

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風洞実験およびCFDより得られた風力を用いた超高層建物の時刻歴応答解析 その2 応答の比較
Title(English)	Time history analysis of a high-rise building using wind force obtained from wind tunnel experiments and CFD Part2 Comparison of Responses
著者(和文)	沖村将大, 佐藤大樹, 田中英之, 曾根孝行, 渡井一樹, 畔上泰彦
Authors(English)	Masahiro Okimura, Daiki Sato, Hideyuki Tanaka, Takayuki Sone, Kazuki Watai, Yasuhiko Azegami
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 497-500
Citation(English)	, , , pp. 497-500
発行日 / Pub. date	2023, 2
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

風洞実験およびCFDより得られた風力を用いた超高層建物の時刻歴応答解析

その2 応答の比較

構造—振動

超高層建物 風洞実験 CFD
風応答 多質点系モデル

正会員 ○ 沖村将大^{*1} 正会員 佐藤大樹^{*2}
" 田中英之^{*3} " 曾根孝行^{*3}
" 渡井一樹^{*3} " 畔上泰彦^{*3}

1. はじめに

本報その1では検討に用いるCFDの気流特性について荷重指針および風洞実験と、風力特性についてCFDと風洞実験の値を比較し、特に風力特性についてCFDの値と風洞実験の値に違いがあることを確認した。その2ではその1の結果を踏まえて、風洞実験およびCFDの風力を用いて時刻歴応答解析を行い、それらによる応答について比較する。また、同等の定義はその1と同様である。

2. 解析概要

2.1 解析対象モデル⁵⁾

本報では図1に示す高さ $H = 200$ mである正方形断面を有する辺長比 $D/B = 1.0$ 、アスペクト比 $H/B = 5.0$ (D, B : 建築物の奥行, 幅, $D = B = 40$ m)の超高層建物を対象とした20質点せん断型モデルを用いる。フレームの1次固有周期を ${}_1T_f = 5.0$ s, 建物密度を $\rho_f = 175$ kg/m³とし、質量 m_i は高さ方向に一様と想定した。構造減衰を剛性比例型として、 ${}_1T_f$ に対して1次減衰定数 ${}_1\xi_f = 2\%$ を用いる。また、フレームの剛性 k_f は建物の1次固有モードが直線となるように設定した。(図2参照)なお、フレームは弾性状態を保つものとする。

2.2 風力概要

風力は、本報その1の5.1節に示したものと同様に、風洞実験およびCFDより得られた層風力係数データを対象建物について基準風速36 m/sの再現期間500年風力へ変

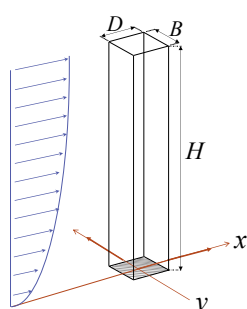


図1 建物概要

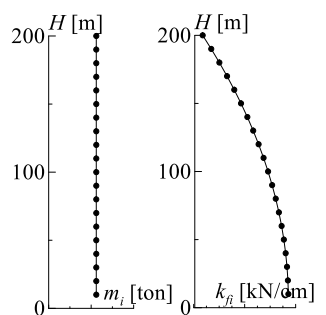


図2 モデル概要

換を行ったものである。本報では、 x を風方向、 y を風直交方向と呼ぶ。(図1)本報では2種(風洞実験とCFD)の風力を対象モデルに入力し、時刻歴応答解析を行う。

3. 解析結果

図3に風洞実験およびCFDの風力を用いた時刻歴応答解析による変位(DIS), 速度(VEL), 加速度(ACC)の時刻歴波形の一部を示す。以降の節で、これらの最大応答および標準偏差, ピークファクターについて比較する。

