

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	基準風速のばらつきが超高層免震建物の風応答解析結果に及ぼす影響
Title(English)	Study using wind response analysis by changing experimental wind speed magnification
著者(和文)	呉嘉瑞, 佐藤大樹, 普後良之, 田村哲郎
Authors(English)	Kazui Go, Daiki Sato, Yoshiyuki Fugo, Tetsuro Tamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 253-256
Citation(English)	, , , pp. 253-256
発行日 / Pub. date	2020, 3

基準風速のばらつきが超高層免震建物の風応答解析結果に及ぼす影響

構造—振動

正会員 ○ 呉嘉瑞^{*1}
〃 普後良之^{*3}正会員 佐藤大樹^{*2}
〃 田村哲郎^{*4}超高層免震建物 観測記録 同定モデル
風応答解析 基準風速

1. はじめに

近年、超高層建物にも免震構造が採用される例が増えてきた。建物の高層化に伴い風力も増大し、免震層が塑性化する可能性も増えたため、風荷重は地震荷重とともに重要な設計用外力となっている。風応答を正しく評価するためには、設計段階において風応答時刻歴解析による検討が望まれるが、地震応答と風応答では応答の振幅が大きく異なるため、解析モデルの剛性や減衰などの構造特性も異なることが考えられ、解析モデルと実際の建物の動的特性の整合性は不明な点が多い。また、風力を直接計測することができないため、風応答観測記録に基づく評価を行った例は少ない。

筆者らは文献 1) において、20 階の超高層建物を対象として、設計図書を基にした設計モデルおよび地震応答観測記録を基に同定した同定モデルの風応答解析結果と風応答観測値の比較を行った。その結果、設計図書を基にした設計モデルは比較的大きな地震を対象としたものなので、風応答に対して精度が低い。同定モデルは設計モデルより風応答観測値に対して差が縮まるが、解析結果は観測値完全に一致はしなかった。また、文献 2) でより多角的な検討を行った結果、観測値と比較した応答加速度の最大値と標準偏差の差にそれぞれ違いが生じた。

この解析では外力入力に風洞実験結果を用いたが、風洞実験の基準風速は建物の影響しない位置で計測されており、一方で台風観測記録が計測されているのは J2 棟の屋上で、建物の影響も地形の影響も受けるため、ズレが生じることが考えられ、風外力の周波数成分が変わる。そこで本報では、基準風速を変更してばらつきが超高層免震建物の風応答解析をした結果、応答値にどのような影響をもたらすのかを観測値と比較して検討する。

2. 解析モデルおよび観測記録の概要

2.1 解析モデルの概要

本報では、21 質点等価せん断型モデルを用い、時刻歴応答解析を行なう。本報で用いる風応答観測値は、地上 20 階、塔屋 2 階であり、上部構造が S 造の高さ 83m、塔状比 (H/\sqrt{BD}) 3.1、辺長比 (B/D) 3 の非常に扁平な形状の

超高層免震建物である。

地震および風応答観測記録の分析結果に基づくモデル (以下、同定モデル) を文献 1), 2) を基に構築する。風応答観測記録から同定した層剛性を用いる。上部構造の減衰は、地震応答観測記録に基づき伝達関数のカーブフィット法を適用して同定したものをを用いる。免震層に何かしらのエネルギー吸収があることを確認したため、免震層に摩擦要素を追加し、吸収エネルギーを用いて試行錯誤的に減衰を同定した。なお、質量は設計図書に基づき設定する。(文献 2) の Model No. 11 を用いる)

2.2 観測記録の概要

東京工業大学の J2 棟で観測された、Faxai (T0720) の最大瞬間風速発生時 10 分間のデータを用いる。Fig. 1 に風向風速を示す。以後 3 章より、風応答解析時各層に与える風外力を求める。また、X 方向の風応答観測記録は並進成分を用いる¹⁾。Fig. 2 より、X 方向は風方向であり平均成分を有するため Y 方向と比較して応答が大きく、Y 方向は最大変形が 1mm 程度の低い応答であることが確認できる。なお、T0720 と同レベルの免震層変位を記録した福島県沖地震を用いて建物の動的特性を分析する。

