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)	長期観測記録に基づく超高層免震建物の増築前後の風応答加速度の比較 その2 加速度記録の統計的分析
Title(English)	Comparison of wind response of a high-rise base-isolated building before and after expansion based on observation records part 2 statistical analysis of 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. 569-572
Citation(English)	, I, , pp. 569-572
発行日 / Pub. date	2026, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

2025年度日本建築学会
関東支部研究報告集Ⅰ
2026年3月

長期観測記録に基づく超高層免震建物の増築前後の風応答加速度の比較 その2　加速度記録の統計的分析

構造ー振動

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

超高層免震　居住性評価　長期観測
並進・振れ分離評価　再現期間1年応答加速度

1. はじめに

本研究の目的は免震建物の風応答挙動に関する一般的な知見を抽出することである。その手段として筆者らはJ3棟増築前後における風応答を観測記録に基づき比較し，その差が生じた要因を風力特性および構造特性に着目して考察することを目標としている。本報その2では，その第一段階として，その1で選定した風速を用いて，J3棟増築前後の風応答の違いを観測記録に基づき分析する。

筆者らは既報[1]でJ3棟増築後の風観測記録から再現期間1年風速を算出し，再現期間1年相当の風速が発生した際の最大加速度記録を分析した。その結果，風向によって並進成分の最大応答加速度は0.6 cm/s^{2}から2.2 cm/s^{2}の幅で変化し，増築前後の応答加速度を比較する上では風向別の検討が重要であることが確認された。そこで可能な限り多くの風向の観測記録を用いることが適切であると考え，本報では再現期間1年に満たない低風時の加速度記録も分析対象とし，発生頻度の少ない風向に対してもデータ数を確保する。増築前後での長期観測記録を網羅的に分析することにより，風向別応答の違いを考慮して統計的に風応答の傾向を比較する。本報その2では，各風向の10分間平均風速と最大応答加速度の関係について明らかにし，その結果を増築前後で比較する。得られた風速と最大応答加速度の関係式を用いて建築物荷重指針・同解説[2]の方法で，再現期間1年の応答加速度を増築前後でそれぞれ算出し，比較する。その後，増築前後の風速・風向別加速度標準偏差の高さ方向分布を比較することにより風向別の風応答の違いについて考察する。

2. 加速度計観測システムの概要

J2棟およびJ2-3棟の建物高さは91.4 mであり，1階が半地下で免震層は1階と2階の間にある。図1に本報で分析対象とする2階，7階，14階および20階の加速度計設置位置を示す。J2側の加速度計はJ2棟単体時から設置されており[3]，これらでは常時計測が行われている。J3棟増築前後の免震装置および加速度計の詳細については文献[3),4)]を参照されたい。

3. 加速度処理方法について

図1に示す水平方向の加速度計は捩れ成分を含む。図2にJ3棟増築前後の捩れ中心位置を示す。なお，J2棟とJ2-3棟の捩れ中心は，過去の観測記録を用いた検討[5),6)]により同定されている。これら捩れ中心を用いて増築前後のX方向2点の加速度計から捩れ成分を分離し[5),6)]，並進成分の応答加速度を比較する。

図3に建物20階並進成分の加速度時刻歴のパワースペクトル密度（以下PSD）を示す。図3中にはその1の回帰式で横浜気象台の風速をJ2棟風速計位置に補正したU_Yと風向を併記した。PSDはバンド幅0.04 Hzのパルツェンのウィンドウで平滑化を行った。J3棟増築前後のPSDの1次モードと見られる成分(以下，1次成分)のピークは共に0.1～1.0 Hzの間，谷は1.0 Hz付近である。本報では1次成分に着目するものとし，各加速度時刻歴に対し0.1～1.0 Hzの矩形バンドパスフィルターをかけて最大値および標準偏差を評価した。