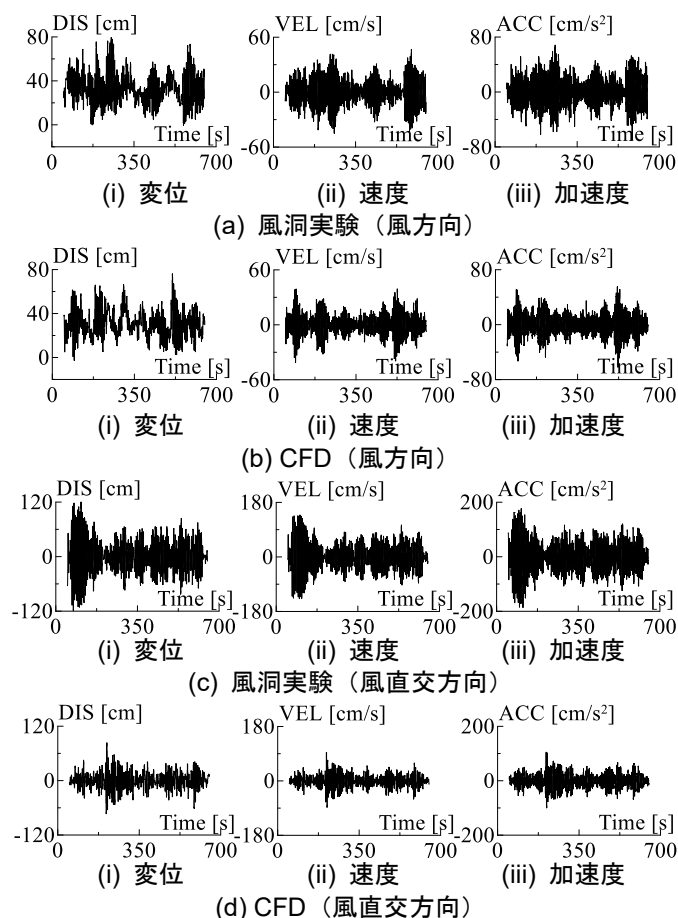


図3 最上層の時刻歴応答波形(1波目)

3.1 風方向変位の平均値比較

図 4(a)(i)の破線に風洞実験および CFD から作成した風力による各層の風方向変位の平均値 \bar{D} をそれぞれ示す。以降、添え字の T および C はそれぞれ風洞実験と CFD を意味し、応答評価は 5 波それぞれを入力した場合のアンサンブル平均 (Ave.) とする。また、エラーバーは 5 波の標準偏差 (Std.) を表す。

図 4(a)(i)から、CFD の風力による風方向変位の平均値と風洞実験の風力による風方向変位の平均値は同等であることが分かる。これは本報その 1 の 5.2 節に示す風方向風力の平均値と同様の傾向であり、風方向において、変位の平均値には風力の平均値が影響していると考えられる。