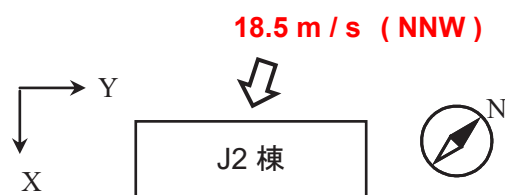


Fig. 1 Wind speed and direction

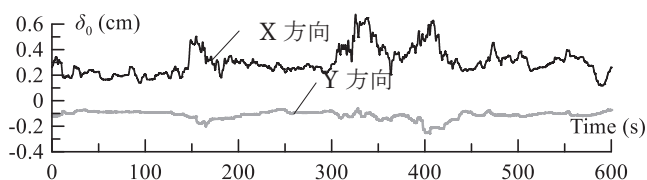


Fig. 2 Seismic isolation layer displacement time history waveform at maximum instantaneous wind speed generation time of 10 minutes (16:20, NNW direction)

Sutudy using wind response analysis by changing experimental wind speed magnification

Jiarui WU, Daiki SATO, Yoshiyuki FUGO and Teturo TAMURA

3. 風外力の概要

解析モデルに作用させる風外力は風洞実験結果³⁾を用いた。実験気流は「建築物荷重指針・同解説」の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に「J2棟+周辺建物+地形」で行なったものを使用する。風向は建物のY方向に正対する角度を0度として時計回りに5度ごとに計81風向計測されている。再現期間1年程度であるT0720の最大瞬間風速発生時における10分間の実風速レベル（頂部風速18.5m/s、風向NNW）を1.0倍とし、それより風速の倍率を0.6~1.1倍として作成した風力を用いて分析を行う。なお、T0720はJ2棟の南側を通過し、16:20にJ2棟頂部で最大瞬間風速を記録した。Fig.3に、X、Y方向の22層に作用させる層風力時刻歴波形の一例を示す。解析開始時における過渡応答を避けるため、強風イベントの各風力波形の先頭50秒間にエンベロープを設けた。Fig.3より、X方向（短辺方向）は風方向風力であり平均成分を有するため、Y方向の風力と比較して大きい。なお、時刻歴応答解析の時間刻みを0.02sとする。層風力は免震層を除く2層から22層に対して作用させ、エンベロープを設けた最初の50秒間を除く10分間の30波のアンサンブル平均で評価を行う。

4. 加速度応答の検討

本章では、風洞実験を用いて作成した風力の変動成分についての精度を確認するため、応答加速度を用いて検討を行うことを目的とする。

4.1 最大値の検討

本節では、最大値 A_{max} に着目して、実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig.4に、X、Y方向における観測値および解析値における加速度最大値の高さ方向分布を示す。なお、観測値のX方向14階はデータが欠測していた

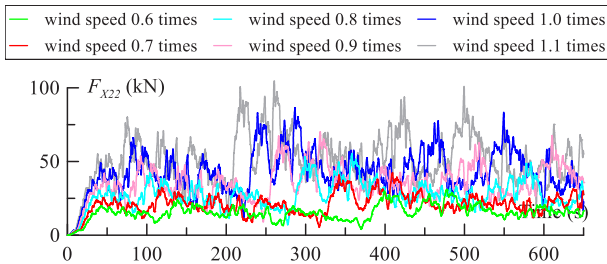


Fig. 3 Story wind force history (22 layers)

