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)	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)	
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)	, , , рр. 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	

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, <math>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_{fi} 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



Time history analysis of a high-rise building using wind force obtained from wind tunnel experiments and CFD Part2 Comparison of Responses

正会員 〇	沖村将大*1	正会員	*2 佐藤大樹
]]	*3 田中英之	11	*3 曽根孝行
11	*3 渡井一樹]]	*3

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。



OKIMURA Masahiro, SATO Daiki, TANAKA Hideyuki SONE Takatuki, Watai Kazuki, AZEGAMI Yasuhiko

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。

3.2 最大応答值比較

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 Dmax と最大速度 Vmax および最大加速度 Amax 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

 $\sigma_D |cm|$

 $\sigma_V [cm/s]$

 $\sigma_A [cm/s^2]$

80

40

70

35

60

30



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 カ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_4 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。



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

	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

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)

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が、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

- 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
- 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
- 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	
---------------------	--

*2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)

*3 株式会社竹中工務店 技術研究所 Re

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology *1

Associate Professor, FIRST, Tokyo Institute of Technology, $\rm Dr.Eng^{*2}$

Research & Development Institute, Takenaka Corporation.*3