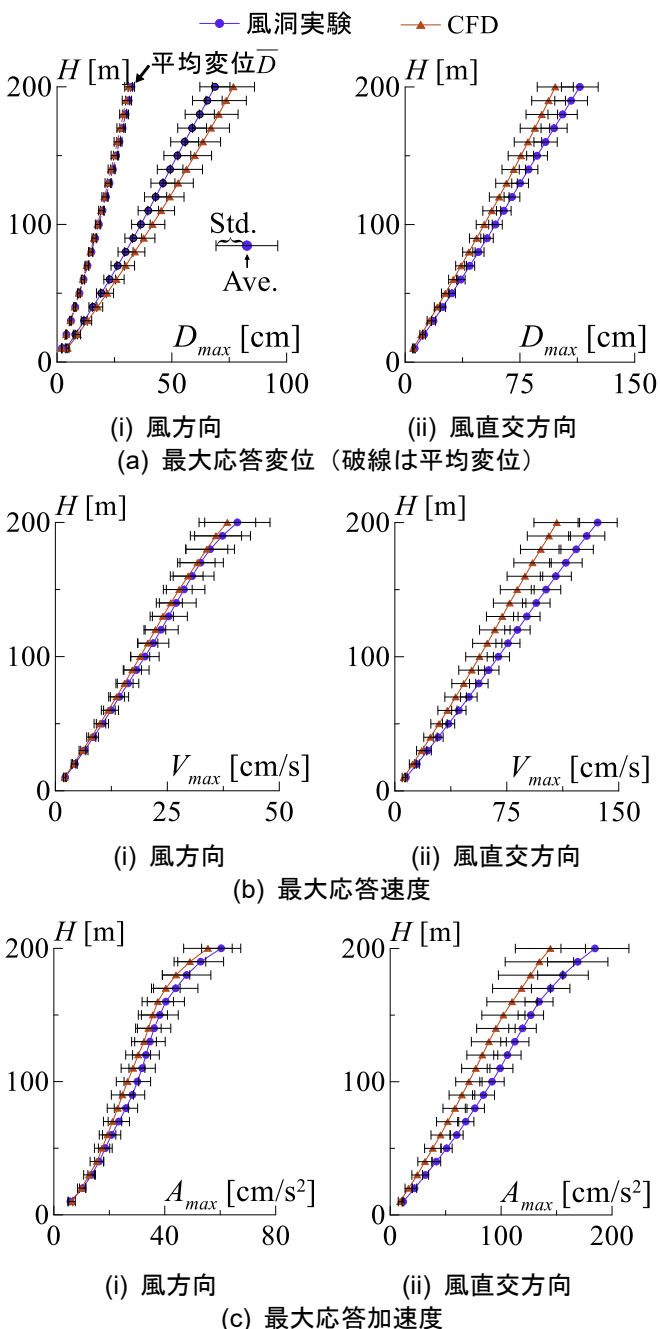


図 4 風洞実験と CFD の風応答比較

3.2 最大応答値比較

図 4(a)~(c)に風洞実験および CFD から作成した風力による各層の最大変位 D_{max} と最大速度 V_{max} および最大加速度 A_{max} をそれぞれ示す。図 4(a)~(c)の(i)より、風方向では CFD の風力による最大応答は風洞実験の風力による最大応答と同等であることが確認できる。本報その 1 の 5.3 節にて、CFD の風方向風力の標準偏差は風洞実験の風方向風力の標準偏差より大きいことを確認した。つまり、風方向の最大応答は風力の標準偏差と異なる傾向であった。また、図 4(a)(i)から最大変位に占める平均変位の割合が CFD の方が小さいことが分かる。つまり、CFD による風力は風洞実験の風力より応答変位に対する平均成分の影響が

