

人工雪を用いた風洞実験による吹きだまり形成の再現

中静 仁平 (北海道工業大学大学院)

細川 和彦 (北海道工業大学)

老川 進 (清水建設)

苫米地 司 (北海道工業大学)

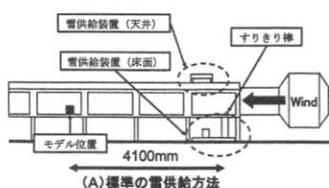
1. はじめに

建築物周辺に形成される吹きだまりは、日常生活の障害になると同時に、避難経路の寸断にも繋がり人命に関わる大きな障害ともなる。このため、積雪地域における建築物の計画段階において吹きだまりの形成位置を予測し、その対策を検討する必要がある。既往の研究では、活性白土等の模擬雪を用いた風洞装置で吹きだまりの再現実験が大きな実績を納めている。しかしながら、これらの再現実験は自然条件下で発生する吹きだまりを十分に再現するに至っていないのが現状である。

筆者らは、これらの問題を検討するために1998年から屋外に試験体を設置し、自然条件下で発生する吹雪によって形成される吹きだまりの形成過程を時系列的に観測してきた。さらに、2000年度から防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所設置の低温風洞装置を用いた人工雪による屋内吹雪風洞実験で前述の屋外観測結果の再現実験を試みている。本報告では、2000年度から2003年度まで実施した人工雪による屋内吹雪風洞実験手法とその再現性について述べる。

2. 吹雪風洞実験の概要

吹雪風洞実験は、防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所設置の低温風洞装置(密閉型回流装置W1.0m×H1.0m×L14.0



m)を用いた。実験には、同研究所内の低温室で作製した自然雪の雪粒子に近い人工雪を用いた。実験室内の気温は -10°C とし、飛雪流量はスノーパーテクルカウンター (SPC)、吹きだまり堆積状況はレーザー変位計でそれぞれ測定した。また、吹きだまり形成状況をデジタルビデオカメラで観察した。以下に各年の実験概要を示す。

2.1. 2000年度の実験概要

2000年度の吹雪風洞実験は、1辺16cmの立方体モデルを対象とし、人工雪の供給は図1(A)に示すように「床面」と「天井」からの2つの方法を採用した。「床面」からの供給は、低温風洞装置の標準的な方法で風洞内の風上側底部に設けた貯雪箱に雪を充填し、貯雪箱を一定の速度で押し上げ、すりきり棒で雪をすりきり、地吹雪を再現する方法である(写真1(A)参照)。また、「天井」からの供給は、風洞内の風上側上部に設けた「ふるい」から雪を供給して降雪を伴う吹雪を再現する方法である(写真1(B)参照)。さらに床面には吹きだまりのきっかけを作るため、雪の付着力を増加させるためガーゼを敷いた。

2.2. 2001年度の実験概要

2001年度の吹雪風洞実験は、1辺10cmの立方体モデルを対象とし、前年と同様に「床

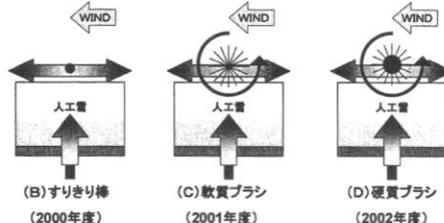
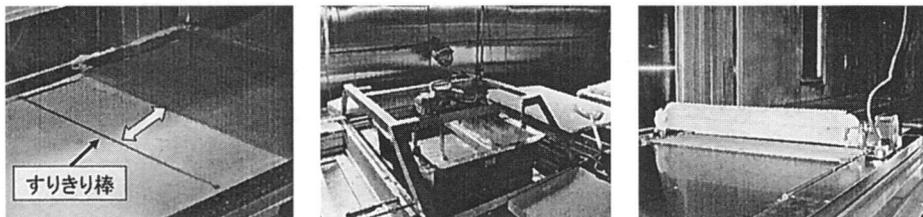


図1 各年度別 低温風洞雪供給方法



(A) 床面 (B) 天井

写真1 2000年度雪供給装置

面」と「天井」からの2つの供給方法を採用した。「床面」の供給については、図1(C)および写真2に示すように前年度の「すりきり棒」から「軟質ブラシ」へ変更し回転数400rpmにて風上側へかき上げ、吹雪を再現させる方法へと改良を加えた。なお、「天井」からの供給方法は前年度と同様である。さらに、モデル周辺の床面には前年度より粗度を大きくし、「ガーゼ」から「1mmメッシュ」のネットに敷き変えた。