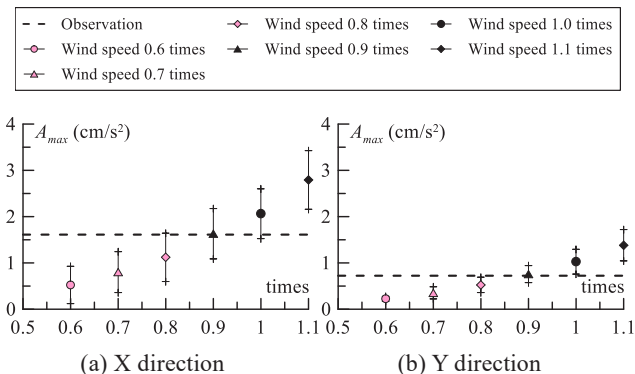


Fig. 4 Maximum acceleration

ためプロットを除外している。Fig.4より、XおよびY方向において、観測値は風速0.9倍の応答値と概ね等しいことが確認できる。

4.2 標準偏差の検討

本節では、標準偏差 A_{rms} に着目して、実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig.5に、X、Y方向における観測値および解析値における加速度標準偏差の高さ方向分布を示す。なお、観測値のX方向14階はデータが欠測していたためプロットを除外している。Fig.5より、XおよびY方向において、観測値は風速0.8倍の応答値と概ね等しいことが確認できる。なお、風速0.9倍の応答値は風速0.8倍の応答値に対し約1.4倍大きくなる。

4.3 ピークファクターの検討

最大値、標準偏差をそれぞれ検討したところ、観測値に対してそれぞれ0.9倍、0.8倍と違う倍率の応答と一致する結果が得られた。そこで本節では、ピークファクター g_A (A_{max}/A_{rms})に着目して確認する。Fig.6に、X、Y方向における観測値および解析値におけるピークファクターの高さ方向分布を示す。Fig.6より、全応答値はX方向は4.5~6、Y方向は4.5~5.5にあり、観測値と全応答値において乖離があることが確認でき、応答加速度の最大値と標準偏差は異なる大小関係があることわかる。

4.4 頻度分布の検討

本節では、より詳細な分析を行うため、Rainfolw法を用いて20階加速度応答の片側振幅の頻度分布に着目して、実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig.7に、X、Y方向における観測値および解析値における頻度分布の一

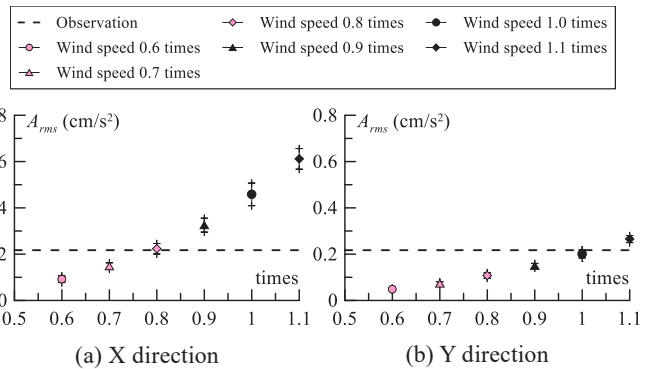


Fig. 5 Standard deviation of acceleration

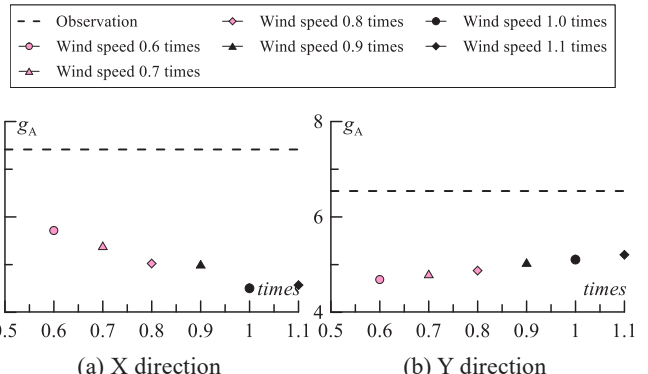


Fig. 6 Peak factor of acceleration

部を示す。Fig. 7 より、振幅 0.3 を境に観測記録と応答結果の個数が大小関係が変わることが確認できる、低振幅時は観測記録のほうが多く、高振幅では応答結果のほうが多いことがわかる。また、X および Y 方向において基準風速を 0.9 倍にすると応答値は観測値を概ね等しい形状になることが確認できる。そのため、ピークファクターの違いを確認するためには、別の視点で評価する必要がある。

