

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風洞実験および CFD の風力を用いた超高層建物の応答比較 その 1 気流特性および風力特性の比較
Title(English)	Comparison of response of high-rise buildings using wind tunnel tests and CFD wind forces Part 1 : About airflow and wind characteristics
著者(和文)	今野大輔, 沖村 将大, 佐藤 大樹, 田中 英之, 曽根 孝行, 渡井 一樹
Authors(English)	Daisuke Konno, Masahiro Okimura, Daiki Sato, Hideyuki Tanaka, Takayuki Sone, Kazuki Watai
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 141-142
Citation(English)	, , , pp. 141-142
発行日 / Pub. date	2023, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

風洞実験および CFD の風力を用いた超高層建物の応答比較
その 1 気流特性および風力特性の比較

風洞実験	CFD	超高層建物
風力特性	気流特性	

正会員	○今野 大輔*3	正会員	沖村 将大*1
同	佐藤 大樹*2	同	田中 英之*3
同	曾根 孝行*3	同	渡井 一樹*3

1. はじめに

近年の台風の激甚化や施工技術の発展に伴う建物のさらなる高層化により、建物に作用する風力の増大が予想されるため、耐風設計の重要性が増している。超高層建物における風荷重の評価には、一般的には風洞実験が用いられるが、近年の計算能力の著しい向上に伴い、建築物の耐風設計への数値流体計算（以下 CFD）の実用化が進められている。風洞実験では模型や装置の規模により再現される現象に限界があるが、CFD は計算領域等に配慮すれば、さまざまなスケールの事象が再現可能である¹⁾。既往研究において大規模な Large Eddy Simulation(LES)による建築物の風荷重評価の検討が行われている^{例えば 2)}。しかし、これらは風洞実験と CFD の風圧係数の比較に留まる。そこで本報では辺長比 $B/D=1.0$ 、アスペクト比 $H/B=5.0$ (B, D : 建築物の幅, 奥行) の超高層建物を想定した風洞実験および CFD から風力および応答の比較を行い、応答へ影響する風力特性について分析し、風力の評価を行う。本報その 1 では、気流特性および風力特性の比較を行う。風力特性は、風力の平均成分を表す平均値、変動成分を表す標準偏差に着目する。その際、風洞実験の値を基準として CFD の値の大小関係の評価し、CFD の値と風洞実験の値の比 (CFD の値/風洞実験の値) も明記する。なお、本報にて添え字の C は CFD の値、 T は風洞実験の値を表す。

2. 風洞実験概要³⁾

使用した模型は対象建物と同じ $H/B=5.0$ 、 $B/D=1.0$ の正方形角柱である。風向角は、正方形角柱の面に正対する角度を 0° とし、反時計回りに 5° 毎の 72 方向で計測した。層風力の測定点は、9 層とする。風洞実験は、閉鎖型回流境界層風洞を用いて行った。実験気流は荷重指針⁴⁾の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に、スパイヤーとラフネスブロックを用いて作成した。風圧の測定には多点同時風圧測定システムを使用した。風力係数および風圧係数を算定するための基準速度圧は、ピトー管により測定された境界層外の速度圧を平均風速の鉛直分布に基づき基準高さでの速度圧に換算した値を用いている。また、収録された風圧データはチューブ系の周波数応答特性に基づき補正した。風圧実験の測定条件はサンプリング間隔 1000 Hz、データ数 65536 個 (測定時間 65.536 秒)、ローパスフィルタ 500 Hz とした。

3. CFD 概要⁵⁾

表 1 に CFD の計算手法を、表 2 に計算条件をそれぞれ示す。表 2 の計算条件は CFD 適用ガイド¹⁾を満たすものとなっている。流入境界条件として与えた変動風はスパイヤーやラフネスブロック等を再現した風洞モデルにおける別途計算にて生成した。モデルは風洞実験と同じ $H/B=5.0$ 、 $D/B=1.0$ を用いる。風圧のサンプリング位置は風洞実験と同じ位置座標に設定し、サンプリング周波数も実験と同じ 1000 Hz とした。