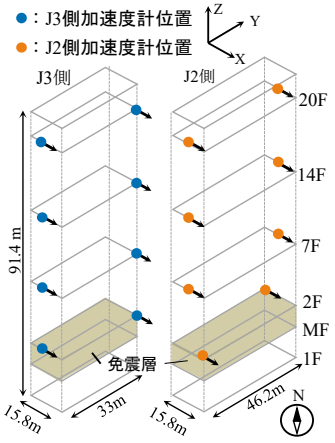


図1　対象加速度計設置位置

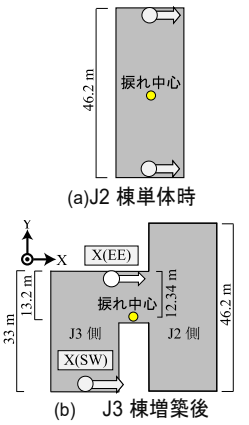
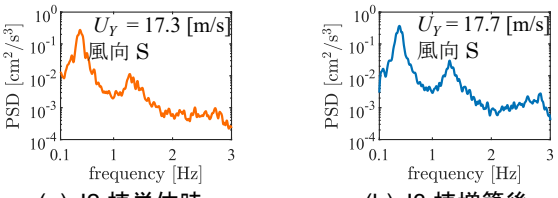


図2 振れ中心設定位置



(a) J2 棟単体時　　(b) J3 棟増築後

図3　X方向　建物20階並進成分のPSD

Comparison of wind response of a high-rise base-isolated building before and after expansion based on observation records part 2 statistical analysis of acceleration records

Naoki KIYOTANI, Daiki SATO,
Yoshiyuki FUGO, CHEN Yinli,

4. 風速と建物 20 階最大応答加速度の関係について

図 4 に風速と J2 棟および J2-3 棟の建物 20 階の 10 分間最大応答加速度A_{MAX}の関係を示す。なお，図 4 の横軸の風速は，増築前後を通して，風向 SE～WSW（風向範囲は時計回りを正として表記）ではU_Yを，風向 NNE～ESE および W～N では J2 棟頂部風速計観測記録U_{J2}を用いている。図 4 には風速 U と最大応答加速度の関係を式(1)のように仮定し，対数軸上で最小二乗法による線形回帰を行い算出した近似直線とその傾きから求まるべき指数β_{J2}，β_{J3}を示している。また，風速 7.5m/s 以上を観測した際の J2 棟単体時と J3 棟増築後の加速度時刻歴のデータ数N_{J2}，N_{J3}を併記している。図 4(a)の横浜の風速を用いた検討では図 4(b)J2 棟の風速を用いた検討結果よりもばらつきが大きい。これに対し，分析した結果については付録に示す。

$$A_{MAX} = \alpha U^{\beta} \tag{1}$$

近似直線に着目すると，風向 ESE，SSE を除く 14 風向について，J2 棟単体時の近似直線は J3 棟増築後の近似直線よりも大きく，同程度の風向・風速について J2 棟単体時の方が J3 棟増築後と比較して最大応答加速度が大きくなる傾向が確認される。べき指数に着目すると，風向 W を除き，β_{J2}は 2.35～3.53，β_{J3}は 2.02～3.01 の範囲に収まっている。風向 W のβ_{J2}については，J2 棟北側の風向・風速計が建物自身の影響を受けたことにより観測精度が悪くなり，べき指数が過小評価されている可能性があるが，今後より詳細な分析が必要である。また，風向 ENE，W，SSE 以外の風向のβ_{J3}はβ_{J2}よりも小さくなった。これは増築による構造特性の変化が原因だと考えられ，詳細な検討は今後の課題である。風向 ENE，W，SSE のべき指数についての考察は付録で示す。

5. 再現期間と日最大応答加速度の関係について

図 4 で算出したべき指数から以下に示す建築物荷重指針・同解説の方法[2),7)]を用いて再現期間 1 年の日最大応答加速度を算出する。①式(2)から風向 i ごとに日最大応答加速度A_Rに対する平均風速$U_i(A_R)$を求める。②式(3)よりそれぞれの風向の平均風速から非超過確率$F_A(A_R)$を求める。③式(4)より再現期間T_Rを求める。

$$U_i(A_R) = exp\left(\frac{1}{\beta_i} \times ln\left(\frac{A_R}{\alpha_i}\right)\right) \tag{2}$$

$$F_A(A_R) = \sum_{i=1}^{16} p_i F_U\{U_i(A_R)\} \tag{3}$$

$$T_R = \frac{1}{1 - F_A(A_R)} \tag{4}$$

ここに，F_Uは風速の非超過確率，p_iは風向 i の風向出現頻度である。なお，本報ではF_U，p_iには既往研究[1)]で算出した J2 棟頂部風速計位置の風速のグンベルパラメータと日最大風速の風向別出現頻度を用いた。

