

積雪寒冷都市における雪CFDを用いた超高層ビルの風雪環境評価

-積雪寒冷都市における都市デザイン その26-

積雪寒冷都市 風雪シミュレーション CFD

超高層ビル 札幌JRタワー 積雪調査

正会員 ○道野 貴光 *
同 瀬戸口 剛 **
同 渡部 典大 ***
同 大槻 政哉 ****

1. 背景と目的

近年の都市への人口集中に伴い、都心の高度・複合利用化を前提とした超高層建築による都市再開発が増加している。超高層建築はその巨大なヴォリュームにより周辺環境に大きな影響を及ぼすことが知られており、風環境については様々な対策が取られ、計画時の環境評価も必須とされている。しかし、雪環境については、これまで積雪寒冷都市における超高層建築物の例が少ないことから、その課題特性を把握しきれておらず、対策も経験を用いながらの試行錯誤が繰り返されている状況にある。

本研究では、CFD(Computational Fluid Dynamics)による風雪シミュレーション(以下、雪CFD)を用いて積雪寒冷都市の実在する超高層建築物の積雪分布状況を把握することで、積雪寒冷都市における超高層建築物の風雪環境の課題及びその対策方針を明らかにすることを目的とする。さらに、雪CFD結果と実地測量(以下、実測)調査から得られる積雪分布の結果を比較することで、雪CFDにより雪環境の課題を解析しながら超高層建築の設計へと反映する計画設計手法を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本論では、①超高層建築物における積雪分布状況を把握するために、実在の建築物を対象とする。②吹雪時の環境条件を定め、対象範囲に対して雪CFDを行う。③積雪状況の結果を整理し、④吹き溜まりや雪庇が生じる箇所を把握する。⑤その結果と実地測量の積雪分布を比較し、⑥雪CFDを用いた超高層建築の計画設計手法を明らかにする。

3. 対象建築物の選定(図1)

世界でも有数の積雪寒冷都市である札幌の都心において現存する建築物の中で、最高高さを有する「札幌駅JRタワー」(高さ173m)とそれに接続する「札幌ターミナルビル(ESTA札幌)」、「札幌ステラボレイス」を対象とした。

4. 雪CFDの概要と設定

雪CFDは、OpenFOAMv1912を使用しRANSモデルに基づく定常解析を行った¹⁾²⁾。解析領域の広さは2400m(x)×1800m(y)×

900m(z)とし、乱流モデルは標準k-εモデルとした。吹雪継続時間28.3時間^{注1)}、風速は8.5m/s^{注2)}(高さ59.5m地点)、降雪量は0.5cm/h(降水量0.5mm/h^{注2)})、風向は過去10年間の気象データ^{注3)}より北西、西北西、北北西とした。また、地表面粗度区分よりべき指数αを0.35^{注4)}とした。街区モデルはPLATEAUのオープンデータ^{注4)}を用いて、一部修正を加えて^{注5)}作成した(図1)。

5. 雪CFD解析結果と考察

雪CFD解析の結果(図2)より、特徴的な積雪分布を持つ箇所が4つ確認された。

ア)JRタワー屋上(ヘリポート下):3風向で3m以上の積雪が見られた。これは強風が雪を運び、屋上の高さ2.7mのパラペットに衝突することで吹き溜まりが生じたためと考えられる。パラペットを超える積雪は雪庇を生じさせる可能性があり、危険である。実際にこの箇所では吹き溜まりの発生が報告されている^{注6)}。

イ)JRタワー中層部南東側:3風向で1~2m程度の積雪が観測された。これはJRタワーにより風が遮られ風が弱くなることで運ばれてきた雪が風下側に積もり吹き溜まりが生じたと考えられる。特に北西風向では、風が風上側2側面の壁に衝突するため風の影響を受けにくい風下側全面に2m近い積雪が見られた。

