

防雪柵の開口部対策に関する 技術資料(案)について

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

○松下 拓樹
櫻井 俊光
松島 哲郎

道路の吹雪対策施設である防雪柵には、道路交差部等で開口部を設ける必要がある。防雪柵開口部では局所的な視程障害が生じることがあるため、これを緩和する副防雪柵が設置され効果を有している。しかし、副防雪柵の設置の考え方や視程障害の緩和効果の程度等については必ずしも明確ではない。そこで寒地土木研究所では、これまでの調査結果に基づいて、防雪柵の開口部対策を実施するために必要な技術的事項をとりまとめた技術資料(案)を作成している。本論文では、この技術資料(案)の現時点の内容を報告する。

キーワード：防災、吹雪、自然災害、維持・管理

1. はじめに

道路における吹雪対策施設として防雪柵が整備されている¹⁾が、取付道路や道路の交差部等では防雪柵を設置することができない。このように防雪柵が一時的に途切れる箇所を、防雪柵の開口部と呼ぶ。防雪柵の開口部では、吹雪視程の急激な低下(写真-1)²⁾によるドライバーの運転への影響や交通事故の誘因となることが懸念されている³⁾。しかし、防雪柵の開口部において、吹雪時のどのような条件でどの程度視程が低下し、それがどのようにドライバーの運転に影響を与えるのか十分に明らかにされていない。また、防雪柵開口部の視程急変を緩和する対策として、延長の短い柵(副防雪柵)^{1), 4), 5)}が防雪柵開口部に設置されているが、副防雪柵による視程急変の緩和効果の程度等についても必ずしも明確ではない。

寒地土木研究所では、防雪柵開口部における視程急変の実態把握とそれに伴う運転挙動への影響、および副防雪柵の視程急変の緩和効果の程度等を明らかにするため、これまで実際の道路における移動気象観測^{2), 6)-8)}や石狩吹

雪実験場での現地観測⁹⁾⁻¹¹⁾、防雪柵模型を用いた風洞実験¹²⁾⁻¹⁵⁾、防雪柵周辺の気流を再現する数値シミュレーション解析¹⁶⁾⁻¹⁸⁾を実施してきた。現在、これらの調査結果をとりまとめ「防雪柵開口部における対策施設に関する技術資料(案)(仮題)(以下、本技術資料(案)とする)」を作成している。本論文では、この技術資料(案)の現時点の内容を報告する。

2. 技術資料(案)の概要

本技術資料(案)の目的と適用範囲および全体の構成は、以下のとおりである。

(1) 目的

本技術資料(案)は、吹雪対策施設として整備された防雪柵の開口部における局所的な視程障害の対策を行うために必要な技術的事項を、現時点で得られている知見に基づいてまとめたものであり、これにより防雪柵の開口部対策の効率的な検討および適切な実施に資することを目的とする。

(2) 適用範囲

本技術資料(案)は、北海道開発局が整備する一般的な道路の防雪柵に適用することを意図したものであり、防雪柵の開口部対策に関して「道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版)」¹⁾を補完するものである。

また、防雪柵開口部における視程障害は、吹き止め柵で顕著¹⁹⁾であり、本技術資料(案)で示す開口部対策は、



写真-1 防雪柵の開口部における吹雪時の状況の例²⁾



写真-2 防雪柵の例¹⁾
 (a) 吹き止め柵、(b) 吹き払い柵。

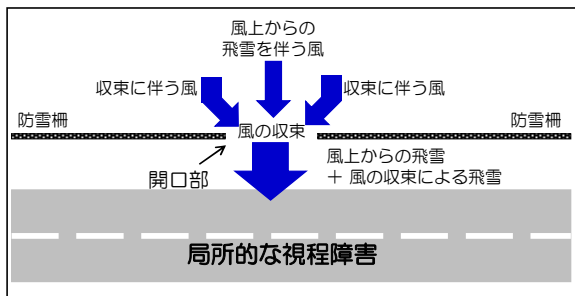


図-1 防雪柵の開口部における視程障害の発生機構

主に吹き止め柵の開口部を対象としている。吹き止め柵(写真-2(a))は、同じく道路用地内に設置される吹き払い柵(写真-2(b))に比べて、空隙率の小さい柵の構造を有しており、吹雪時に風上側から吹き付けられる飛雪を遮る柵形式である。吹き止め柵の開口部では、飛雪を遮る機能が無いことに加えて、開口部で収束した風に伴う飛雪流量の増加(図-1)によって局所的な視程障害や視程の急変を生じやすい。

(3) 構成

本技術資料(案)の構成を、表-1に示す。第1章は総則として、目的と適用範囲および構成を示し、本技術資料(案)で用いる主な用語を説明する。第2章で、防雪柵の開口部における視程障害の発生機構やドライバーの運転への影響について解説し、第3章で、防雪柵の開口部対策の目的や必要性の検討、対策の種類と特徴、および開