写真2 軟質ブラシ

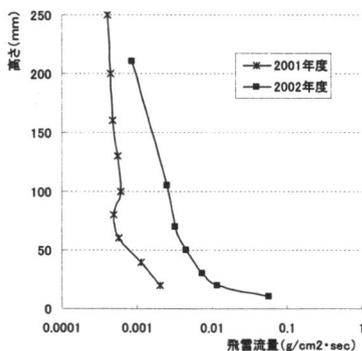


図2 年度別 飛雪流量の鉛直分布

法で実験を行った。床面からのすりきりによる雪の供給では、モデル周辺に目視で確認できる程度のわずかな吹雪が発生した。また、床面からの供給に天井からの供給を加えてもモデル周辺には顕著な吹雪の増加はみられなかった。このように、低温風洞装置の標準的な雪の供給方法では、鉛直分布の飛雪流量を計測するまでの吹雪の再現には至らなかった。

2001年度は、床面からの雪の供給方法を軟質ブラシに変えた結果、モデル周辺の吹雪は、鉛直分布の飛雪流量を計測できるまで吹雪量が増加した。

2002年度における低温風洞の実験では、雪の供給に硬質ブラシを用いた。その結果、モデル周辺の吹雪は、図2に示すように2001年度の結果と比較しても、顕著な増加がみられる。飛雪流量の鉛直分布は、10倍程度増加している。高さもありモデル高さ以上でも目視で確認できるほどまで増加した。各ブラシにおける雪のかき上げ状況を写真3に示す。写真のように軟質ブラシでは、鉛直方向に十分なかき上げを行うことができず、ブラシの

2.3. 2002年度の実験概要

2002年度の吹雪風洞実験は、1辺が7cmの立方体モデルを対象とし、人工雪の供給には硬質ブラシを用いた。なお、硬質ブラシの回転数は1600rpmとした。モデル周辺の床面には前年度より粗度を大きくし、「1mmメッシュ」から「4mmメッシュ」のネットに敷き変えた。

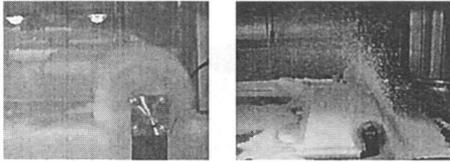
2.4. 2003年度の実験概要

2003年度の吹雪風洞実験は、1辺が7.5cmの立方体モデルを対象とし、風上側に一体と風下側に一体モデルを設置しサルテーション高さを制御した。モデル周辺の床面は、1mmメッシュ、2mmメッシュ、4mmメッシュの異なる床面を用意した。これらの床面粗度はCTMeterで計測した。測定した床面粗さからMPD(MeanProfileDepth:平均プロファイル深さ)を算出した。なお、人工雪の供給、ブラシの回転数は前年度と同様である。

3. 実験結果

3.1 吹雪の再現状況

2000年度は、低温風洞の標準的な雪の供給方



(A) 軟質ブラシ (B) 硬質ブラシ

写真3 ブラシによる雪のかき上げ状況

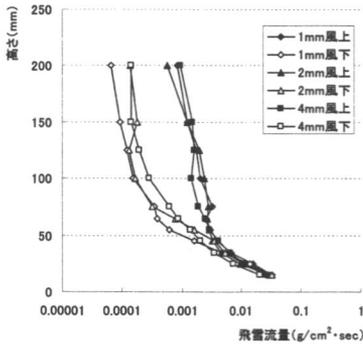


図3 風上・風下の飛雪流量

芯も軟らかいため回転数を増加できない。これに対し硬質ブラシでは、回転数を増すことにより雪を高い位置へ大量にかき上げることが可能となった。

2003年度における低温風洞の実験では、前年度と同様に雪の供給を行った。風上側と風下側のモデル周辺における飛雪流量を、図3に示す。風上側の鉛直分布をみると2002年度と同様にモデル高さ以上にも飛雪流量が供給されているのに対し、風下側ではモデル高さ以下に飛雪流量が供給されている。これは、サルテーション高さの制御がほぼ出来ていると考えられる。

3.2. 吹きだまり再現状況

2000～2002年度の吹きだまりの再現状況を写真4に示す。屋外観測と比較する。写真4(a)は、1998年度の屋外観測例であり、一辺が1mの立方体モデル周辺に形成される吹きだまりである。2000年度の低温風洞実験では、モデル周辺の床面に吹きだまりのきっかけを作るためガーゼで粗度を大きくした。

写真4(b)に示す吹きだまり形成状況をみると、Aのモデル風上側の吹きだまりは屋外観測と近似しているものの、Bのモデル近傍風下側およびCのモデル風下側の吹きだまりの形成に相違がみられる。これは、モデル周辺における床面の粗度が小さいため飛雪粒子を捕らえるには至らなかったためと考えられる。この傾向は、実験風速を変化させても同様であった。

