特集

雪氷と風

道路における吹雪対策の現状と課題

Current Situation and Issues on Blowing-snow Control Facilities on Highways

松澤 勝^{*1}

金子 学^{*2}

Masaru MATSUZAWA, Manabu KANEKO

1. はじめに

冬の積雪寒冷地では、西高東低の冬型の気圧配置の下、北西から吹く季節風により日本海側を中心に吹雪がしばしば発生する。また、発達した温帯低気圧の通過に伴い、太平洋側に猛吹雪をもたらす事例も見られる。

道路において、吹雪は吹きだまりと視程障害の2つの障害事象を発生させる(写真1)。吹きだまりは車両の通行の障害となる他、除雪負荷の増大をもたらす。また、視程障害は走行速度の低下や事故を招き、いずれも社会に与える影響は大きい。特に、積雪寒冷地の多くは過疎地域を抱えており、市民生活や経済活動における道路交通への依存は大きく、道路の吹雪対策はきわめて重要である。こうしたことから、吹雪が多発する地域において道路防雪林や防雪柵等、吹雪対策施設の整備が進められてきている¹⁾。

本稿では、道路における代表的な吹雪対策施設を中心に、現状と課題について述べて行くこととしたい。

2. 自然現象としての吹雪について

積雪寒冷地域に住んだことのない方々には、馴染みが薄いかも知れないが、普段、何気なく目にする吹雪、その中の雪粒子の動きには、地表を転がる「転動」と、衝突と反発を繰り返す「跳躍」、上空高く舞上がる「浮遊」の3種類の運動形態がある(図1)²⁾。一般に

風速5m/s以上になると、地表を転がる「転動」と高さ10cm程度までの「跳躍」が発生し、さらに風が強くなると跳躍粒子の一部が上空高く飛ぶ「浮遊」が発生する。転動と跳躍のみの場合には「低い地吹雪」、これに浮遊粒子が加わった場合は「高い地吹雪」、そして、さらに降雪が加わった場合も総称して「吹雪」と呼ぶ。

写真1 吹きだまり(上)と視程障害(下)

*1 (独)土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム 上席研究員

Team Leader, Snow and Ice Research Team, Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

*2 (独)土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム 主任研究員

Senior Researcher, Snow and Ice Research Team, Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

図1 地吹雪における雪粒子の運動形態²⁾

図2 降雪がある時の吹雪の発生臨界条件³⁾

次に、降雪がある場合の吹雪の発生条件を図2に示す。図中、△では低い地吹雪が発生し、●では高い地吹雪が断続的に、○では高い地吹雪が連続的に発生する²⁾。高い地吹雪か、低い地吹雪かは気温と風速で決まり、高い地吹雪が連続して発生する際には、しばしば視程障害による交通障害が発生する。

吹雪時に空間を移動する雪の量を吹雪量と呼ぶが、吹雪量全体に占める跳躍粒子の割合は極めて大きい。風速 8m/s 以下の地吹雪ではほぼ全量を占め、風速 15m/s 以上の地吹雪の場合でも 6 割以上となっている。即ち、低いところほど吹雪の濃度が高い特徴を持つ。こうした特徴が、運転台の高いトラックと乗用車のドライバーの視程が大きく異なる要因となっている。また、道路際に高い雪堤がある場合には、写真 1(下)のように、雪堤を越えた跳躍層の吹雪がドライバーの視点高さ付近を流れるため、著しい視程障害を引き起こす。

3. 道路の吹雪対策の考え方

道路の吹雪による障害事象には、先に述べたように吹きだまりと視程障害がある。それぞれの障害は次のような要因によって発生する。

吹きだまりは、地表の凹凸、植生や地上の障害物などによって風速が低下して、雪粒子が運動を停止することによって発生する。また、障害物の風下では、大小の乱流渦が発生し、風の輸送エネルギーが渦のエネルギーに変換され輸送力が低下することで吹きだまりが発生する。