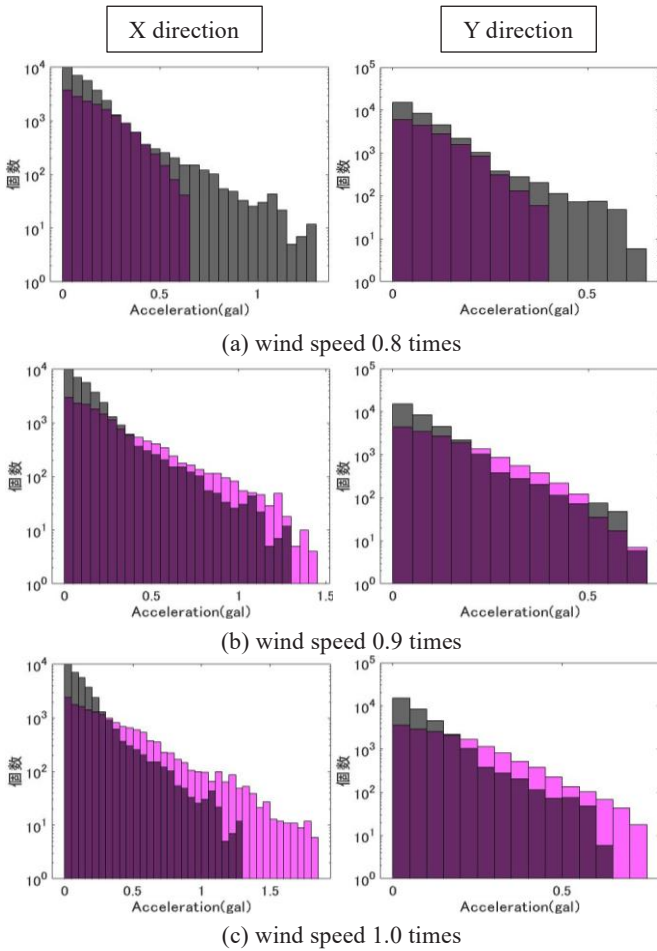


Fig. 7 Histogram of acceleration

5. 免震層変位応答の検討

本章では、風洞実験を用いて作成した風力の平均成分についての精度を確認するため、免震層の応答変位を用いて検討を行うことを目的とする。

5.1 最大値の検討

本節では、最大値 δ_{0max} に着目して実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 8 に、各方向における観測値および解析値における最大値を示す。Fig. 8 より、X 方向において観測値は風速 1.0 倍～1.1 倍の応答の間にある。風直行方向である Y 方向において応答値は全て小さく、観測値を下回ることがわかる。

5.2 標準偏差の検討

本節では、標準偏差 δ_{0rms} に着目して実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 9 に、X、Y 方向における観測値および解析値における標準偏差を示す。Fig. 9 より、X お

よび Y 方向において観測値は風速 1.0 倍～1.1 倍の応答の間にあることがわかる。

5.3 平均値の検討

本節では、平均値 δ_{0ave} に着目して実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 10 に、各方向における観測値および解析値における最大値を示す。Fig. 10 より、X 方向において観測値は風速 1.0 倍の応答と概ね等しい値となる。風直行方向である Y 方向において応答値は全て小さく、観測値を下回る。なお、ガストファクター $G_{\delta 0}$ ($\delta_{0max} / \delta_{0ave}$) において、X 方向の全応答値は観測値と概ね等しいことが確認できる。