以上の処理により得た，再現期間と日最大応答加速度の関係を図 5 に示す。図 5 より J3 棟増築後の再現期間に対応する応答加速度は J2 棟単体時の 1/2 倍以下となっていることが分かる。また，再現期間 1 年の応答加速度は，J2 棟単体時は 1.6 cm/s^2，J3 棟増築後は 0.7 cm/s^2 となり 1 cm/s^2 程度の差があることが確認された。

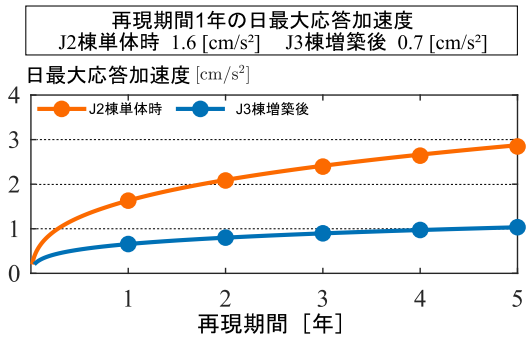


図 5　再現期間と日最大応答加速度の関係

6. 最大応答加速度の高さ方向分布による比較

図 6 に風向別加速度標準偏差σ_Aの高さ方向分布を平均値および標準偏差を用いて示す。図 6 では，J2 棟の長辺方向および短辺方向に正対する風向として，風向 NW および SW を示している。また，風速Uの範囲は(a)7.5～10 m/s ，(b)10～12.5 m/s，(c)12.5～15 m/s，(d)15～17.5 m/s の 4 つを設定した。増築前後の標準偏差の平均値を比較すると，いずれの風速，風向においても J3 棟増築後よりも J2 棟単体時の方が，応答加速度が大きいことが確認される。紙面の都合により割愛するが，他の風向においても同様な傾向がみられた。さらに，J2 棟単体時には X 方向における風方向に相当する風向 NW と比較して，風直交方向に相当する風向 SW の方が応答加速度は大きい傾向が確認される。一方，J3 棟増築後にはこのような傾向はみられない。これらの増築前後の風向別応答の違いについても今後，風洞実験を用いた風力特性の分析や，増築前後の構造特性を分析することにより，要因を明らかにする予定である。

7. まとめ

本報では東京科学大学すずかけ台キャンパスの J2-3 棟の増築前後を対象として得られた知見を以下に示す。

1) 増築前後で 10 分間平均風速が同程度の場合の 10 分間加速度時刻歴の最大値を風速別に比較した結果，J3 棟の増築に伴い応答加速度は小さくなる傾向が確認された。
2) 風速と最大応答加速度の関係から求まるべき指数は増築前よりも増築後の方が小さくなることが確認された。
3) 風向別に算出したべき指数を用いて再現期間 1 年の日最大応答加速度を算出した結果，J2 棟単体時は 1.6 cm/s^2，J3 棟増築後は，0.7 cm/s^2 となり 1 cm/s^2 程度の差があることが確認された。
4) 風向・風速レベル別に 10 分間加速度標準偏差の高さ方向分布を確認したところ，J2 棟単体時の短辺方向

の応答加速度は長辺方向に正対する風向よりも短辺方向に正対する風向の方が大きくなった。一方，J3 棟増築後にはそのような差はみられない。

本報では長期観測記録を網羅的に分析することにより J3 棟増築前後における応答加速度の違いを明らかにした。今後は，風洞実験による J3 棟増築前後の風力特性の比較や構造特性の比較を行うことで，応答加速度が変化した要因について明らかにし，免震建物の風応答挙動についての一般的な知見を得ることを目指す。

参考文献

1) 清谷直生，佐藤大樹，普後良之，陳引力：超高層免震建物の観測記録に基づく再現期間 1 年風速および居住性評価，日本建築学会技術報告集，No. 82, pp. 92-97, 2026.2
2) 日本建築学会:建築物荷重指針・同解説（2015），2015.2
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録の分析，日本建築学会関東支部研究報告集，2018，pp.225-228，2020.3
5) 中井亜里沙，佐藤大樹，村上智一，田村哲郎，普後良之，吉江慶祐，笠井和彦：強風時の観測記録に基づく超高層免震建物の揺れ振動特性の分析－その 2　揺れ成分の加速度時刻歴波形による揺れ回転中心位置の推定，日本建築学会関東支部研究報告集，2039，pp.417-420，2017.3
6) 平島祐大，佐藤大樹，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揺れ応答挙動に関する研究その 2　並進・揺れ挙動の分析および揺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.89-90，2021.7
7) 長路秀鷹，勝村章，土橋徹，安田正治，北澤圭祐，中村修：超高層建築物の風応答観測記録による居住性検討その 8　風速と応答加速度による居住性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），構造 1，20043，pp.85-86，2021.7

