

吹きだまり量と風向および推定累積吹雪量の関係について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○大宮 哲
原田 裕介
松澤 勝

吹きだめ柵の防雪機能と風向の関係および吹きだまり量と推定累積吹雪量の関係を明らかにすることを目的とし、吹きだまりの現地調査および気象観測を実施した。吹雪時の卓越風向に対して直交および斜交するように吹きだめ柵を2セット設置し、平成24年12月11日から平成25年3月5日にかけて計7回の調査を実施した。その結果、一冬の最大吹きだまり量は斜交柵の方が直交柵よりも少なく、直交柵の約75%であった。

キーワード：事故防止、自然災害、防災

1. はじめに

一冬期間の吹きだまり量の最大値（特に30年確率最大吹きだまり量）は、対象路線における吹雪対策の必要性、対策施設の設計値の決定等、吹雪対策を実施する上で必須である¹⁾。しかし、広範囲で吹きだまり量を直接計測して確率値を求めるのは困難である。このため、風速、気温、積雪深データから経験式によって一冬期の吹雪量を推定し、また防雪柵の捕捉率が100%であると仮定して吹きだまり量を求める方法が用いられている。しかし、吹雪時の主風向と防雪柵との交角の違いによる吹きだまり量の差異や、推定吹雪量と吹きだまり量との関係について詳細な把握がなされていない。本報では、上記事項を把握することを目的に現地調査を行ったので、その結果について検討した。

ここで、“吹雪量”は単位時間に風向と直交する1m幅を通過する飛雪の質量(g/m/s)のことを、“吹きだまり量”は、防雪柵に直交する1m幅の、柵前面および後面に堆積した全積雪量から自然積雪量を差し引いた体積(m³/m)のことを示す。なお、単位幅あたりの防雪柵によって堆積させることのできる最大吹きだまり量は竹内らの経験式²⁾によって与えられ、“防雪容量”と呼ばれる。

2. 観測概要

(1) 観測サイトおよび防雪柵

吹きだまり量観測は、石狩市親船町にあるヤウスバ運動公園の河川敷(N43°13', E141°20', 標高2m)にて行った。本観測点は、北西(風速5m/s以上時における卓

越風向)に向かって約300mにわたり一様な平坦地が続き、主だった障害物は無い。なお、卓越風向は八幡道路テレメーター(N43°13', E141°20')の過去5年間(平成19~23年度冬期)の風向データから推定した。

本観測に使用した防雪柵(図-1)は柵高5m、柵幅50m、空隙率30%、下部間隙50cmの吹きだめ柵であり、主風向に対して直交(北東-南西)および角度45度で斜交(西-東)するように2ヶ所に設置した。以後、これらの吹きだめ柵をそれぞれ直交柵、斜交柵と呼ぶこととする。また、直交柵から風上側80m地点に地上高3mで風向風速計を設置した。上空から見た観測サイトの様子を図-2に、吹きだめ柵設置地点の風下側から見たサイトの様子を図-3に示す。

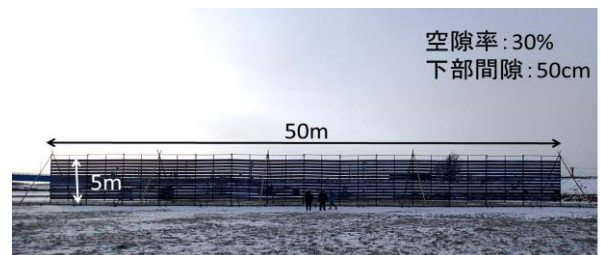


図-1 設置した吹きだめ柵

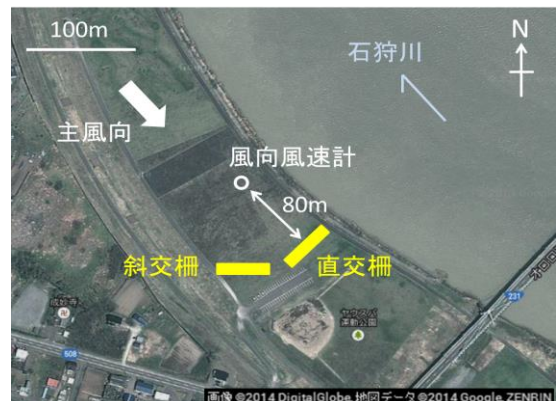


図-2 上空から見た観測サイトの様子



図-3 風下側から見た吹きだめ柵の様子 (左：斜交柵、右：直交柵)