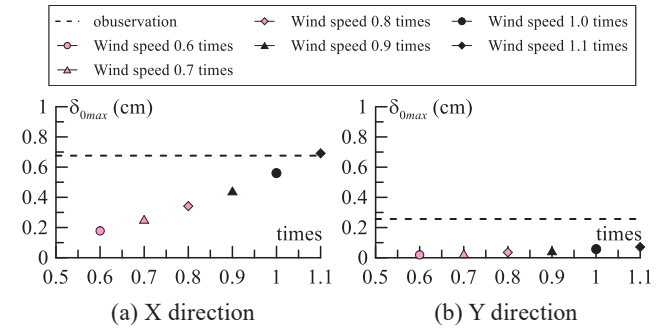


Fig. 8 Maximum displacement

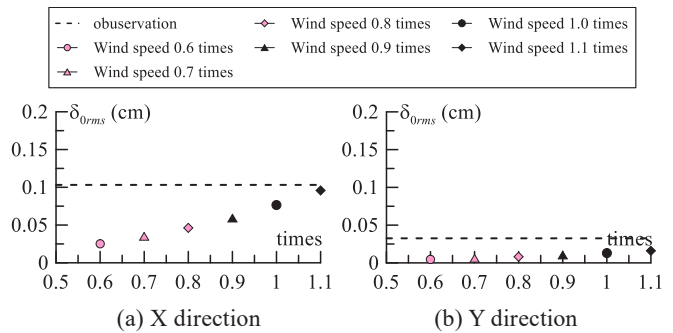


Fig. 9 Standard deviation of displacement

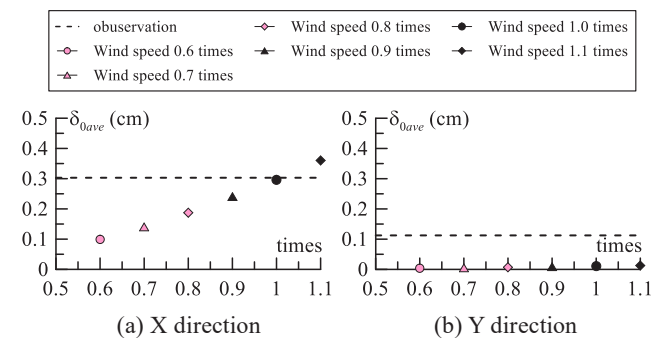


Fig. 10 Average displacement

5.4 ピークファクターの検討

本節では、ピークファクター $g_{\delta 0}$ ($\delta_{0max} / \delta_{0rms}$) に着目して実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 10 に、X および Y 方向における観測値と解析値におけるピークファクターを示す。Fig. 10 より、X 方向において応答値は実験風速の倍率によらず全て概ね等しい値となり、観測値と概ね等しいことが確認できる。そのため、観測記録に対する同じ風速の応答の最大値と標準偏差のそれぞれが等倍

であることわかる。風直行方向である Y 方向において、観測記録と応答結果のピークファクターに違いが生じた。

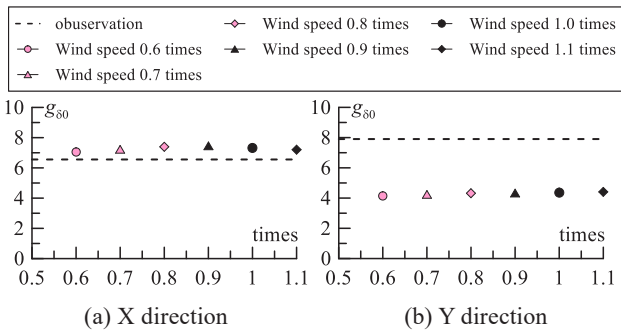


Fig. 10 Peak factor of displacement

5.5 頻度分布の検討

本節では、より詳細な分析を行うため、Rainfolw 法を用いて変位応答の片側振幅の頻度分布に着目して、実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 11 に、X、Y 方向における観測値および解析値における頻度分布の一部を示す。Fig. 11 より、0.3 以下の低振幅時は応答値のほうが多く、0.1 以下では応答値のみであることだわかる。0.6 以上の高振幅では、観測結果のほうが多いことがわかる。また、X 方向において基準風速を 1.0 倍以上にすると応答値は観測値と概ね等しい形状であることが確認できる。また、Y 方向においては応答値と観測値が合わないことが確認できる。そのため、別の視点で評価する必要がある。