附録　統計的検討について

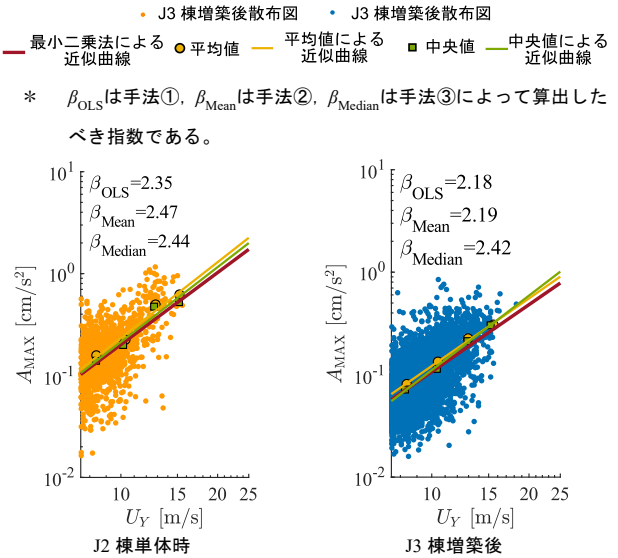
横浜の風速と最大応答加速度の関係のばらつきは大きく，べき指数推定のため以下の方法を検討した。

① そのまま最小二乗法を使う。

② 平均風速の範囲を指数関数上で等しくなるように $10^{0.1}$ ピッチで分割し，その範囲内で平均風速および応答加速度の平均値を算出する。

③ $10^{0.1}$ ピッチで分割し，その範囲内で風速の中央値および最大応答加速度の中央値を算出し評価する。

代表して風向 SW の増築前後のデータを付図に示す。選定する手法によりべき指数は J2 棟単体以前で 2.35～2.47，増築後で 2.18～2.42 程度変化する。統計的手法の選定は今後の課題である。また，図 4 の風向 ENE の β_{J3} は β_{J2} よりも大きい。この原因は，J2 棟単体時の北側風向計のデータは，実際の風向が S, SSW であるデータを風向 ENE として観測しているものを含んでおり観測精度が悪く，β_{J2} が過小評価されているためだと考えられる。同様に NE～ESE に確認される J2 棟単体時のデータの外れ値も実際には南側風向のデータである可能性がある。



