

吹き止め柵に発生する吹きだまりの風洞実験による再現性について

山崎貴志，牧野正敏，高松 茂，伊東靖彦，山田 毅（（独）土木研究所寒地土木研究所）

1. はじめに

現在，道路の吹雪対策には多くの種類の防雪柵が用いられている．しかし，これら防雪柵の防雪効果について，同一条件下での性能評価はされていないため各種防雪柵の性能を相互に比較することは難しい．また，防雪柵など防雪対策施設の性能評価を行うためには実フィールドにおける評価が理想であるが，計測期間が長期に及ぶことや実験条件を統一しなければならないことから実フィールドだけでの評価は困難な状況である．

そこで本検討では，風洞実験による防雪対策施設の性能評価に資するため，吹き止め式防雪柵周辺に発生する吹きだまり形状について，現地観測結果と比較することにより，活性白土を用いた風洞実験の実験条件を検討した．

2. 風洞実験装置

2.1. 概要

本検討に使用した風洞実験装置（以下，本装置という）の概要を図 - 1 に示す．本装置は，全長（回流部）21.3m，測定洞断面 1.2m × 1.2m，測定洞長さ 6.0m で，活性白土を模型雪として使用する．

2.2. 調整前の風速分布状況

吹きだまり実験を行うにあたり，本装置の風速分布の確認及び調整を行った．

本装置の調整前における測定洞内風速分布について，図 - 2 に示す座標系により図 - 3 に横断方向を，図 - 4 に鉛直方向を示す．図 - 3 より測定洞内の風速は横断方向に一様でなく，また図 - 4 より y 座標の位置によっても鉛直方向風速分布が異なる状況であった．

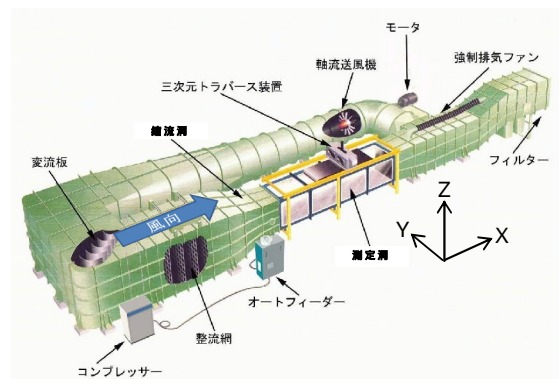
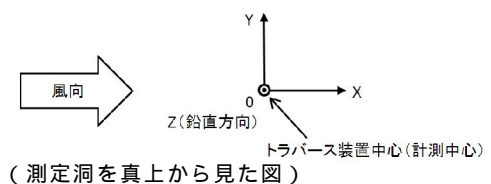