視程は、目の前を通過する吹雪の飛雪流量（単位断面積を単位時間に通過する雪粒子の質量）と関係が深

い。浮遊層では雪粒子は風に乗って輸送されると仮定できるので、吹雪粒子の量が多く、風が強いほど視程障害が起きやすい。また、視程の急激な変動も障害の程度を強める。

以上のことから、道路の吹雪対策の考え方として、風上から飛来する吹雪粒子の量を減らし、風の乱れを抑えることが基本となる。さらに、吹きだまり対策としては、道路上の風を強めて吹き払うこと、視程障害対策としては、風を弱めることを考える必要がある。吹きだまり対策と視程障害対策で風に対する考え方が異なるのが、吹雪対策を難しくしている理由である。

4. 吹雪対策工の種類

道路の吹雪対策工には、道路構造による対策（防雪切土、防雪盛土、緩勾配盛土）と、防雪林、防雪柵、視線誘導施設、大型構造物等がある。本報では、吹雪対策工の中から防雪切土、防雪盛土、防雪林、防雪柵について以下に詳しく述べることにする。

4. 1 道路構造による吹雪対策

(1)防雪切土

防雪切土は、主風向側の斜面の勾配を 1:3 より緩くすることで、切土法面上に雪を捕捉し、道路上の吹きだまりを防ぐ対策である（写真 2）。実際に北海道で施工した事例⁴⁾では、整備前には吹きだまりが道路上を埋めていたが、整備後には道路上での吹きだまりが解消した（図 3）。

写真2 防雪切土（主風向は左から右）

図3 防雪切土の吹きだまり防止効果に関する事例⁴⁾

写真3 防雪盛土

図4 盛土高さと雪堤⁵⁾

(2)防雪盛土

防雪盛土は、路側の雪堤の形成を抑制するため、最大積雪深の1.3倍程度の高さとした盛土で、吹きだまりと視程障害を防ぐものである（写真3）。

図4は、盛土の高さと路側の雪堤の高さの関係を調べた結果である。盛土が高い方が路側の雪堤が低く、

なっていることがわかる⁵⁾。

4. 2 防雪林

(1)防雪林の概要

防雪林は、風速を弱めて吹雪粒子を捕捉することにより、道路上の吹きだまりを減らし、ドライバーの視

線の高さの飛雪流量を減らすことにより視程を改善する機能を持つ（写真4）。

防雪林は、鉄道の開通とともに欧州から始まり、我が国でも鉄道の吹雪対策として用いられたのが、始まりとされる。最初の鉄道防雪林は、日本鉄道株式会社により明治26年に、現在の東北本線の水沢―小湊間の38カ所で、50haにわたり造成された⁶⁾。

道路事業における防雪林は、昭和52年に北海道開発局札幌開発建設部が一般国道12号において造成したのが始まりであり、以降、北海道の北部や東部を中心に造成が進められてきている⁷⁾。

道路防雪林には林帯幅が10m以上の標準林と、10m未満の狭帯林の2種類がある（図5）。

標準林は、吹きだまり防止と視程障害緩和を目的として整備されるもので、現地の最大吹きだまり量に応じて林帯幅10m、20m、30mタイプのものが用いられ、防雪効果発揮を主目的とする基本林と、基本林の初期成長時の保護の機能を果たす前生林から構成される。

狭帯林は主に視程障害緩和を目的とした防雪林であり、基本林だけで構成され、吹雪の激しい地域では採用できない。

木の生長に伴い、隣接する樹木と下枝が重なり合うようになると、陽光不足から下枝の枯れ上がりを生じ防雪効果が低下するため、適切な間引きが必要となる。ところが、間引きすることで、一時的に防雪効果が低下するため、適切な密度管理の方法を示すことが必要とされている。

また、植栽後の生育不良も課題となっている。その要因として、堆雪による雪圧害や、強風によるもの、また生育基盤が堅すぎることや排水の不良などがあげられる。しかし、調査事例も少なく、様々な要因が複合的に影響しているため明確な結論が得られていないのが現状であり、継続的な調査が必要と考えられる。

