

非平衡流れ場に適応可能な飛雪現象のモデリング
(その9) 12棟の建物群を対象とした吹きだまり予測

都市・建築空間 吹きだまり 吹き払い
飛雪現象 CFD

正会員 ○大風 翼 *1 同 持田 灯 *2
同 富永 禎秀 *3 同 堤 拓哉 *4
同 佐々木康友 *5 同 吉野 博 *2

1. はじめに 筆者らは、これまで老川ら¹⁾によって詳細な吹きだまり観測が行われている立方体建物周辺を対象に、飛雪現象のモデリングの検討を行ってきた^{2,3)}。しかしながら、複数の建物が存在する複雑な流れ場における実験との比較による飛雪モデルの精度検証については行っていなかった。

本研究では、堤ら⁴⁾が報告している12棟のプレハブ周辺の吹きだまり観測を対象に、吹きだまりの数値予測を行ったので、その結果を示す。

2. 解析の対象とする堤らの屋外観測⁴⁾ 図1に解析対象とする建物群を示す。野外観測は、2009年12月から2010年2月まで、北海道工業大学のグラウンドに、大きさの等しいプレハブ(5.4[m]×2.4[m]×2.7[m])を2.7[m]間隔で12棟設置して行われた。プレハブは、北西—南東方向に4列、直交する方向に3列並べられている。建物群の北西面から、50[m]の位置に気象ステーションを設置し、風向・風速・気温・積雪深を測定した。風速の測定は、地上3.0[m]に設置された超音波風速計による。積雪深の水平分布の測定には、3Dレーザスキャンシステムを用い、2010年1月7日と2010年2月8日の2回実施した。

3. 堤らの屋外観測を対象とした再現解析

3.1. 解析条件 飛雪現象の予測には、筆者らの開発した降雪粒子と雪面から再飛散された粒子の形状の違いに着目し、各々の粒子の輸送を記述する2つの輸送方程式を解く形式の飛雪モデルを用いた。詳細については文献3を参照されたい。

本研究では、時間の経過による圧密や融雪の影響が少ないと考えられる2010年1月7日(1回目のレーザスキャンが行われた日)までの積雪を予測の対象とした。図2に気象ステーションで測定された積雪深の日変化を示す。測定開始から2010年1月7日までの間に、12月30日、31日及び1月4日に積雪深が増加しており、3回の降雪があったものと考えられる。そこで本解析では、12月30日、31日及び1月4日の各々において、日平均の気象条件のもとで、CFD解析を行い、積雪深の1日増分を算出する⁵⁾。

また、測定を開始した12月25日はすでに30[cm]程度の積雪があったため、積雪深の初期分布を正確に与えるのは困難であった。そこで、今回は、最初の解析対象日となる12月30日の直前の29日の気象ステーションの積雪深の観測値(20.2[cm])で水平一様と仮定し、続いて、圧密や融雪の影響が少ないとの仮定の下で、3回の降雪予測で得た積雪深の増加分に足し合わせることで、2010年1月7日までの積雪の総量の水平分布を推定した。流入風については、気象ステーションの日平均風速・風向を用いた。流入面における降雪起源の飛雪空間密度(Φ_{sky})は、1日当たりの降雪粒子の雪面への落下が気象ステーションで得た1日当たりの

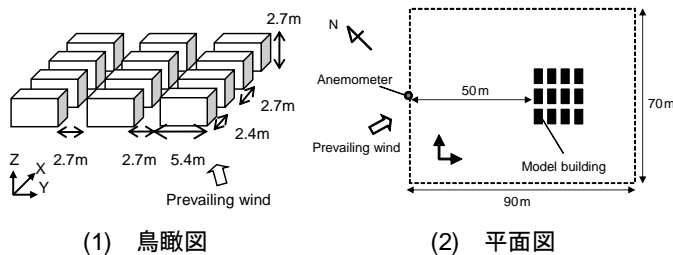
表1 気象ステーションでの観測値の日平均値

日時	日平均風速[m/s]	日平均風向	流入面の $\langle\Phi_{sky}\rangle$ [kg/m ³]
12/30	2.4	ESE	6.48×10^{-5}
12/31	3.5	S	7.41×10^{-5}
1/4	2.2	WSW	3.24×10^{-5}

(※風向・風速は高さ3.0[m])