ウ)エスタ屋上:各風向の風下に0.2m~1m程度の積雪が見られた。北北西風向では、屋上全体に満遍なく積雪が見られた。これは、北北西から見てJRタワーの背後に位置するエスタはJRタワーによって風が遮られ風が弱くなるためだと考えられる。特に屋上東側では雪庇が生じ落下する危険性がある。実際にこの箇所では雪庇が確認されている^{注6)}。

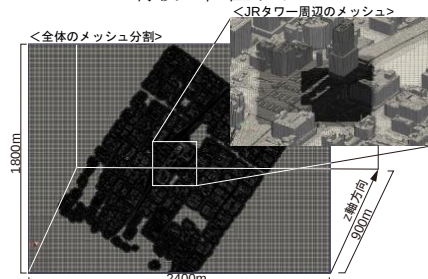


図1 雪CFDメッシュ分割

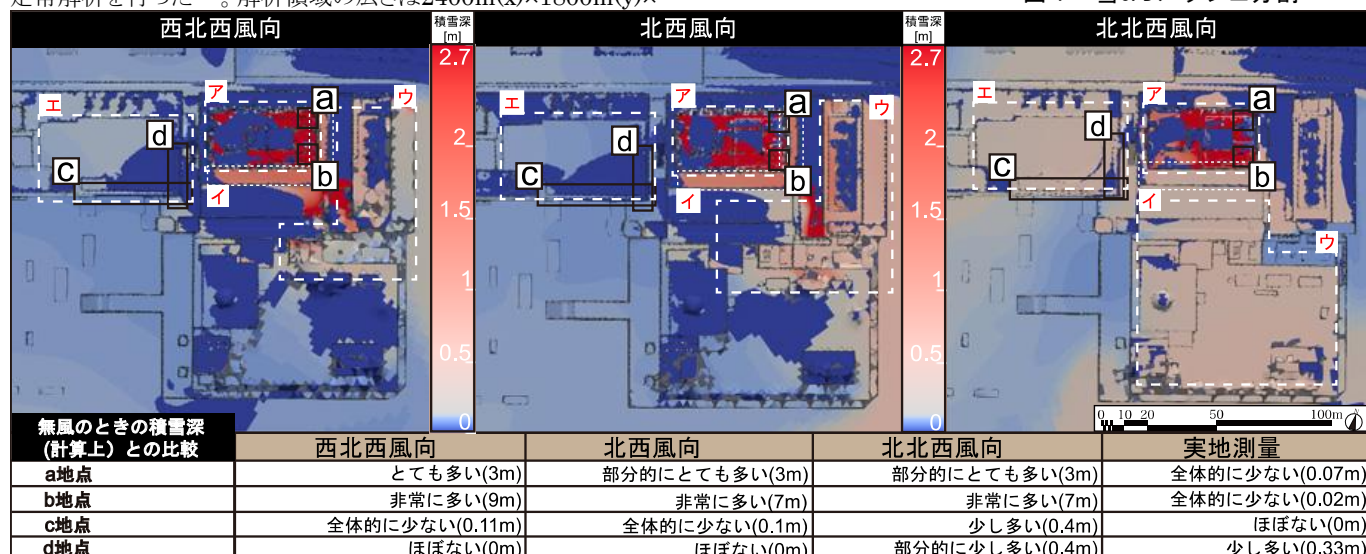


図2 風雪シミュレーション 風向別結果

Evaluation of Snow and Wind Environment of the Skyscraper using Snow CFD Simulation in Winter Cities
-Urban Design on Winter Cities #26-