(2) 観測内容

本吹きだまり量観測は、平成24年12月11日～平成25年3月5日の期間中に、約2週間おきに計7回実施した(表-1)。観測項目は、吹きだめ柵周辺の積雪深分布と積雪密度である。柵周辺の積雪深は、直交柵・斜交柵ともに柵端部の影響が無く、かつ柵と直交方向で最も大きな吹きだまりが形成されている箇所を計測測線とし、柵の風上側および風下側から自然積雪深の地点まで5m間隔で、積雪深変化の大きいところは5m以下で計測した。以後、柵の風上側および風下側を、柵の前後と呼ぶこととする。積雪密度は、それぞれの吹きだめ柵の計測測線上で、積雪深が最も大きくなっている柵前後2地点(計4地点)において計測した。なお、積雪深測定にはゾンデ棒を、積雪密度測定には神室式スノーサンプラーを使用した。また、現地で測定した風向風速(10分間値)のほか、気象庁アメダス石狩(N43° 11', E141° 22', 標高5m)で観測している気象データ(風速、降水量、気温、積雪深)を収集し、解析に用いた。

表-1 観測実施日

| 観測回 | 年月日 |
|-----|-------------|
| 第1回 | 平成24年12月11日 |
| 第2回 | 平成24年12月28日 |
| 第3回 | 平成25年 1月15日 |
| 第4回 | 平成25年 1月29日 |
| 第5回 | 平成25年 2月12日 |
| 第6回 | 平成25年 2月27日 |
| 第7回 | 平成25年 3月 5日 |

3. 観測結果

(1) 積雪深と積雪密度

吹きだめ柵前後における観測日別の積雪深分布を、直交柵および斜交柵についてそれぞれ図-4、図-5に示す。本観測で最大の自然積雪深を記録したのは2月27日(第6回目)であり、直交柵は風上側120cm、風下側78cm、斜交柵は風上側111cm、風下側83cmであった。なお、2月27

日の防雪柵周辺の様子を、それぞれの図中左上に付記してある。

積雪深の測定結果から、直交柵および斜交柵前後では積雪深に差異があり、直交柵周辺により多くの雪が堆積していた事が示された。この違いは、吹きだめ柵の吹雪粒子捕捉率が風向によって異なるためと推測される。なお、H24-25冬期に石狩アメダスによって観測された最大積雪深は2月17日に記録された162cmであった。次に、観測した積雪密度を図-6に示す。この結果から、堆積後の圧密によって時間経過とともに密度が増加した様子が見てとれる。

