

積雪寒冷都市の都市デザインプロセスに向けた雪 CFD と風洞実験の有用性評価 積雪寒冷都市における都市デザイン その 22

積雪寒冷都市 風雪シミュレーション
都心オープンスペース CFD 風洞実験

正会員 ○近藤 縁*1 正会員 村田 知謙*4
同 瀬戸口 剛*2 同 堤 拓哉*5
同 渡部 典大*3 同 大槻 政哉*6

1. 研究の背景と目的

積雪寒冷都市において都心開発を行う際、特に冬期における風雪環境を考慮する必要がある。風雪環境評価の一手法である風雪シミュレーション（以下、風雪 S）は主に風洞実験によって行われてきた^{1) 2)}。一方、風シミュレーションの分野で既に実用されている風速分布の CFD（Computational Fluid Dynamics）は解析技術の向上に伴い、風雪 S への応用も進められている。大槻ら³⁾は積雪分布の CFD（以下、雪 CFD）を用いた風雪 S によって戸建住宅屋根上の積雪分布を予測しているが、街区規模での積雪分布を雪 CFD によって予測した研究は少ない。

本研究では、風雪シミュレーションプロセス（以下、風雪 SP）を用いた都市デザインプロセスの構築に向けて、雪 CFD と風洞実験の有用性を評価する。さらに評価から明らかになった雪 CFD と風洞実験の特性に基づき、計画プロセスと連動した風雪シミュレーションプロセス（以下、風雪 SP）を提案することを目的とする。

2. 研究の方法

本論では、①街区規模における雪 CFD の有用性を評価するために、実在の街区を対象敷地として選定する。②対象敷地に対して雪 CFD と風洞実験を行い、③双方の結果

を比較する。④評価視点を設定し、⑤雪 CFD の有用性を評価する。⑥⑤を考慮し、設計プロセスと連動した風雪 SP を提案する。

3. 対象敷地の選定（図 1）

積雪寒冷都市である札幌の都心において、都市計画広場に指定されており、屋外環境の考慮が重要な北三条広場（以下、広場）とその周辺を対象とした。

4. 雪 CFD と風洞実験の概要と設定

雪 CFD：解析アルゴリズムにおいて、乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデルを用いた^{注1)}。風速は 10m/s（59.5m 地点）^{注2)}とし、風向は過去 5 年間の気象データより北西^{注3)}とした。解析領域は 1000m(x) × 1000m(y) × 300m(z) とし、メッシュ分割は 163(x) × 171(y) × 112(z) とした。風洞実験：粉体装置を使用した。実験模型の縮尺は 1/500 とした。風速は 3.26m/s（59.5m 地点）^{注4)}とし、風向は雪 CFD 同様北西^{注3)}とした。