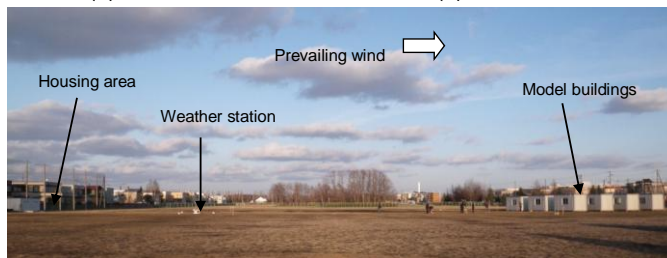
表2 雪の物性に関するパラメータ

降雪起源の雪の落下速度 $\langle wf_{sky} \rangle$	-1.0[m/s]
雪面起源の雪の落下速度 $\langle wf_{surf} \rangle$	-0.2[m/s]
限界摩擦速度 $\langle u^*_t \rangle$	0.20[m/s]
雪面の粗度長 z_0	1.0×10^{-4} [m]
積雪密度 ρ_s	150.0[kg/m ³]



(1) 鳥瞰図

(2) 平面図



(3) 建物群の南西側から見た全体像

図1 解析対象モデル

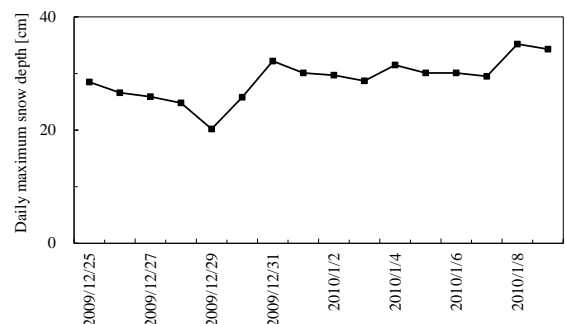


図2 気象ステーションで観測した積雪深の日変化

積雪深の増加分と等しいと仮定し(1)式より算出した^{注2)}。

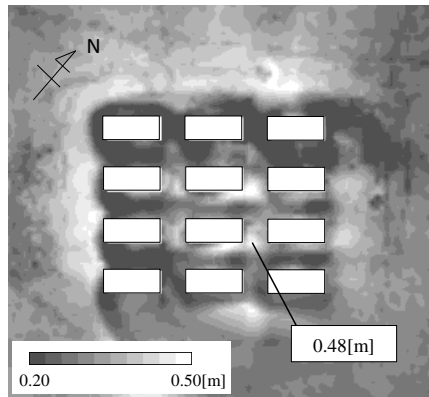
$$\langle \Phi_{sky} \rangle = \frac{\rho_s h^*}{\langle w f_{sky} \rangle \Delta t_s} \quad (1)$$

ここで、 h^* は1日当たりの積雪深の増加量[m]、 Δt_s は降雪時間[s](本解析では1日(86400[s]))。表1に解析日時(12月30日、31日及び1月4日)の流入風、流入境界の $\langle \Phi_{sky} \rangle$ をまとめて示す。雪粒子の物性に関するパラメータは表2参照。解析領域は、建物群の中心から水平方向に30[m](建物高さの約10倍)、鉛直方向に15[m](建物高さの約5倍)とした。その他の解析条件は、表3を参照されたい。

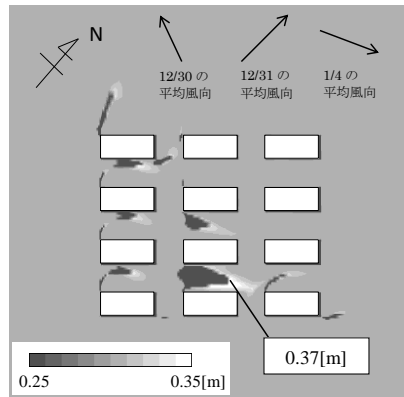
3.2 解析結果 図3に積雪深の水平分布を示す。図3(1)が2010年1月7日の屋外観測結果、(2)が本解析による積雪深の予測結果である。なお今回の解析条件では、12月30日および1月4日は風速が弱く、解析領域全体において雪面から雪の剝離は発生しなかった。解析結果を見ると、建物間に、局所的な吹き払いや吹きだまりが形成されている。一方、野外観測では、建物群の北西から南西にかけて高さ0.4[m]程度の吹きだまりが建物群全体を取り囲むように形成されており、全体的な吹きだまりの傾向は、数値解析とは異なる。局所的に見てみると、建物間に形成された吹きだまりのピークの位置は、一部、CFD解析で野外観測と近い位置に予測できているが、積雪深の絶対値は解析が過小評価している。これらの原因として、数値解析を行うにあたり、12月30日の初期の積雪深分布を一定と仮定してい