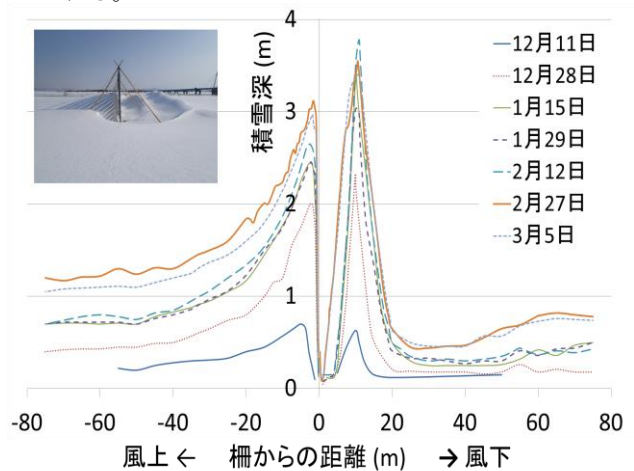


図-4 直交柵前後の積雪深分布

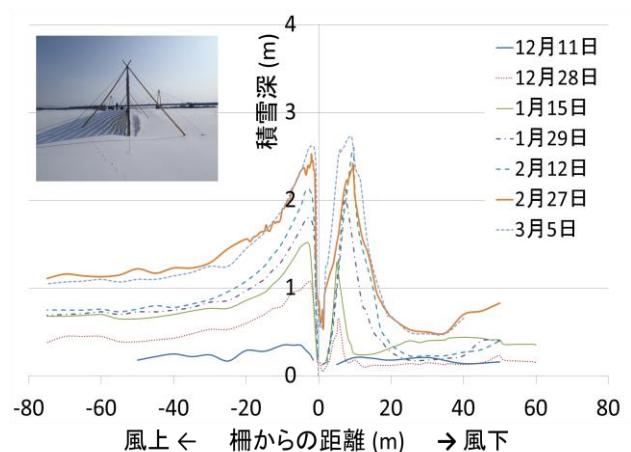


図-5 斜交柵前後の積雪深分布

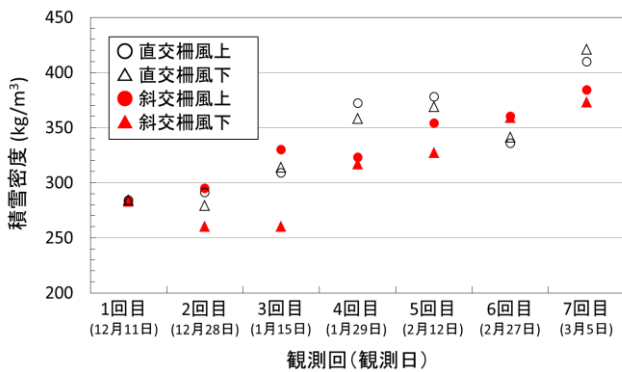


図-6 観測回ごとの積雪密度

(2) 吹きだまり量の比較

実測した積雪深 (図-4、図-5) から自然積雪深を差し引いて求めた吹きだまり量 (m³/m) を図-7に示す。この結果から、直交柵では第5回目観測 (2月12日) に、斜交柵では第7回目観測 (3月5日) に最大吹きだまり量が形成された事が分かる。直交柵の最大吹きだまり量は55.2 m³/m、一方で斜交柵の最大吹きだまり量は41.5 m³/mであり、斜交柵周辺に形成された吹きだまり量は直交柵の約75%であった。本観測では、斜交柵の吹きだまり量が日数の経過とともに増加した一方で、直交柵の吹きだまり量は防雪容量²⁾ に達していないにもかかわらず、第3回目観測 (1月15日) 以降はほとんど増加が見られなかった。

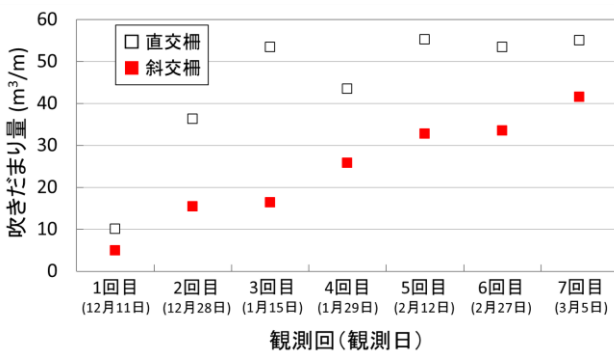


図-7 吹きだまり量の変化

4. データ解析および考察

(1) 吹雪量の推定方法

吹雪量は、はじめに吹雪の発生有無を判別し、“吹雪発生”と判別された場合に松澤ら³⁾による経験式(1)によって推定した。本論文では、竹内ら⁴⁾による気温と風速による吹雪発生条件および武知ら⁵⁾による降雪終了からの経過時間による吹雪発生条件を考慮し、以下の条件1または条件2を満たし、かつ条件3を満たす場合に“吹雪発生”と判断し、式(1)を適用した。