図 - 1 風洞実験装置の概要



（測定洞を真上から見た図）

図 - 2 座標系

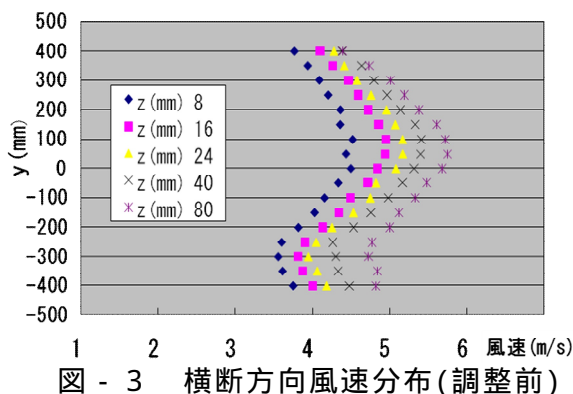


図 - 3 横断方向風速分布（調整前）

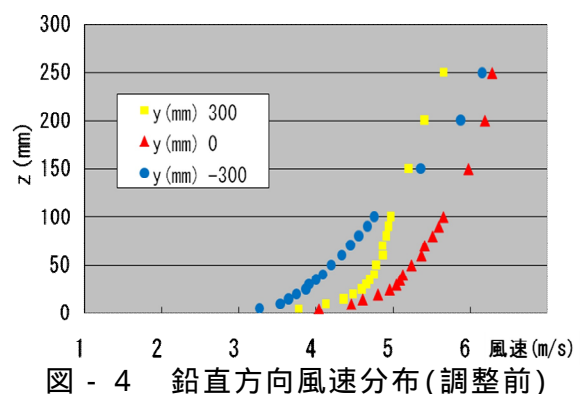


図 - 4 鉛直方向風速分布（調整前）

2.3. 風速分布調整

2.2を踏まえ、吹きだまり実験をより精度良く行うため、測定洞内風速分布の調整を行った。

調整目標は、測定洞内風速をy軸方向に対して一様とすること、及び接地層厚をできるだけ厚くすることとした。

日本建築センター(2008)建築物風洞実験ガイドブックを参考に各種の風速調整装置(乱流格子、ラフネス、バリヤ、スパイヤー)を組み合わせ、合計19パターンの調整を行った結果、本装置の縮流洞と測定洞の間に図-5に示す風速調整装置を設置した。

調整後の鉛直方向風速分布を図-6に示す。y軸方向の計測位置の違いによる鉛直方向風速分布の差がほとんどなく、風洞横断方向にほぼ均一な風速分布が得られた。また、接地層厚は約300mmで実験模型高さ50mmの約6倍となり、目標を満足したと言える。



図-5 風速調整装置

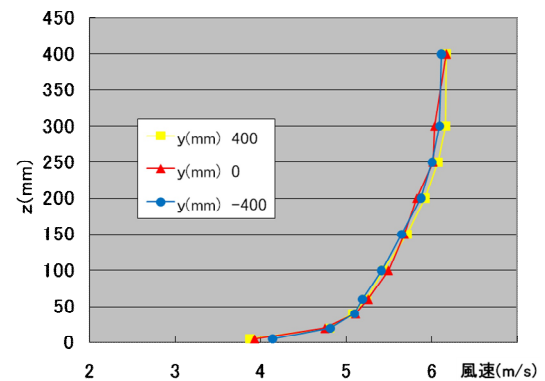


図-6 鉛直方向風速分布(調整後)

3. 現地観測と風洞実験の比較

3.1. 現地観測

現地観測の対象は寒地土木研究所石狩吹雪実験場(石狩市美登位)に設置された吹き止め式防雪柵(図-7)に発生した吹きだまりとした。この防雪柵は冬期間の現地主風向(ほぼ西風)に対してほぼ直角に設置されている。ここで2008年2月10日に吹雪前、2月15日に吹雪後の積雪深計測を行った。観測期間の1時間平均風速と、最多風向を図-8に示す。西風が主となった2月12日午前3時から、計測を行った2月15日の午後5時までを吹きだまりが形成した期間と推考した。この吹きだまり形成期間の平均風速は6.4m/sであり、小林ら(1969)の式と現地観測の積雪密度(272.5kg/m^3)より計算した吹雪量は $11\text{m}^3/\text{m}$ であった。



図-7 吹き止め式防雪柵

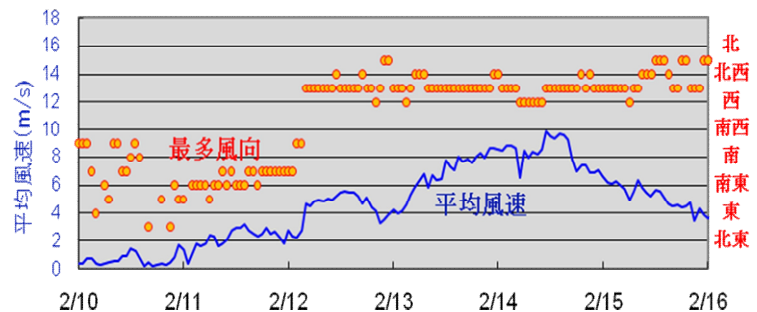


図-8 現地気象状況

計測により得られた積雪深を図-9に示す。なお、図は縦軸、横軸ともに柵高(5m)で除して無次元化している。図-9に示される積雪深の2月10日と2月15日の差分を、今回の吹雪により形成された吹きだまりの量と考え、図-10に示した。

3.2. 風洞実験

実験に使用した模型は、現地観測対象とした吹き止め式防雪柵の1/100とした(図-11上)。模型柵高さの上部1/2は実物に合わせ開口率30%の有孔板としている。また、柵端部からの風の巻き込みを少なくするため測定洞幅全てに模型を設置した。