2001年度の実験では、モデル周辺の床面を1mmメッシュに変更し粗度を前年度よりも大きくした。屋外観測の結果と写真4(c)が示す吹きだまり形成状況と比較するとAのモデル風上側およびBのモデル近傍風下側における吹きだまり形成が近似したものの、Cのモデル風下側では吹きだまりの形成には至らなかった。このようにモデル周辺の床面をガーゼから1mmメッシュに敷き変えたもののモデル風下側の吹きだまり形成のきっかけをつくるには粗度が小さいと考えられる。

2002年度の実験では、モデル周辺の床面を4mmメッシュに敷き変えた。モデル周辺の吹きだまりは、写真4(d)に示すようにAのモデル風上側、Bのモデル近傍風下側およびCのモデル風下側に形成された。

以上のように、モデル周辺の床面の粗度が1mmメッシュの場合、モデル風下側に吹きだまり形成が屋外観測との近似に至らなかった。粗度が小さい1mmメッシュの場合、モデル風下側に流入する雪粒子を捕らえることができず、風に飛ばされ吹きだまりの形成に至らなかった。それに対して、モデル周辺の床面の粗度を4mmメッシュにして粗度を大きくした場合、モデル風下側の吹きだまり形成が屋外観測と近似した。粗度の大きい4mmメッシュの場合、モデル風下側に流入する雪粒子を捕らえることができ、雪粒子を捕らえたところから吹きだまりの形成が促進され屋外観測の吹きだまり形成に近似したと考えられる。

2003年度の実験では、サルテーション高さを制御し床面粗度を1mmメッシュ、2mmメ

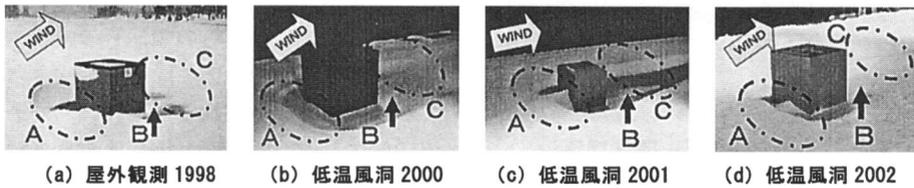


写真4 年度別 吹きだまり形成状況

ツシュ, 4mmメッシュに変化することで吹きだまり形成状況の差異を観測した。

CTMeterの計測結果から得られたMPDを図4に示す。メッシュの目合が大きくなるに伴い, MPD:平均プロファイル深さも大きくなる。このことより, 1mmメッシュより4mmメッシュの方が表面粗度が大きいといえる。次に表面粗度を変化させた吹きだまり形成状況を表1に示す。屋外観測の例と床面粗度が1mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較するとサルテーション高さに関わらずモデル風上側, モデル風下側の吹きだまりは形成されたもののモデル後方の吹きだまりは形成されなかった。次に, 屋外観測の例と2mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較すると1mmメッシュと同様であった。屋外観測例と4mmメッシュの吹きだまり形成状況を比較するとサルテーション高さに関わらずモデル風上側, モデル近傍風下側およびモデル風下側に屋外観測と近似した吹きだまりが形成された。

吹きだまり形成の再現をするには, ある程度の吹雪量とモデル周辺の床面の粗度を大きくすることにより屋外観測で形成された吹きだまりに近似することができると考えられる。

4. まとめ

2000年度から2003年度までに吹雪風洞実験手法の検討を行い, 吹きだまり再現実験を実施してきた。2000年度から2002年度の低温風洞実験では, 吹きだまり形成を目的に実験条件を複数変更したため吹きだまりの形成条件を絞り込むことができなかった。2003年度の低温風洞実験では, 実験条件である供給方法および風速を変えずにモデル周辺の床面粗

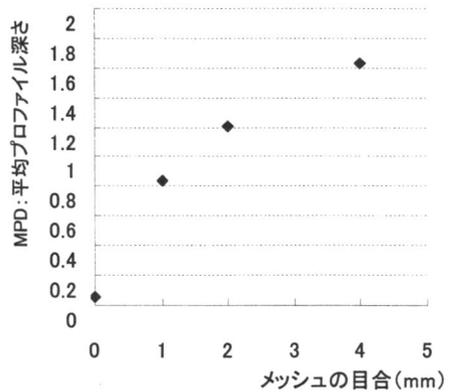


図4 メッシュの目合におけるMPD

表1 各粗度の形成状況

	風上側	風下側
1mmメッシュ		
2mmメッシュ		
4mmメッシュ		

度のみを変えることで吹きだまり形成状況の差異を観測した。

自然雪の雪粒子に近い人工雪を用いて吹きだまりを再現する条件として, 風路内の吹雪量を多くすることが考えられる。さらに, モデル周辺の飛雪粒子を捕らえやすくするためモデル周辺に粗度を4mm程度のメッシュを用いることのふたつの条件が必要であることが明らかとなった。今後の課題として低温風洞による吹きだまり再現実験手法の確立と実現象との相似性の問題がある。