表 1 計算手法

解法	有限差分法
計算コード	Kazamidor [®]
流体式	Navier-Stokes 方程式
乱流モデル	Large Eddy Simulation (LES)
SGS モデル	コヒーレント構造 Smagorinsky
空間離散化	2 次精度中心差分
時間進行法	3 次 Adams-Bashforth method Crank-Nicolson method
圧力解法	残差切除法
格子システム	不等間隔直交格子法

表 2 計算条件

計算領域	風方向および風直交方向: 37.5B 鉛直方向: 5.25H
計算格子数	約 1500 万
最小格子幅	0.008B
評価時間	実時間 10 分間相当×5 波
時間刻み	1.00E-5 秒
流入境界	別途計算した流入変動風 (図 1(a)(b)) $U_H = 10.0\text{m/s}$
流出境界	移流境界条件
側・上方境界	勾配 0 条件
床・壁面境界	壁関数 (2 層モデル)

4. 気流特性の比較

図 1(a)に風洞実験および CFD の平均風速 U_z を示す。同図に黒線で荷重指針⁴⁾に基づき算出した U_z を併記する。縦軸は風速の測定高さ Z を実験模型および CFD 解析モデル頂部高さ H で基準化した高さとする。図 1(a)から U_{zc} は荷重指針の値および U_{zt} と精度よく一致している。図 1(b)に風洞実験および CFD の乱れ強さ I_z を示す。同図に黒線

で荷重指針⁴⁾に基づき算出した I_Z を併記する。図 1(b)より、 I_{ZC} は上層で荷重指針の値を上回るが概ね一致し、 I_{ZI} とは下層で少し小さいが、概ね一致する。

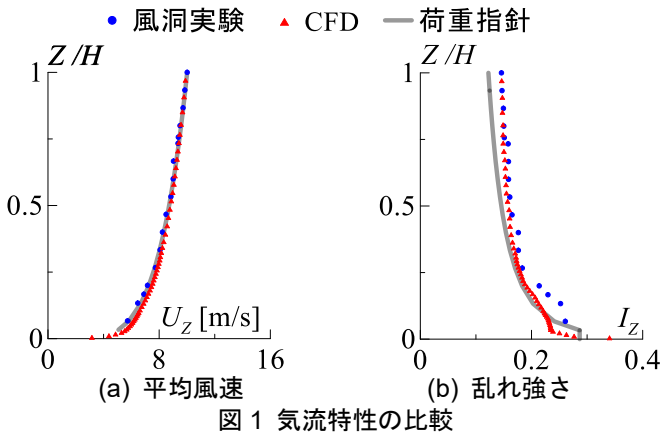


図 1 気流特性の比較

5. 層風力の比較

5.1 風力概要

本報では、高さ $H = 200$ m, $B = D = 40$ m の超高層建物を対象とした 10 質点せん断型モデルを用いる。建物モデルの詳細は本報その 2 を参照されたい。

風力は、風洞実験および CFD により得られた層風力係数データを対象建物における基準風速 36 m/s での再現期間 500 年風力へ変換を行った。なお、小地形の影響、季節係数および風向係数の影響は考慮していない。また、風向角は 0° とし、1 組につき 10 質点分の波形を 0.05 秒刻み 14000 (700 s) ステップとし、5 組ずつ取り出した。なお、取り出した風力の前後の 50 s に時刻歴応答解析における過渡応答の影響を避けるためのエンベロープを設けているため、中間の 600 s で風力特性の評価を行う。図 2(a)に風方向、(b)に風直交方向における振動数 f での風力のパワースペクトル密度 (風方向: $S_{FD}(f)$, 風直交方向: $S_{FL}(f)$) を示す。なお、図中の破線は建物の 1 次固有振動数 $1/f$ を表す。以降、風力評価は 5 波それぞれを入力した場合のアンサンブル平均 (Ave.) とし、エラーバーは 5 波の標準偏差 (Std.) を表す。