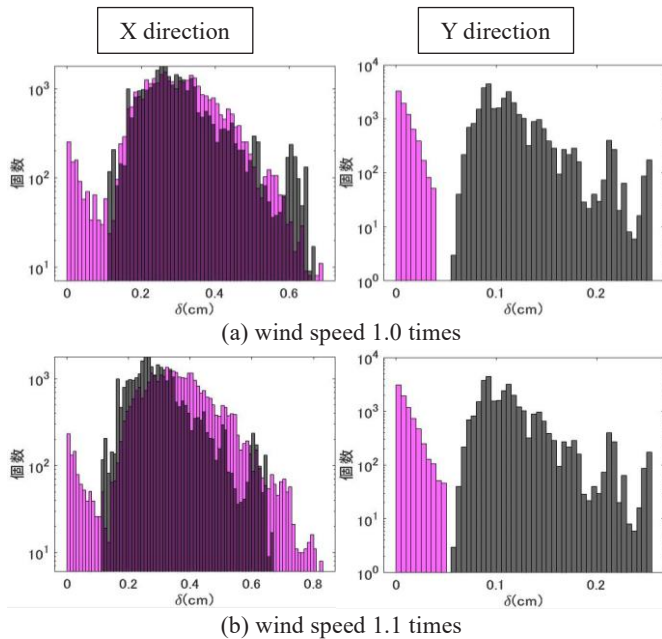


Fig. 11 Histogram of displacement

5.6 オービットの検討

本節では、オービットに着目して、実建物と解析モデルの整合性を確認する。Fig. 12 に、X、Y 方向における観測値および解析値におけるオービットを示す。Fig. 12 より、

X 方向の最大変位において、風速 1.0 倍にした応答値は観測値に対して約 1.08 倍となり、概ね等しいことがわかる。

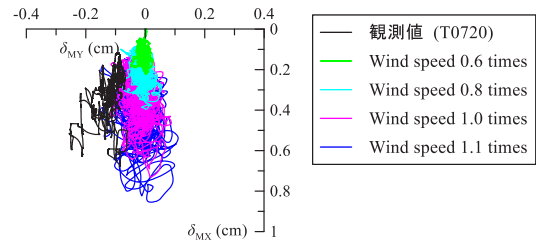


Fig. 12 Orbit of displacement

6. まとめ

本報では、基準風速を変更してばらつきが超高層免震建物の風応答解析をした結果、応答値にどのような影響をもたらすのかを観測値と比較して検討する。

- (1) 加速度応答において、同じ風速の応答が観測記録に対して最大値と標準偏差の比が異なることを確認し、ピークファクターも違うことがわかった。
- (2) 20 階の加速度応答において、基準風速 0.8~0.9 倍の応答値は観測値と概ね等しいことがわかり、変動風力に関しては未だ完璧に再現できていないと考えられる。
- (3) 免震層 X 方向の変位応答において、基準風速 1.0~1.1 倍の応答値は観測値と概ね等しいことがわかり、平均風速を精度良く再現していることがわかった。

総合的に評価すると、基準風速を 0.8 倍~1.1 倍として作成した風力を用いた解析結果は風応答観測値と等しいことがわかった。ここで、ばらつきはあるが概ね再現できていることが確認できた。

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-風応答観測研究会の皆様には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) 呉嘉瑞, 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, 2019.3
- 2) 呉嘉瑞, 佐藤大樹, 普後良之, 田村哲郎: 観測記録に基づく超高層免震建物の時刻歴応答解析モデルの構築-その 4 モデル化手法による応答特性の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 21128, pp.255-256, 2019.9
- 3) 普後良之, 佐藤大樹, 田村哲郎, 勝村章: 実在する地形および周辺建物が高層建物の風力に与える影響に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集(CD-ROM), pp.401-404, 2018.3

*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 東京工業大学環境・社会理工学院 教授・博士 (工学)

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

*Associate Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.*2

* Wind Engineering Institute *3

* Prof., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.*4