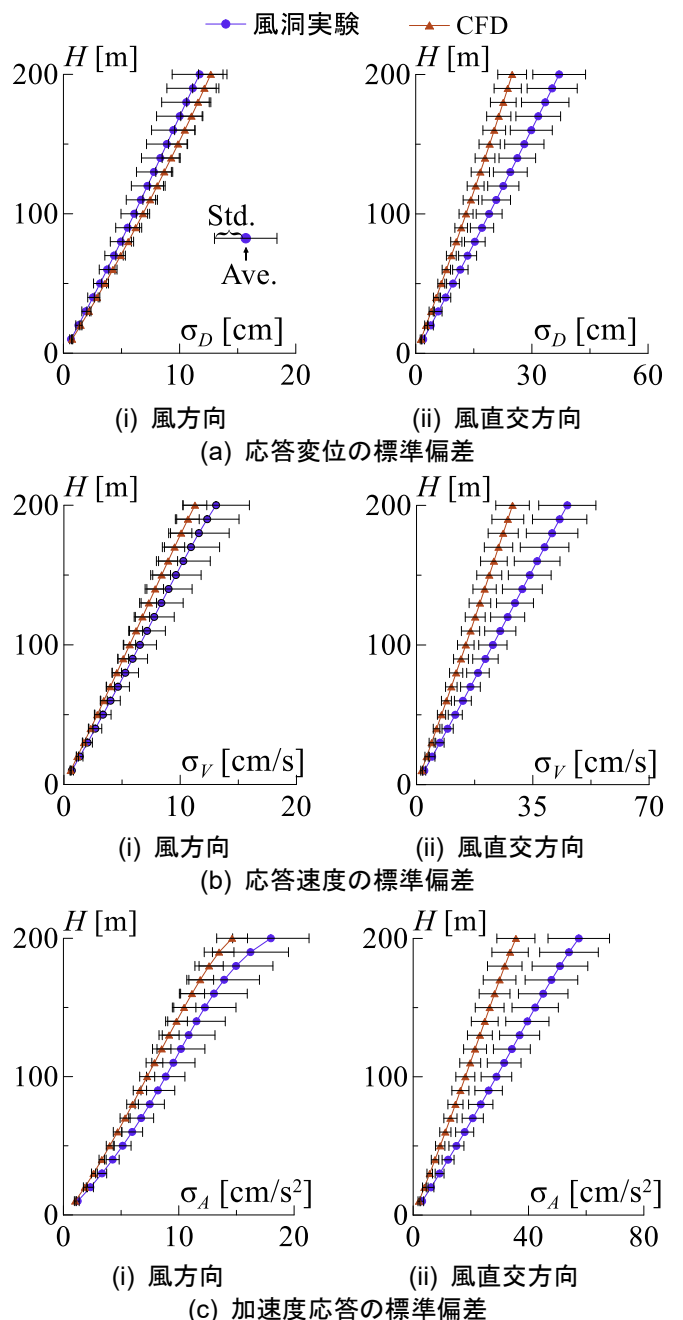


図 5 風洞実験と CFD の応答の標準偏差比較

少ないと考えられる。

一方、風直交方向では、図 4(a)~(c)の(ii)より、CFD の風力による最大応答は風洞実験の風力による最大応答より小さいことが確認できる。本報その 1 の第 5 章にて、CFD の風直交方向風力の標準偏差は風洞実験の風直交方向風力の標準偏差より小さいことを確認した。つまり、風直交方向の最大応答は風力の標準偏差と同様の傾向であり、風直交方向の最大応答の差は風力の標準偏差の差の影響であると考えられる。

3.3 応答の標準偏差比較

図 5(a)~(c)に風洞実験および CFD から作成した風力による各層の変位の標準偏差 σ_D と速度の標準偏差 σ_V および加速度の標準偏差 σ_A をそれぞれ示す。

風方向において図 5(a)(i)より、 σ_{DC} は σ_{DT} より大きいことが分かる。また、図 5(b)と(c)の(i)より、 σ_{VC} および σ_{AC} は、それぞれ σ_{VT} および σ_{AT} より小さいことが分かる。また、本報その 1 の 5.3 節にて、CFD の風方向風力の標準偏差は風洞実験の風方向風力の標準偏差より大きいことを確認した。つまり、風方向の応答の標準偏差は応答変位の標準偏差に限り、風方向風力の標準偏差と同様の傾向を示した。このことから、風方向における変位の標準偏差の差は風力の標準偏差の差の影響であると考えられる。

一方で風直交方向では図 5(a)から(c)の(ii)より、CFD による全ての応答の標準偏差は風洞実験による全ての応答の標準偏差より小さいことが確認できる。本報その 1 の 5.3 節にて、CFD の風直交方向風力の標準偏差は風洞実験の風直交方向風力の標準偏差より小さいことを確認した。つまり、風洞実験および CFD による風直交方向の全ての応答の標準偏差は風直交方向の風力の標準偏差と同様の傾向であり、風直交方向における全ての応答の標準偏差の差は風力の標準偏差の差の影響であると考えられる。

3.4 応答のピークファクター比較

図 6 に風洞実験および CFD の風力による各層の変位のピークファクター g_D と速度のピークファクター g_V および加速度のピークファクター g_A をそれぞれ示す。

図 6(a)~(c)の(i)より、風方向では、下層にて g_{AC} が g_{AT} より大きくなるものの CFD の風力による全ての応答のピークファクターは風洞実験の風力による全ての応答のピークファクターと同等であることが確認できる。本報その 1 の 5.4 節にて CFD の風方向風力のピークファクターは風洞実験の風方向風力のピークファクターと同等であることを確認した。つまり、風方向での全ての応答のピークファクターと風力のピークファクターは同様の傾向であり、風方向において、全ての応答のピークファクターの差は風力のピークファクターの差の影響であると考えられる。

一方で図 6(a)~(c)の(ii)より、風直交方向において CFD の風力による応答のピークファクターは風洞実験の風力による応答のピークファクターより大きいことが分かる。

本報その 1 の 5.4 節にて CFD の風直交方向風力のピークファクターは風洞実験の風直交方向風力のピークファクターより大きいことを確認した。つまり、風直交方向における全ての応答のピークファクターと風力のピークファクターは同様の傾向であるため、風直交方向における全ての応答のピークファクターの差は風力のピークファクターの差の影響であると考えられる。