写真4 防雪林

(2)防雪林の課題

防雪林は、樹木という生き物を扱うことが特徴である。下枝は雪面付近の風速を低下させ吹雪を捕捉するため、防雪林にとって重要な要素である。しかし、樹

4. 3 防雪柵について

防雪柵は、吹きだめ柵、吹き止め柵、吹き払い柵に大別される。

図5 防雪林の断面模式図¹⁾

(1) 吹きだめ柵

吹きだめ柵は、上記の3種類の柵の中でもっとも歴史が古く、防雪柵の基本となる形式である。吹きだめ柵は、支柱間に複数の防雪板を張り付け、下部間隙を有する柵形式（写真5）で、空隙率は30～50%のものが用いられる。柵の周辺の風を弱めることにより、柵の前後に飛雪を捕捉する。これにより、さらに風下側に位置する道路の吹きだまりを防止する（図6）。防雪板の空隙率の違いによる吹きだまり形状の変化を、図7に示す⁸⁾。空隙率が増加するのに従って、風上側の吹きだまりは小さくなり、風下側の吹きだまり雪丘は長く大きくなる。次に下部間隙について見ると、下部間隙を広くすると、風下側の吹き払い領域が広がるため、吹きだまりがより遠くに形成される（図8）⁸⁾。このように吹きだめ柵では、空隙率と下部間隙とによって、吹きだまりの位置や大きさを制御することができる。なお、吹きだめ柵は、道路の風上側に数十m離して設置する形式であるため、風上側に広い敷地が必要となる。このため、農地等を借地して毎年設置撤去を行なうことが必要となる場合が多かったことから、最近では設置事例が少なくなっている。

写真5 吹きだめ柵

(2) 吹き払い柵

吹き払い柵は、下向きに傾斜して取り付けられた防雪板によって、吹雪の濃い領域をドライバーの目線より低い位置を通過させて視程障害を防ぐ形式である（写真6）。これだけだと防雪板の隙間を透過した雪粒子が道路に溜まりやすくなるため、下部間隙を広くとって、吹き抜ける風を利用して道路の路側や路面の雪を吹き払う（図9）。この部分を吹き払い領域と呼ぶ。

図6 吹きだめ柵の防雪機能¹⁾

図7 吹きだめ柵の防雪板の空隙率と吹きだまり形状⁸⁾

図8 吹きだめ柵の下部間隙と吹きだまり形状⁸⁾

国内で見られる複数の防雪板を有する吹き払い柵は、日本独自の形式であり、昭和42年に北海道開発局建設機械工作所（当時）が開発試験を行ない、昭和44年から国道への設置が始まった。なお、吹き払い領域は柵高の2〜3倍程度とされており⁹⁾、柵高が3.5m程度であることから2車線道路までが適用範囲となる。ただし、切土区間のように吹きだまりが多い場合、下部間隙を広く保つことが難しく、下部間隙が閉塞した場合には、吹き払い効果が弱まり、柵の直近位置の道路上に吹きだまりが形成されやすくなる。このため、吹き払い柵は吹きだまり防止の目的での利用には向いて

おらず、また、多雪地域で用いる際にも十分な検討が必要となる。

写真6 吹き払い柵

(3) 吹き止め柵

4 車線道路等の広幅員道路が普及するにつれて、これらの道路に適用できる防雪柵の開発が必要となった。先に述べたように、吹きだめ柵は道路敷地外に広い用地の確保が必要で、また、吹き払い柵は2車線道路までが適用範囲となる。そこで、より多くの吹雪粒子を柵の風上側で捕捉できるよう、下部間隙をゼロにし、防雪板の空隙率を低くし、また、十分な防雪容量を確保できるよう柵高を高くすることにより開発されたのが吹き止め柵である(図10、写真7)。