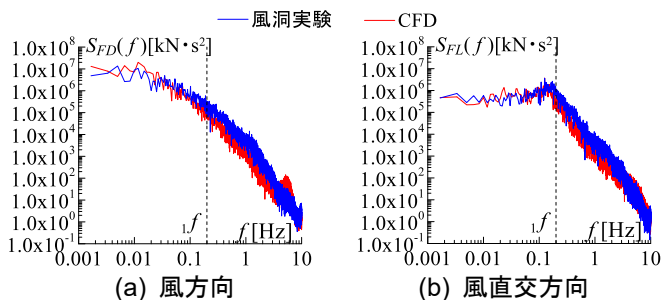


図 2 風力のパワースペクトル密度 (最上層)

5.2 風方向風力の平均値

図 3 に風洞実験および CFD による風方向風力の平均値 $\bar{F}$ を示す。図 3 より、 $\bar{F}_C$ は $\bar{F}_T$ より小さいが、その比 ($\bar{F}_C/\bar{F}_T$) は最も差の大きい 10 層目で 0.93 であり、差はほとんどないと考ええる。

5.3 風力の標準偏差

図 4(a)(b)にそれぞれ風方向および風直交方向における風洞実験および CFD による風力の標準偏差 σ_F を示す。図 4(a)より、風方向における σ_{FC} は σ_{FT} より大きく、その比 (σ_{FC}/σ_{FT}) は最も差の大きい 8 層目で 1.30 である。図 4(b)より、風直交方向における σ_{FC} は σ_{FT} より小さく、その比 (σ_{FC}/σ_{FT}) は最も差の大きい 1 層目で 0.73 である。

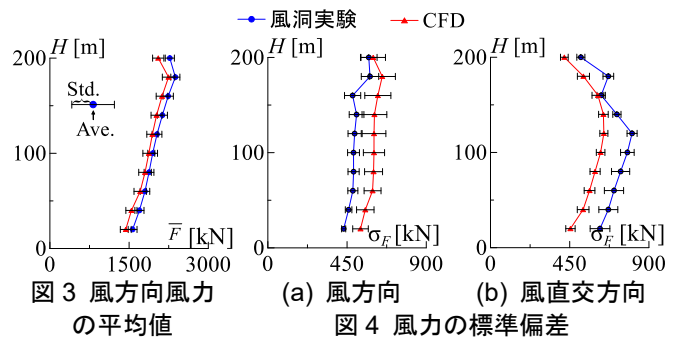


図 3 風方向風力の平均値

図 4 風力の標準偏差

6. まとめ

本報その 1 では検討に用いる CFD と風洞実験の概要を示したのち、CFD と風洞実験の気流特性および風力特性について比較した。以下にまとめを示す。

- ・ CFD の平均風速および乱れ強さは荷重指針および風洞実験の値と概ね一致する。
- ・ CFD の風方向風力の平均値は風洞実験の値より小さいが、差はあまりない。
- ・ CFD の風力の標準偏差は、風洞実験の値と比べ、風方向で大きく、風直交方向で小さい。

本報その 2 では CFD の風力と風洞実験の風力による応答の大小関係の確認と風力からの分析を行う。

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) 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
- 3) 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
- 4) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2015
- 5) 沖村将大, 佐藤大樹, 田中英之, 曽根孝行, 渡井一樹, 畔上泰彦: 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 1 気流特性および風力特性の比較, 日本建築学会関東支部研究報告集, I, pp.493-496, 2023.2

謝辞はその 2 にまとめて示す。

*1 東京工業大学 大学院生

*2 東京工業大学科学技術創成研究院 准教授・博士(工学)

*3 株式会社竹中工務店

*1 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

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

*3 Takenaka Corporation