風洞実験は設定風速7m/s, 8m/s, 9m/sにおいて行った。設定風速は実験模型の風下約3mの風洞断面中央に設置されたピトー管による計測値である。測定洞の風上に設置された吹出ノズル(図-11下)より、圧縮空気と共に380g/minで活性白土(かさ密度450kg/m³)を風洞内に噴出させた。吹きだまり形状の計測間隔は30分又は60分とし、計測時には一度装置を止めて計測を行い、計測後に続けて実験を行った。

各設定風速における、実験時間30分, 90分, 180分の吹きだまり形状を図-12に示す。縦軸、横軸ともに模型柵高さ(50mm)で除して無次元化している。設定風速7m/sでは、図-10に示される現地の吹きだまり形状と比較して、柵風上の吹きだまりの成長に比べ柵風下の吹きだまりの成長が小さい。また、設定風速9m/sでは、設定風速7m/sの結果とは逆に、柵風上の吹きだまりに比べ柵風下の吹きだまりが大きく成長している。設定風速8m/sでは、吹きだまり形状が現地の吹きだまり形状と3種類の設定風速中最も一致していた。

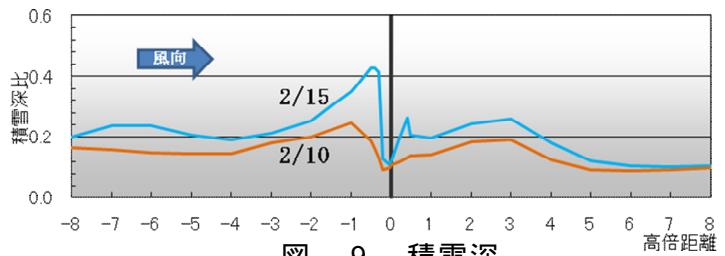


図-9 積雪深

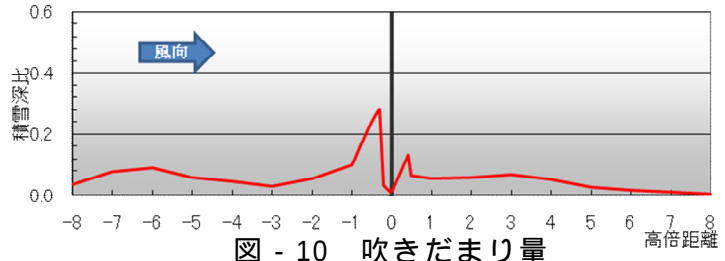


図-10 吹きだまり量

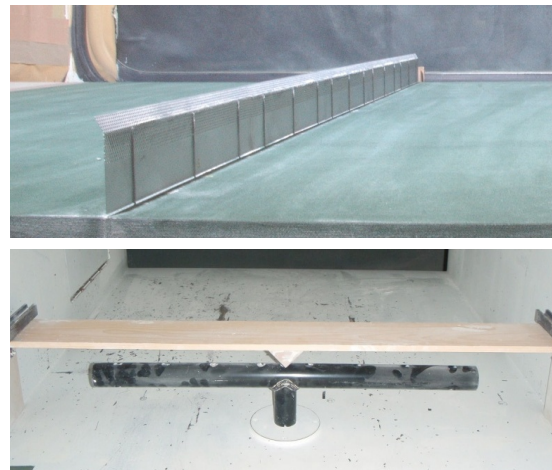


図-11 実験模型(上) 吹出ノズル(下)