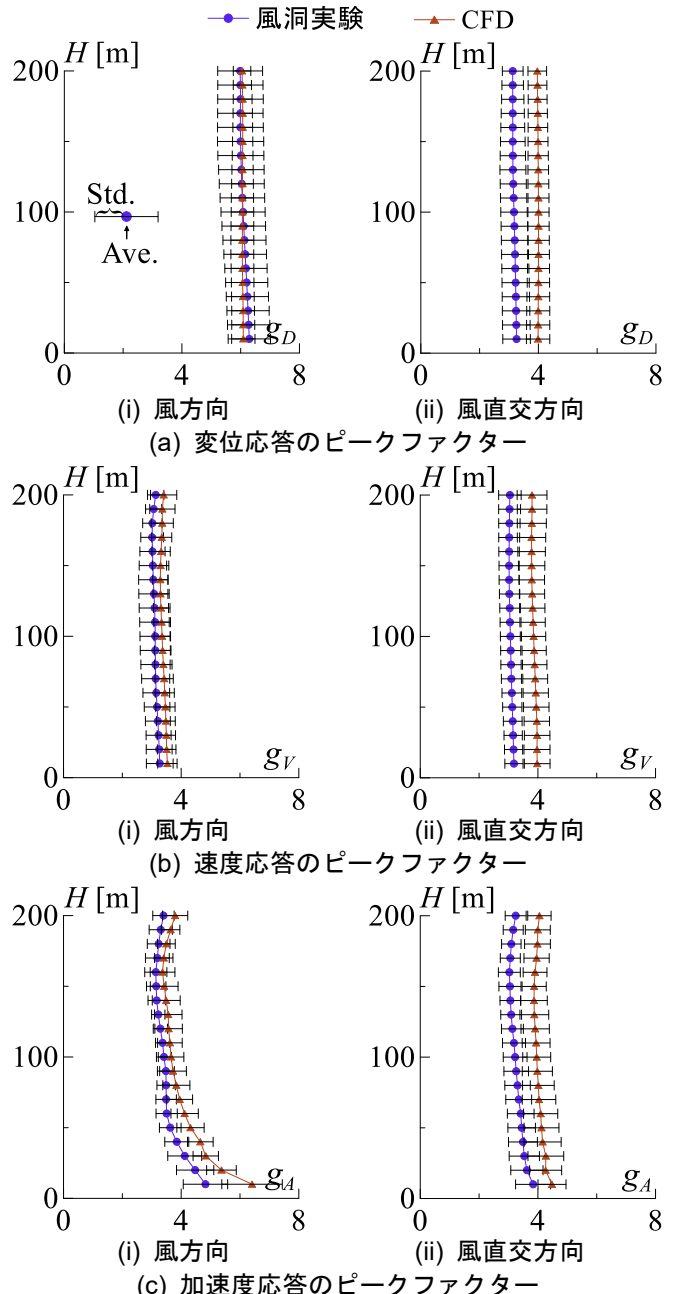


図 6 風洞実験と CFD の応答のピークファクター比較

4. 風洞実験と CFD の総合評価

表 1 に本報その 1 に示した風洞実験および CFD を用いて作成した風方向風力の平均値と風力の標準偏差の比較結果と、本報にて示した風洞実験および CFD による風力を用いて時刻歴応答解析を行った場合の風方向の応答変

表 1 風洞実験結果と CFD 結果の比較（風洞実験を基準として評価）

	風力			変位				速度			加速度		
	μ	σ	g	μ	max	σ	g	max	σ	g	max	σ	g
風方向	同等	大	同等	同等	同等	大	同等	同等	小	同等	同等	小	同等
風直交	-	小	大	-	小	小	大	小	小	大	小	小	大

位の平均値，最大応答，応答の標準偏差およびピークファクターについての比較結果をまとめて示す。表内では平均値を μ ，最大応答をmax，標準偏差を σ ，ピークファクターを g とし，風洞実験の値と比べてCFDの値が大きい場合は「大」，小さい場合は「小」，同等である場合は「同等」と表記する。