表3 解析条件

解析領域	30 × 30 × 15 [m]
メッシュ分割	137(x ₁) × 131(x ₂) × 35(x ₃)
流入境界	$\langle u_i \rangle$: $\langle u_1 \rangle$ および $\langle u_2 \rangle$ は、高さ3.0[m]で表1の値を与えた。鉛直方向の分布は対数速度分布を仮定した。 $\langle u_3 \rangle = 0$ k : $\langle u^* \rangle^2 / C_\mu^{0.5}$ の仮定より与えた。 ϵ : 局所平衡の仮定より与えた。
雪面境界	z_0 型の対数則 ($z_0 = 1.0 \times 10^{-4}$ [m])
乱流モデル	Durbin型改良 $k-\epsilon$ モデル ⁵⁾



(1) 屋外観測⁴⁾



(2) CFD

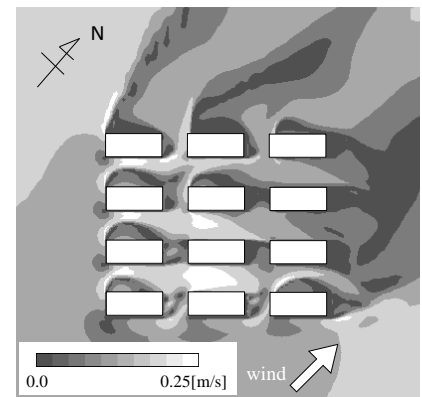


図4 CFDによる摩擦速度の水平分布(2009年12月31日)

たが、屋外観測では1月7日の積雪深の分布に大きな影響を及ぼすほど、初期の積雪分布にばらつきがあった可能性がある。

図4に気象ステーションでの日平均風速が最も大きかった12月31日の摩擦速度の水平分布を示す。風上側の建物間で局所的に摩擦速度が大きくなっている領域と図3(2)の数値解析における吹き払い域が概ね対応している。今回の解析条件では、12月31日の計算結果のみが吹きだまりの分布に反映されており、雪が飛散し始める限界摩擦速度の取り扱い、12月30日や1月4日で風速が大きかった時間の取り扱いについては、さらなる検討を行う必要がある。

4. まとめ 複数の建物が存在する複雑な流れ場を対象に筆者らの開発した飛雪モデルを用い、積雪深の数値予測を行った。野外観測では、建物群を取り囲むように吹きだまりが形成されたが、数値解析では異なる傾向となった。ただし、建物間に形成された局所的な吹きだまりのピーク位置は再現できている領域もある。限界摩擦速度の設定方法や日平均風速は小さいが短期間のみ風速が大きかった時間の取り扱いについて、今後検討を進めていく予定である。

【謝辞】

筆者の大風は、日本学術振興会特別研究員奨励費(DC1)の助成を受け、本研究の一部を遂行した。

【注釈】

注1) 積雪による流れ場への影響は小さいと仮定し、積雪がない状態で流れ場の定常解を得た後、飛雪空間密度の輸送方程式を解き、雪面における雪に質量収支から単位時間当たりの積雪深の増加分を得た。続いて、単位時間当たりの積雪深の増加分に24時間(86400[s])を乗じて、1日当たりの積雪深の増加量を算出した。

注2) 今回の条件設定では、解析を行ったいずれの日も流入面において、摩擦速度が雪粒子の限界摩擦速度を下回っていたため、流入面での雪面から飛散した雪の空間密度(Φ_{surf})はゼロとした。

【参考文献】

- 1) 老川進他：日本雪工学会誌, Vol.15 No.4, pp3-11, pp283-291, 1999
- 2) 富永禎秀他：日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第643号, pp1083-1089, 2009
- 3) 大風翼他：風工学シンポジウム論文集, Vol. 21, pp101-106, 2010
- 4) 堤拓哉他：日本建築学会北海道支部研究報告集, No.83, pp317-320, 2010
- 5) Durbin, P. A.: Int. J. Heat and Fluid Flow 17, pp.89-90, 1996

図3 2010年1月7日の積雪深の観測結果とCFDによる予測結果の比較

*1 東北大学大学院工学研究科	大学院生・博士課程後期	Ph.D. Candidate, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.
*2 東北大学大学院工学研究科	教授・工博	Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.
*3 新潟工科大学工学部	教授・博士(工学)	Prof., Faculty of Eng., Niigata Inst. of Technol., Dr. Eng.
*4 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所	主査・博士(工学)	Chief, Northern Regional Building Research Institute, Hokkaido Research Organization, Dr. Eng.
*5 東北大学大学院工学研究科	大学院生・博士課程前期	Graduate student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.