条件1: $T \leq -5^{\circ}\text{C}$ かつ $W \geq 5\text{m/s}$ かつ $S_d \geq 1\text{cm}$

条件2: $-5^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$ かつ $W \geq 6\text{ m/s}$ かつ $S_d \geq 1\text{cm}$

条件3: $t \leq 10$ (h)

$$Q = 0.005 V_{1.2}^4 \cdot \cdot (1)$$

ここで T は気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 W は高度7mでの風速 (m/s)、 S_d は積雪深 (cm)、 t は降雪終了後の経過時間 (h)、 Q は吹雪量 (g/m/s)、 $V_{1.2}$ は高度1.2mでの風速 (m/s)を示す。なお、高度1.2mにおける風速は対数則近似によって推定した。

(2) 推定累積吹雪量と吹きだまり質量の関係

上記の方法で推定した累積吹雪量 (kg/m) と吹きだまり量 (m³/m) とを比較するため、観測した積雪密度 (図-6) と吹きだまり量 (図-7) から、吹きだまり質量 (kg/m) を算出した。上記の吹雪発生条件を初めて満たした12月1日を吹雪発生初日とし、各観測日までの推定累積吹雪量をそれぞれ算出した。両者の比較結果を図-8に示す。推定累積吹雪量と吹きだまり質量が等しい場合には、図中の直線に一致する事を意味する。この結果から、日数経過とともに吹きだまり質量と推定累積吹雪量の差異は増加する傾向が見て取れ、推定累積吹雪量の方が吹きだまり質量よりも大きい事が示された。これは、積雪深の増加によって柵高が相対的に低くなることで防雪効果が低下することを示した既往研究⁶⁾とも定性的に一致する。特に、第3回目 (1月15日) の観測以降、直交柵の捕捉率が顕著に低下した事が分かる。なお、観測3-4回目間および5-6回目間の直交柵について、吹きだまり質量の増加は見られなかった。

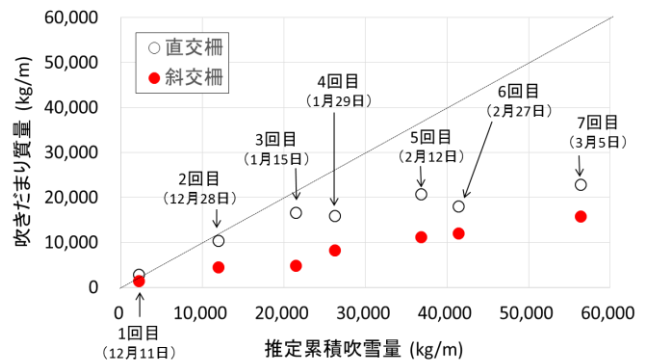


図-8 吹きだまり量の変化

(3) 防雪容量に対する吹きだまり量の割合と防雪柵の捕捉率の関係

竹内ら²⁾による経験式を用いて吹きだまり柵の防雪容量を求め、防雪容量に対する実測吹きだまり量の割合と捕捉率を比較した結果を図-9に示す。ここでは、最大の自然積雪深を観測した2月27日の積雪深を“平地積雪深”として防雪容量を算出した。この結果、防雪容量に対する吹きだまり量の割合が増加するほど、飛雪に対する防雪柵の捕捉率が低下することが確認された。