MICHINO Takahiro

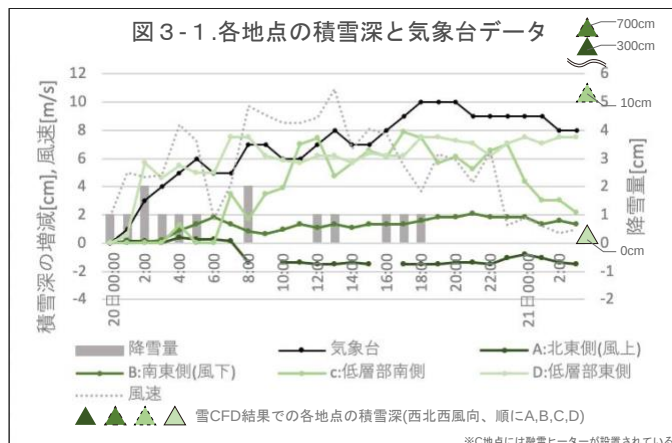


図3 カメラによる実地測量の結果

イウ)の結果から、超高層ビルの風下側は雪が溜まりやすいと考えられる。この点において、JR タワーの風下に位置する低層のエスタ屋上はその積雪を受け止める役割を担っており、人や車の移動など地上の活動を超高層ビルによる積雪の障害から守っているという考え方ができる。

エ)ステラプレイス CENTER 屋上(そらのひろば)南東側:北北西風向において、ステラプレイス屋上のうち南東側で 0.4m 程度の比較的多い積雪が確認できる。一方、北西風向と西北西風向では南東側の積雪が少ない。

このことから、北側から風が長く吹いた場合、南側のパラペット手前に吹き溜まりができると考えられる。よって風向によってはこのパラペットに雪庇が生じ、札幌駅の南東側の入口付近に落雪を生じる危険性がある。

6. 実測の方法と参考結果

6-1. 測量方法

①カメラによる定点観測と②レーザー機器による測量を行った(図4)。カメラは4箇所(図2・3)を撮影した。レーザーは間に1度「そらのひろば」(図2中「エ」の範囲)を上方から測量した。測量期間は、2022/12/15-2023/4/5とし、冬季の積雪を記録する。



図4 測量機器

6-2. 実測結果

測量期間の実測結果のうち、気象条件が雪CFDの設定条件に最も近い2/20-2/21の積雪深の増減の結果を図3-1に示す。実測における平均風速は雪CFDの設定条件より3.1m/s小さいが、風向・降雪量は概ね一致している。

定点カメラからは、特定の箇所の積雪深や1時間ごとの積雪形状の遷移を抽出できる(図3-1)。例えば、D:低層部南側は風速が5m/s以上のとき積雪深は増加せず、風速がそれ以下のときに積雪深が増加していることがわかる。加えて、北西風向の結果(8.5m/s)と比較して積雪深が大きい。これより風が弱いときに積雪深が多くなる箇所があることがわかる。また、A:北東側(風上)と比較してB:南東側(風下)の方が積雪深は増加しており、積雪深は異なるものの雪CFDの傾向と一致した。

レーザー測量からは、全体の積雪形状すなわち吹き溜まり発生箇所及び積雪深、総体積を抽出でき、雪CFDの結果が示す吹き溜まり箇所との位置や程度の比較ができる(図5)。

7. 結論

雪CFD解析及び実測結果から、積雪寒冷都市における超高層ビルの風雪環境について、次の4点を明らかにした。

- * 北海道大学大学院工学院 修士課程
- ** 北海道大学大学院工学研究院 教授 博士(工学)
- *** 北海道大学大学院工学研究院 助教 博士(工学)
- **** 株式会社雪研スノーイーターズ 修士(学術)