付図　U_YとA_{MAX}の関係の統計的検討

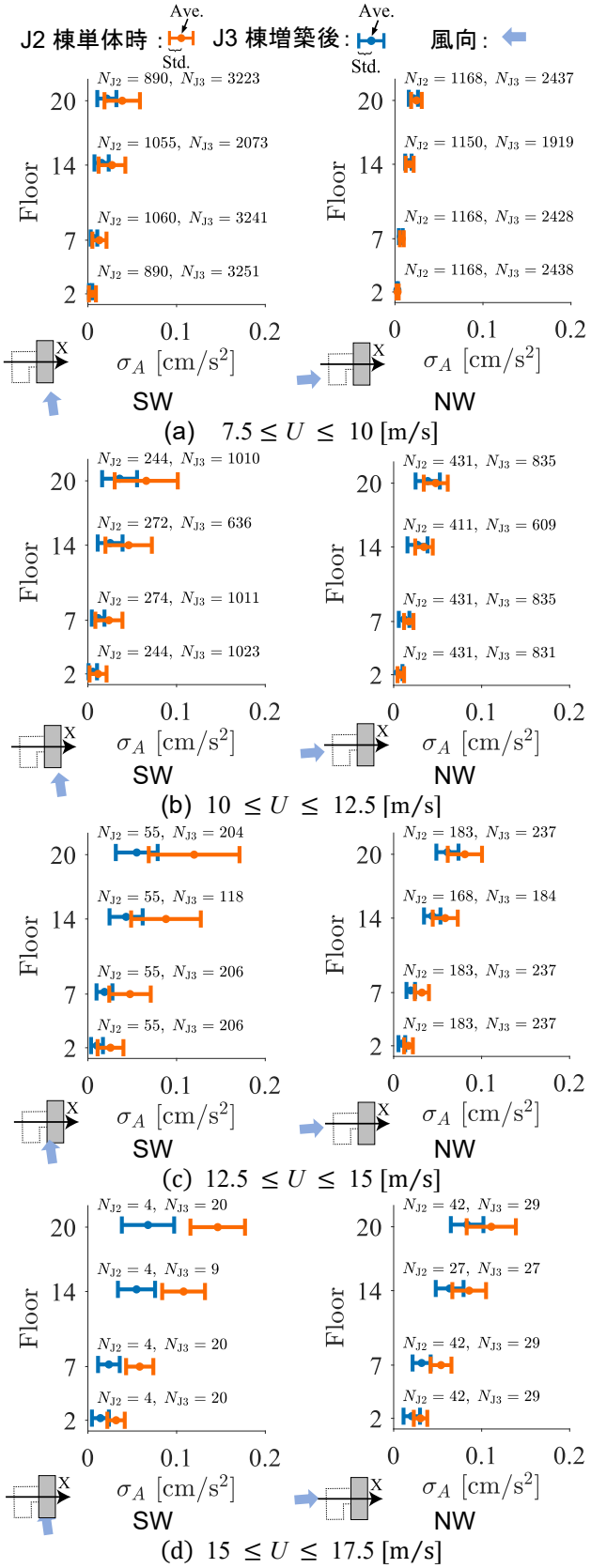
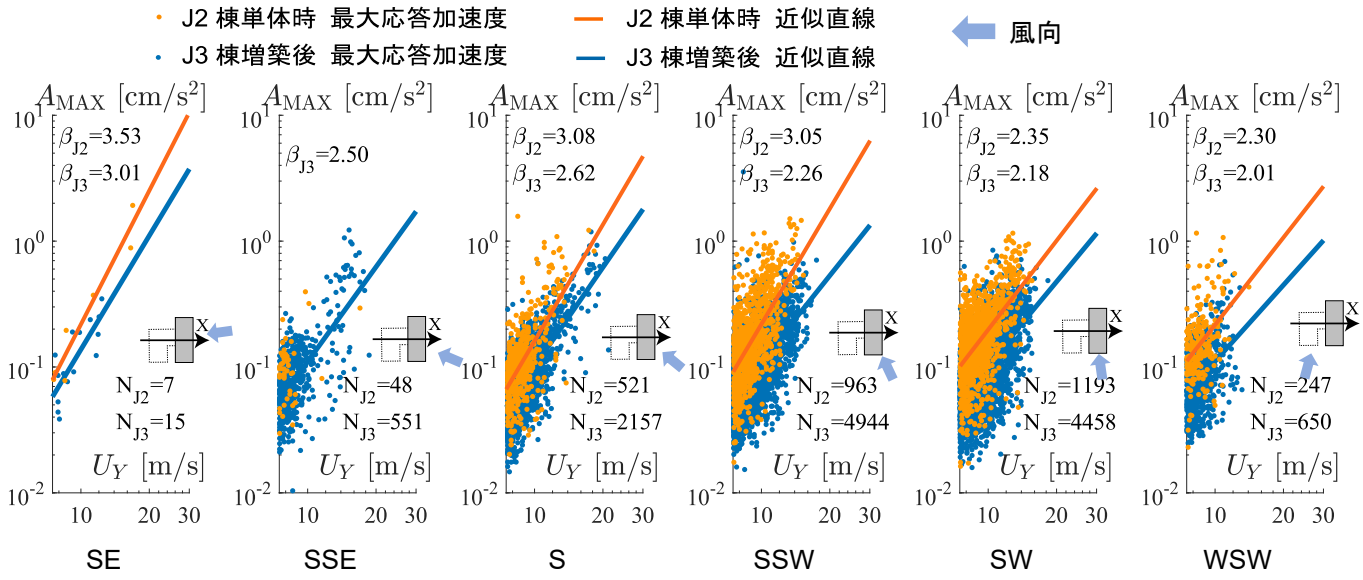
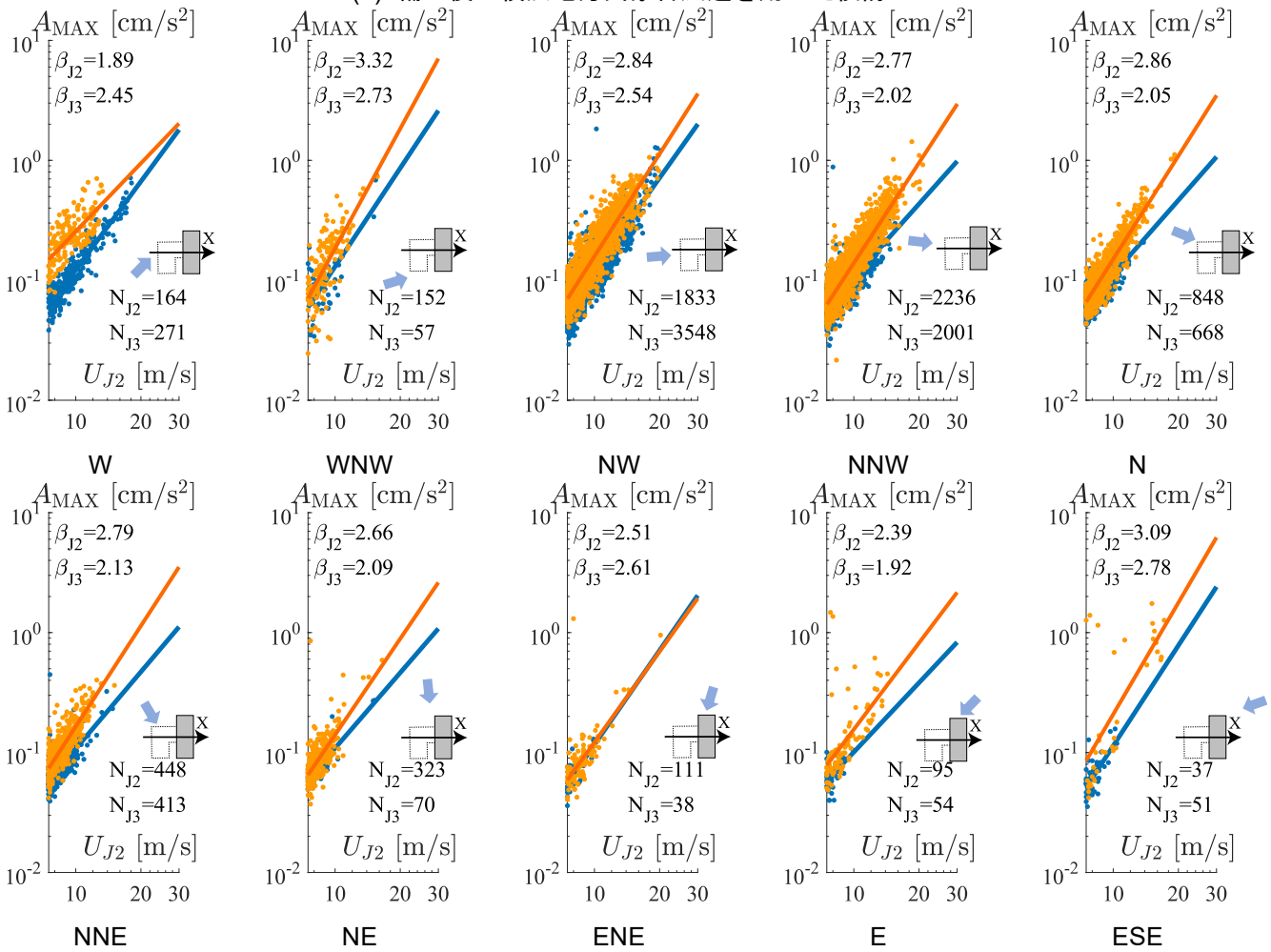


図 6　風速別加速度標準偏差の高さ方向分布



(a) 補正後の横浜地方気象台風速を用いた検討



(b) J2 棟頂部風速計を用いた検討

図 4 風速と建物 20 階最大応答加速度との関係

*1 東京科学大学 環境社会理工学院 大学院生

*2 東京科学大学 准教授・博士（工学）

*3 (株)東京耐風コンサルティング

*4 東京科学大学 助教・博士（学術）

Graduate Student Institute of Science Tokyo *1

Associate Professor, Institute of Science Tokyo, Dr. Eng. *2

Tokyo Wind-Resilience Consulting Co., Ltd.*3

Institute of Science Tokyo, Ph.D. * *2