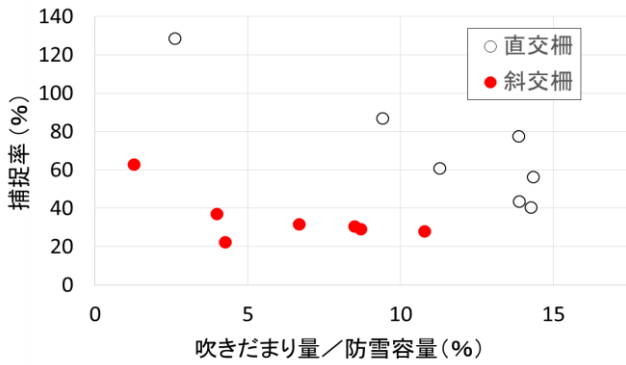


図-9 防雪容量に対する吹きだまり量の割合と捕捉率の関係

(4) 各観測回間の気象データおよび推定吹雪量と観測結果の比較

4-②節において、直交柵周辺の吹きだまり質量は観測3-4回目間および5-6回目間において増加が見られなかったことを述べた。そこで本節では、各観測回間における各気象データ（降雪量、平均風速）、風向頻度、風向別推定吹雪量の観点から上記について考察を行う。

各観測回間における累積降雪量、平均風速をそれぞれ図-10、図-11に示す。なお、降雪量は石狩アメダスの1時間値、風速および風向は現地にて測定した10分間平均値（エラーバーは標準偏差）である。

図-10から観測5-6回目間は比較的降雪量が多かったことが見てとれ、これは積雪深分布の変化を観測日ごとに示した図-4、図-5とも定性的に一致している。しかし、平均風速（図-11）は一般的に吹雪の発生臨界風速とされる5m/sを下回っていた。このため、この間は吹雪が発生した事例が少なかったものと推測される。なお、風速については観測3-4回目間においても同様のことが言える。これらは当該期間中に直交柵周辺に形成された吹きだまり質量が増加しなかった観測結果と対応している。

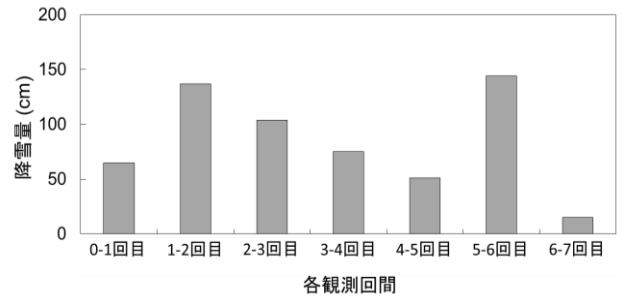


図-10 各観測回間における累積降雪量

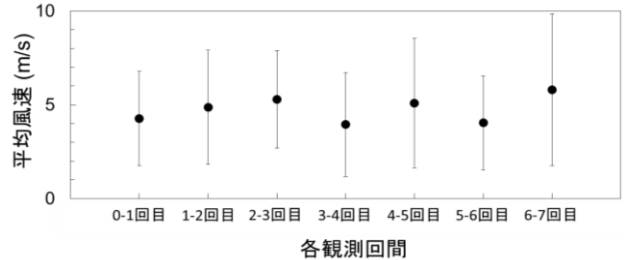


図-11 各観測回間における平均風速（エラーバーは標準偏差を示す）

次に、各観測回間の風向頻度および風向別推定吹雪量を図-12に示す。この結果より、吹雪時の大半は一冬を通して北北西～西よりの風が卓越していたことが示された。この図からも、観測3-4回目間および5-6回目間において吹雪量が少ないことが確認された。風向によって直交柵および斜交柵への吹走距離は異なる。特に北風時には、風上に存在する石狩川によって直交柵に対する吹走距離は顕著に短くなる。従って、観測3-4回目間の北風時には直交柵に到達する飛雪量は斜交柵に対する量よりも少なかったと推測され、吹きだまり質量が増加しなかった一因になったと推察される。また、一冬を通して西風頻度も大きく、この場合には斜交柵が直交柵の風上側に位置し、斜交柵が障害物になったことによって直交柵の吹きだまり質量に影響を及ぼしていた可能性もある。