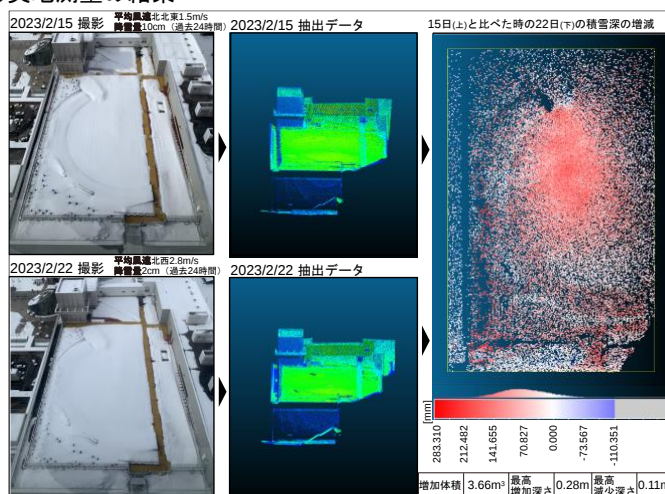
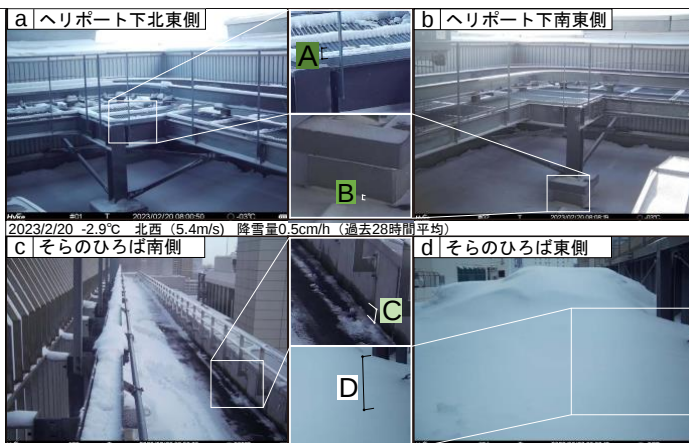


図5 レーザー測量結果

1)雪CFDの結果から、吹雪時、超高層ビル屋上及びその周辺では、風下側にパラペットを超える吹き溜まりが発生し、雪庇が落雪する危険性がある。

2)雪CFDは吹雪時の優位の風向を対象に行うことで、対象の超高層ビルが及ぼす吹き溜まりの範囲や程度、雪庇のリスクの有無を予測することができる。

3)実測結果から、風が弱いときに雪が多く積もる箇所もある。そのため積雪状況の予測には、風が強い場合以外に、風が弱い場合を条件とする雪CFD解析も必要である。

4)このように、雪CFDと実測の結果を比較することで、超高層ビルにおける積雪による危険箇所を包括するために必要な雪CFDの環境条件を明らかにできる。明らかにした環境条件を設定した雪CFDの解析結果からは、吹き溜まりの発生しうる箇所や程度、雪庇発生リスクの有無を分析でき、その超高層ビルが雪環境に関して安全かどうかを明らかにできる。

今後の展開として、異なるビルに対しても雪CFD・実測調査を行い研究のデータ数を増やすことで、雪CFDを用いて積雪に配慮した、積雪寒冷都市における超高層ビルの設計手法の構築を目指す。

【注釈】注1)過去10年間の札幌における継続時間19時間以上の吹雪11回の平均吹雪継続時間 注2)設定風向の吹雪発生時における平均風速・降水量を参考 注3)2012年12月-2022年3月の過去10年間の気象庁データより、日降雪5cm以上の最多風向 注4)2022/9/25現在のデータを使用 注5)反映されていない形状や計算が分散する空隙を修正 注6)札幌駅総合開発株式会社インタビューより
【参考文献】1) T. Uematsu, T. Tanaka, K. Takeuchi, Y. Arisawa, and Y. Kaneda(1991): Three-dimensional simulation of snow-drift, Cold Regions Science and Technology, 20, 65-73. 2)大風翼, 持田灯, 富永積寿, 吉野博, 伊藤優: 雪粒子の流れ場への影響を組み込んだ新たな飛雪モデルの提案, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp73-78, 2008.12 3)日本建築学会: 都市の風環境予測のためのCFDガイドブック, 日本建築学会, 2020

Master Course, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng
Assist. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng
Yukiken Snow Eaters Co., Ltd, M.A.