図9 吹き払い柵の防雪機能¹⁾

図10 吹き止め柵の防雪機能¹⁾

写真7 吹き止め柵

昭和56年頃から北海道開発局土木試験所(当時)が試験を開始し、昭和61年から国道への設置が始まった¹⁰⁾。本形式は風下側に堆雪スペースが必要であるが、道路に沿って設置することができ、吹きだまり対策と視程障害対策として用いることができる。なお、本形式は柵高が5mと高いことから、ドライバーに与える圧迫感を緩和し、側方の見通しを確保できるよう、柵上部に有孔板を用い、柵上端部を路外方向に傾ける等の工夫がなされている。

(4) 防雪柵に関する課題

道路の吹雪対策として、多様な新型の防雪柵が開発されている。しかしその防雪性能について、標準的な評価方法が定められておらず、おのおのが独自の手法により評価を行なっていることから、評価手法の信頼性が十分とは言えない現状にある。従って、信頼性の高い評価を下すために、基本となる評価手法の統一が必要と考えられる。なお、筆者らは現地観測により吹き止め柵の視程障害緩和効果の評価する際の標準的な観測方法について提案している¹¹⁾ので、フィールドで評価を行う際は参考にいただければ幸いである。

また、もう一つ課題を挙げるならば、本文で述べたように、吹雪対策には、吹きだまり対策と視程障害対策という2つの側面があり、それぞれ風に対する扱い方が異なることへの理解である。例えば、吹雪対策として透過性の高い防風柵を路側に設置した場合、視程障害への対策効果は得られるだろうが、透過した雪粒子が道路上で堆積しやすくなるため、吹きだまりには逆効果になる。吹きだまり量が少なければ除雪での対応は可能だろうが、吹雪の厳しい地域では除雪に負担をかける。従って、吹雪対策に関する理解を深めることが必要と考えられる。

5. おわりに

本稿では、吹雪現象や吹雪災害の概要と、吹雪対策の現状について述べてきたが、紙面に限りがあることから、詳細な部分までは書くことができなかった。筆者らの所属する(独)土木研究所寒地土木研究所では、北海道における国道の吹雪対策に用いられる「道路吹雪対策マニュアル」¹⁾を策定しており、吹雪対策に関して詳しく記載しているので、詳細はマニュアルを参照いただければ幸いである。

参考文献

- (独)土木研究所寒地土木研究所,「道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版)」,(2011)
URL:http://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual/
- 竹内 政夫,「吹雪とその対策(1)―吹雪のしくみ―」,雪氷,58, pp. 161-168, (1996)
- 竹内 政夫, 石本 敬志, 野原 他喜男, 福沢 義文, 「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, (1986)
- 石本 敬志, 竹内 政夫, 野原 他喜男, 福澤 義文, 「切土区間の道路の防雪容量」, 寒地技術シンポジウム講演論文集, pp. 533-538, (1985)
- 竹内 政夫, 野原 他喜男, 福沢 義文, 「吹雪による視程障害について」, 北海道開発局土木試験所月報, 245, pp. 9-15, (1973)
- 竹内 政夫, 金田 安弘, 「防雪林の始まり」, 第19回寒地技術論文報告集, Vol. 19, pp. 832-835, (2003)
- 若菜 千穂, 阿部 正明, 原文 宏, 石本 敬志, 福澤 義文, 「北海道における道路防雪林形成に関する史的研究」, 第16回寒地技術論文報告集, Vol. 16, pp. 649-652, (2000)
- (社)日本建設機械化協会編, 「新編防雪工学ハンドブック」, 森北出版(株), 249, (1988)
- 竹内 政夫, 野原 他喜男, 石本 敬志, 福沢 義文, 「防雪柵の研究=柵前後の吹溜り雪丘形状=」, 雪と道路, 1, pp. 96-100, (1984)
- 藤田 英郎, 倉橋 義雄, 山口 守之, 長岡 佳美, 竹内 政夫, 「多車線道路における防雪柵の計画」, 第30回北海道開発局技術研究発表会論文集, pp. 91-96, (1988)
- 金子 学, 松澤 勝, 山崎 貴志, 「防雪柵の性能評価に関する研究」, 第29回日本道路会議論文集, (2011)