まず風方向について，表1より，風力の平均値と応答変位の平均値の関係，風方向風力のピークファクターと全ての応答のピークファクターの関係はどちらも同等であり，風方向風力の平均値およびピークファクターが風方向変位の平均値および全ての応答のピークファクターに影響していることが分かる。しかし，風方向風力の標準偏差はCFDの値のほうが大きい，風洞実験およびCFDの風力による風方向の全ての最大応答は同等，速度と加速度の標準偏差はCFDの値が小さいと傾向が異なる。つまり，風方向風力の標準偏差の差による風方向の最大応答，速度と加速度の標準偏差への影響は確認できなかった。また風方向では，CFDの風力による応答は風洞実験による値と同等のものが多く，CFDの風力による応答は風洞実験の風力による応答とよく対応していると言える。

次に風直交方向では，表1より，風直交方向風力の標準偏差はCFDの値が風洞実験の値より小さく，風直交方向の全ての最大応答および応答の標準偏差でも同様の傾向である。つまり，風直交方向において，全ての最大応答および応答の標準偏差の差は風洞実験とCFDの風力の標準偏差の差の影響であると考えられる。また風直交方向風力のピークファクターでは，CFDの値は風洞実験の値より大きく，風直交方向の応答のピークファクターでも同様の傾向である。つまり，風洞実験とCFDの全ての応答のピークファクターの差は風洞実験とCFDの風力のピークファクターの差の影響であると考えられる。また風直交方向では，CFDの風力による応答と風洞実験の風力による応答に差が見られるが，風力の傾向とそれらによる風応答の傾向が一致することが分かる。

5. おわりに

本報その2では，風洞実験結果およびCFD結果から作成した風力を用いて時刻歴応答解析を行い，風方向の変

位の平均値，両方向の最大応答と応答の標準偏差およびピークファクターについて比較したのち，本報その1にて示した風力特性との関連性を確認した。

まず，風洞実験およびCFDによる風力の風応答について，風方向では概ね同等であり，風直交方向ではCFDの値は風洞実験の値より小さい傾向があった。続いて，風力と応答の関係について，風方向風力の平均値と風方向の平均変位，風方向風力のピークファクターと風方向の応答のピークファクターについて，風力と応答の傾向が一致したが，風方向風力の標準偏差と風方向の最大変位および応答の標準偏差では風力と応答の傾向は異なることを確認した。さらに，風直交方向風力の標準偏差と風直交方向の最大応答および応答の標準偏差，風直交方向の風力のピークファクターと風直交方向の応答のピークファクターについて，風力と応答の傾向が一致することを確認した。今後，高次モードの影響や履歴型ダンパーを付与した弾塑性系についての比較を予定している。

謝辞

本報告は，株式会社竹中工務店，東京工業大学佐藤研究室との共同研究であり，本研究の一部は，文部科学省「富岳」産業機動的課題の一環としてスーパーコンピュータ「富岳」の計算資源の提供を受けて実施しました。（課題番号：hp210292）ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 日本建築学会，建築物荷重指針を活かす設計資料2—建築物の風応答・風荷重評価/CFD適用ガイド—，2017
- 2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015
- 3) 田村哲郎，近藤宏二，片岡浩人，河合英徳：“数値流体計算による実建築物の風荷重評価”，第24回風工学シンポジウム論文集，pp.253-258，2016
- 4) 酒井佑樹，野津剛，伊藤靖晃，田村哲郎：“複雑表面形状を有する高層建築物の隅角部の風荷重評価のためのLES”，第25回風工学シンポジウム論文集，pp.241-246，2018
- 5) 平塚紘基，佐藤大樹，田中英之：変動風力を受ける超高層制振建物の弾塑性風応答予測 その1 風洞実験気流特性および風力特性に関する検討，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.313-316,2021.3
- 6) Tanaka, H., Tamura, Y., Ohtake, K., Nakai, M., Kim, Y.C. and Bandi, E.K. (2013). Aerodynamic and Flow Characteristics of Tall Buildings with Various Unconventional Configurations. International Journal of High-Rise Buildings, Vol.2, No.3, p213-228.

*1 学生会員 東京工業大学 大学院生

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology*1

*2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士（工学）

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

*3 株式会社竹中工務店 技術研究所

Research & Development Institute, Takenaka Corporation.*3