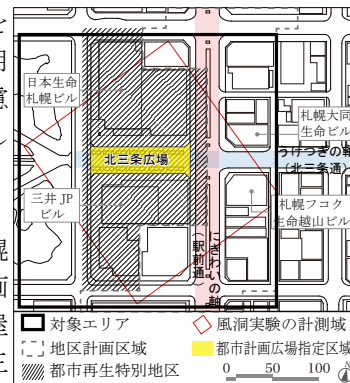


図 1 対象敷地

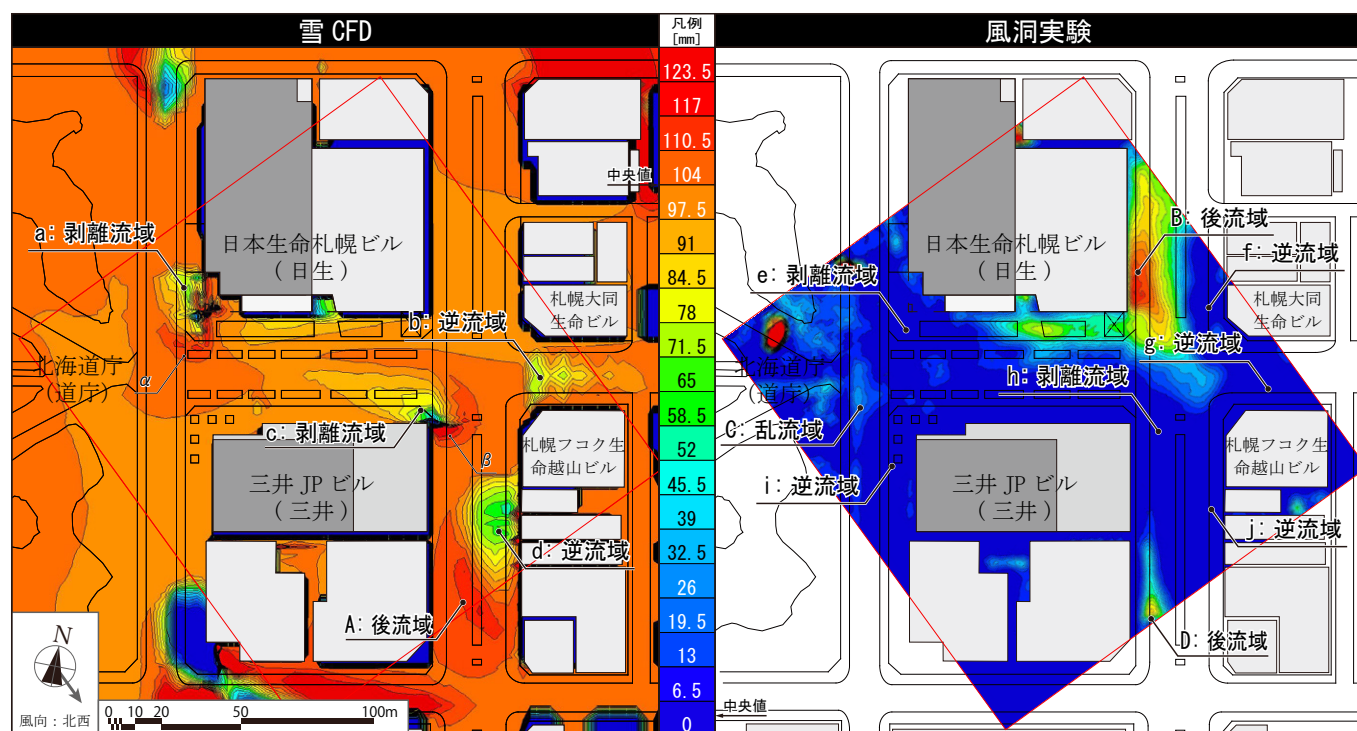


図 2 風雪シミュレーション結果

5. 雪 CFD 解析結果と風洞実験結果の比較（図 2）

建物形態・配置と積雪分布の因果関係を分析するため、ビル風が地上の風雪環境に強く影響を及ぼす流域 4 種（剥離流域、逆流流域、乱流域、後流域）に着目した⁴⁾。風の加速度と雪粒子の挙動の関係⁵⁾より、剥離流域と逆流流域は吹きはらいの要因とし、乱流域と後流域は吹きだまりの要因とした。雪の吹きはらいと吹きだまりについて位置、大きさ、深さの対応を比較した。

雪 CFD と風洞実験の比較より、共通して見られた流域は剥離流域 a と e、逆流流域 b と g、剥離流域 c と h、逆流流域 d と j の吹きはらいと、後流域 A と D の吹きだまりであった。これらの積雪分布傾向について、位置は対応した。吹きはらいの大きさは全て雪 CFD の方が小さく、形状と深さも対応しなかった。後流域 A と D の吹きだまりは大きさが対応したが深さは対応しなかった。風洞実験で現れた後流域 B と乱流域 C の吹きだまりは雪 CFD では見られなかった。また雪 CFD の剥離流域風下には吹きだまり（ α, β ）が見られた。

6. 考察

雪 CFD 解析結果と風洞実験結果の比較から、雪 CFD の有用性評価として、次の 3 点を明らかにした。

1) 雪 CFD における吹きはらいと吹きだまりの位置は風洞実験と概ね対応した。吹きはらいと吹きだまりが発生する位置を把握する上で雪 CFD は有用である。

2) 雪 CFD における吹きだまりと吹きはらいの大きさ、形状は風洞実験と対応しなかった。積雪深や詳細な積雪分布傾向を予測する上では雪 CFD 結果に加えて風洞実験結果を考慮する必要がある。

3) 雪 CFD は解析時間を短縮するほど結果の精度が下がる為、解析目的（位置、大きさ、形状）に応じて解析時間を検討する必要がある。

7. 雪 CFD を基軸とした風雪 SP の提案

積雪寒冷都市の都市デザインプロセスにおける、計画プロセスと連動した風雪 SP の開発に向けて、風洞実験に加えて雪 CFD を組み込んだ風雪 SP を提案する。

風洞実験と雪 CFD の比較より、あらかじめ雪 CFD の出力結果の誤差を把握することで、雪 CFD と風洞実験を適切に使い分けられることが明らかになった。以上より、プロセス内で通底する評価軸として雪 CFD を組み込む。詳細な積雪分布を把握するための手段として風洞実験を用いる（図 4）。

1) 風雪環境評価項目の設定：計画課題を設定する段階において、雪 CFD と風洞実験の誤差を位置、大きさ、深さの視点に基づいて把握する。①雪 CFD を行い、その結果から風洞実験の分析条件を把握する。②風洞実験を行い、雪 CFD 解析結果と比較し、積雪分布傾向の位置に大きな差が現れた際は、再度計算条件を改善して雪 CFD を行い、基本的な計算条件を確定させる。風洞実験結果と改善後の CFD 解析結果を基に、風雪環境評価項目を設定する。