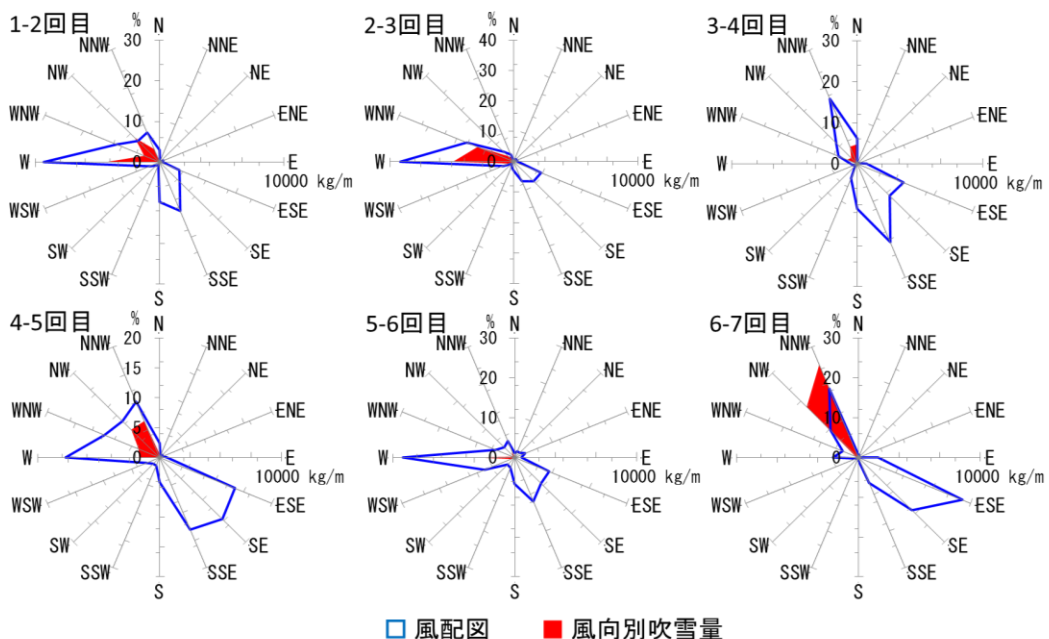


図-12 各観測回間における風向頻度と風向別推定吹雪量（12月11日～3月5日）

5. まとめ

吹雪時の主風向と防雪柵との交角の違いによる吹きだまり量の差異、推定累積吹雪量と吹きだまり量との関係を明らかにする事を目的とし、主風向に対して直交および斜交するように吹きだめ柵を設置し、吹きだまり量観測を行った。その結果、斜交柵に形成された最大吹きだまり量は直交柵の最大吹きだまり量の約 75%であった。また、大半のケースにおいて吹きだまり量は推定累積吹雪量よりも少ないことが示され、日数の経過とともにその差は大きくなる事が示された。今後、各観測回間における風向別吹雪量に着眼した解析をさらに進めるとともに、吹雪量の推定方法の改良にも取り組む予定である。

寒地土木研究所では、全道ふきだまり量マップの改訂に向け、北海道全域において吹きだまり量観測を実施している。今後、既存の観測データを風向の観点から解析を進めるほか、風洞実験や数値シミュレーションによって多くのデータの蓄積に努めたい。

参考文献

- 1) 福澤ら (2000) : 北海道全域の吹きだまり量分布の推定. 雪氷, 62, 32-39.
- 2) 竹内ら (1984) : 防雪柵の研究 - 柵前後の吹溜り雪丘形状-. 雪と道路, 1, 96-100.
- 3) 松澤ら (2010) : 風速と吹雪量の経験式の適用に関する一考察. 寒地技術論文・報告集, Vol. 26, 45-48.
- 4) 竹内ら (1986) : 降雪時の高い地吹雪の発生限界風速. 昭和 61 年度日本雪氷学会予稿集, 252.
- 5) 武知ら (2010) : 地吹雪発生時の気象条件に関する一考察. 雪氷研究大会要旨集, 216.
- 6) Tabler (1974) : New Engineering Criteria for Snow Fence Systems. Transportatn Research Record 506, 65-78.