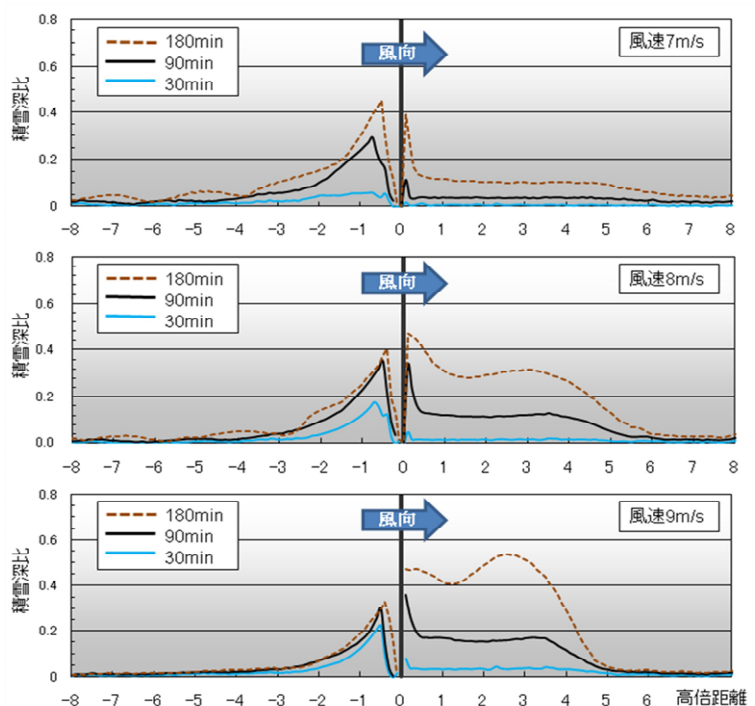


図-12 吹きだまり形状

3.3. 現地観測結果と風洞実験結果の比較

風洞実験における設定風速 8m/s で、実験時間 30 分、60 分、90 分、120 分の吹きだまり結果と、現地観測における吹きだまり結果(図 - 10)を重ね、図 - 13 に示す。吹き

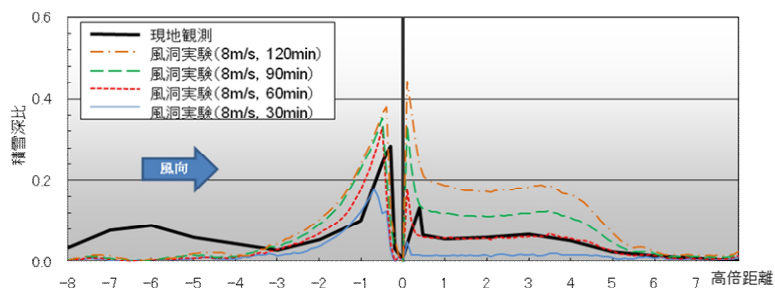


図 - 13 吹きだまり形状比較

だまりが生じている範囲や吹きだまりのピーク位置は現地観測と風洞実験結果でほぼ一致している。さらに、実験時間 60 分での吹きだまり量は現地観測と風洞実験結果でほぼ一致している。この条件での模型雪吹出量は $0.042 \text{ m}^3/\text{m}$ であった。

4. 相似則について

本実験の妥当性を検討するため、老川ら(2007)による、吹雪風洞実験において重要とされる相似条件を比較した。この相似条件について現地観測と風洞実験について算出した値を表 - 1 に示す。移動

表 - 1 相似条件の比較

相似条件	現地観測	風洞実験
移動臨界摩擦速度比	0.031	0.035
安息角	$45^\circ \sim 50^\circ$	$48^\circ \sim 53^\circ$
フルード数	条件緩和	
ストークスパラメータ	0.01~0.1	0.03~0.3

臨界摩擦速度比と安息角はほぼ同値となった。フルード数は老川ら(2007)の提案により条件緩和とした。雪粒子の流れへの追従性を表し、1 以下とすることが必要とされるストークスパラメータについては現地と実験どちらも 1 以下となった。老川らの示す相似条件をほぼ満足する結果となったため、本実験条件は現地再現に対して妥当性があると考えられる。

5. まとめ

ある 1 回の吹雪(吹雪量 $11\text{m}^3/\text{m}$)により吹き止め式防雪柵に発生した吹きだまり形状について、活性白土を用いた風洞実験(模型縮尺 1/100)において実験風速 8m/s、実験時間 60min、吹出量 $380\text{g}/\text{min}$ ($0.042\text{m}^3/\text{m}$) の条件で概ね現地を再現した。

6. おわりに

本検討は 1 種類の吹き止め式防雪柵に発生した、1 つの吹雪による吹きだまりについての検討であったが、今後、異なる規模の吹雪についての検討や、吹き払い柵など他の形式の防雪柵について検討を行うことにより、現地再現性を高め、風洞実験による防雪対策施設の性能評価手法の確立を目指したい。なお、北海道立北方建築総合研究所の堤氏には実験に際し様々なアドバイスを頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 財団法人日本建築センター, 2008: 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック .157pp .
 小林大二・小林俊一・石川信敬, 1969: みぞによる地ふぶき量の測定. 低温科学 物理篇, 27, 99-106 .
 老川進・苫米地司・石原孟, 2007: 建物近傍の吹雪だまりの風洞相似則に関する考察. 日本雪工学会誌, 23(2), 13-32 .