2) スタディとの連動：ボリュームスタディ及び、形態のスタディを行う段階において、風雪 SP は出力結果の柔軟性と出力速度が求められる。この段階では、1) で把握した誤差を考慮した上で、雪 CFD を用いる。雪 CFD は出力できるデータの種類が多く、モデリングの時間、コストが低い。また計算条件（風速、風向、降水強度）を容易に変更できる。ボリューム検討、形態検討を風雪 SP と連動して段階的に行う。最良案に対しては、気象条件等を変更した複数案について雪 CFD を行う。

3) 定量的な評価：計画の最終段階において、風雪 SP は出力データの精度が求められる。風洞実験を用いる。

今後は、実際の計画においてこのプロセスを実践し、街区形態と風雪の影響を明示することによって、風雪の影響を低減する街区形態を開発する必要がある。

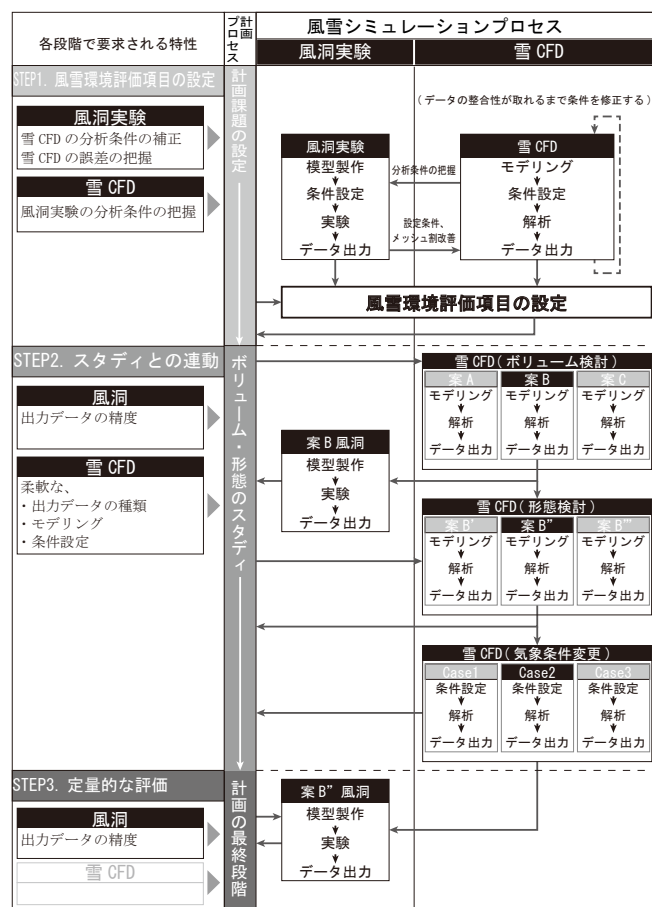


図 4 積雪寒冷都市の都市デザインプロセス

注釈：注 1) (株) 雪研スノーイーターズ所有の数値解析ソフトを使用 注 2) 風速のモデルとして吹雪時の最低風速を採用 注 3) 2014 年～2018 年の 12 月～2 月の気象庁データより、日降雪 5cm 以上の最多風向 注 4) 気象台風速計高さを考慮した流入風速
参考文献：1) 瀬戸口剛、堤拓哉：風雪シミュレーションを用いた高層建築街区と中層建築街区が周辺の公共空間に与える風雪環境評価、日本建築学会計画系論文集 No. 614, pp167-174, 2007.4 2) 渡部典大他：積雪寒冷都市における風雪シミュレーションを用いたスマート街区の空間形態とエネルギー消費、日本建築学会計画系論文集 No. 733, pp735-744, 2017.3 3) 大槻政哉他：CFD に基づく戸建住宅の屋根雪分布予測、第 23 回風工学シンポジウム論文集 pp529-534, 2014 4) 土谷学他：階段状屋根の雪の吹きだまりに影響を及ぼす風の流れの特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集 No. 555, pp53-59, 2002.5 5) 風工学研究所：ビル風の基礎知識、鹿島出版会、2005

*1 北海道大学大学院 修士課程
*2 北海道大学大学院工学研究院 工学研究院長 博士（工学）
*3 北海道大学大学院工学研究院 助教 博士（工学）
*4 清水建設 工修
*5 北方建築総合研究所 主査・博士（工学）
*6 株式会社雪研スノーイーターズ 修士（学術）

*1 Master course, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
*2 Dean, Prof., Graduate school of Eng., Hokkaido Univ, Dr. Eng.
*3 Assist. Prof., Graduate school of Eng., Hokkaido Univ, Dr. Eng.
*4 Shimizu Co., M. Eng.
*5 Chief, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.
*6 Yukiken Snow Eaters Co., Ltd, M.A.