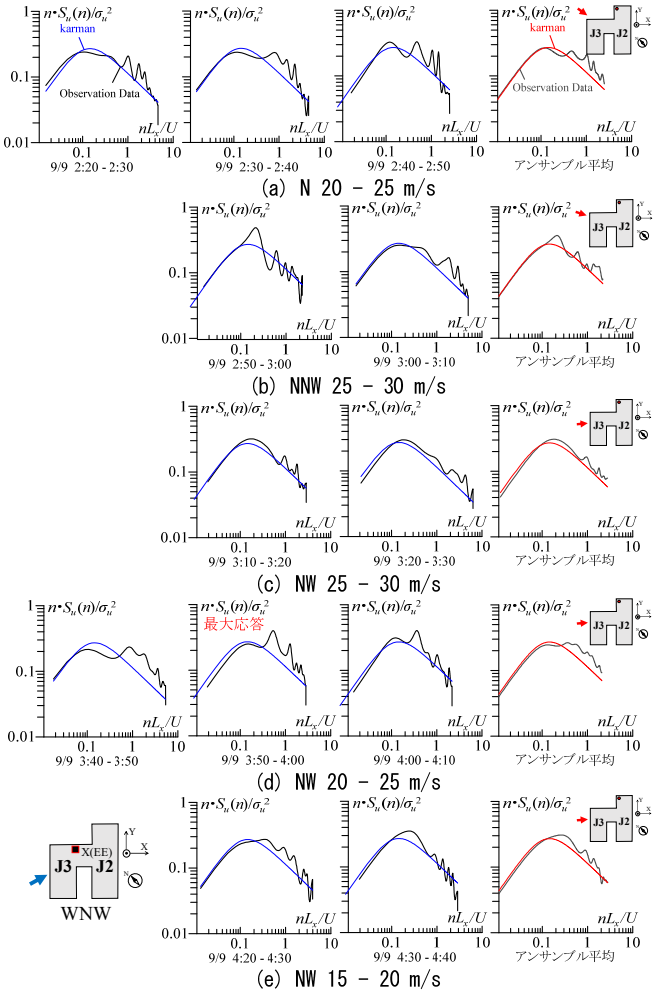


図 8 風速の PSD（T1915）