表-1 本技術資料(案)の構成

<p>第1章 総 則</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 目的、適用範囲、構成、用語の説明 <p>第2章 防雪柵の開口部における視程障害</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開口部の視程障害の発生機構、運転への影響 <p>第3章 防雪柵の開口部対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 対策の目的、必要性の検討、種類と選定 ・ 副防雪柵の特徴、副防雪柵による対策の実施 <p>第4章 開口部対策のその他の技術的事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 新たな副防雪柵、端部対策、対策事例
--

口部対策として実際の道路において施工実績のある副防雪柵に関する技術的事項等を、現時点で得られている調査結果に基づいて説明する。第4章では、開口部対策に関するその他の技術的事項として、新たな形式の副防雪柵の技術的な紹介と防雪柵の端部対策について触れ、防雪柵の開口部対策工を例示する。

3. 防雪柵の開口部における視程障害(第2章)

本技術資料(案)の第2章「防雪柵の開口部における視程障害」では、防雪柵開口部における視程障害の発生機構とそれに伴う運転への影響について説明する。

(1) 開口部における視程障害の発生機構と特徴

防雪柵の開口部では、防雪柵の設置区間に比べて吹雪時における風上側からの飛雪と、開口部で収束した風に伴う飛雪の流量が増加することにより視程障害が生じやすい(図-1)。特に、現地観測等の結果から、吹雪時の風向が、本線の防雪柵に直交する風向を中心とした45°の範囲のときに、開口部において局所的な強風や視程低下が顕著となる(図-2)¹⁶⁾。また、開口部の延長(幅)が長いほど風速が大きく、視程が低下する^{2), 7), 12)}。

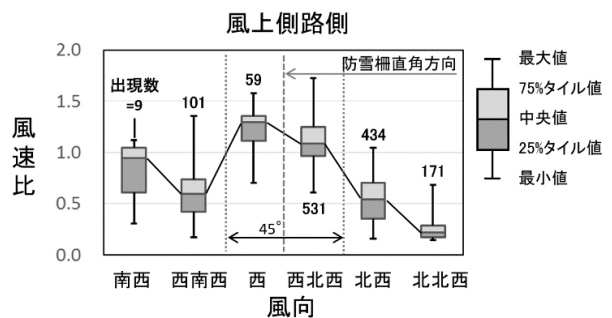


図-2 風向と防雪柵開口部における風速の関係¹⁶⁾

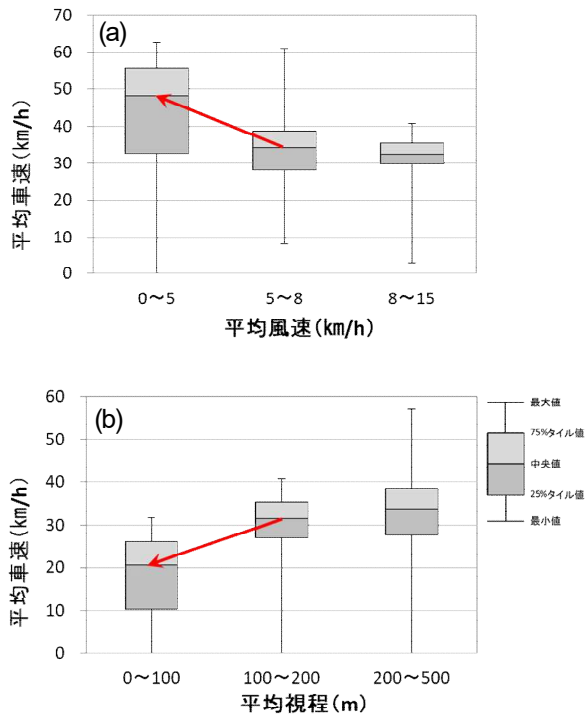


図-3 開口部の平均車速と (a) 平均風速、(b) 平均視程の関係⁶⁾

(2) 開口部の視程障害による運転への影響

防雪柵の開口部における局所的な視程の低下が及ぼすドライバーの運転挙動への影響として、視程の低下に伴いアクセル踏量やハンドル操作角等の運転挙動に変化が現れ、車速の低下が生じ車両間の速度差を招く可能性がある^{2),6),7)}。この傾向は、図-3に示す調査例のように、特に吹雪時の視程が100m以下になると顕著になる⁶⁾。

4. 防雪柵の開口部対策(第3章)

本技術資料(案)の第3章「防雪柵の開口部対策」では、開口部対策の目的や必要性の検討、対策の種類と選定について説明し、実際の道路での施工実績のあるL字型副防雪柵（以下、単に副防雪柵とする）による対策実施に関する技術的事項を解説する。

(1) 開口部対策の目的と必要性の検討

防雪柵の開口部対策の目的は、開口部における局所的な視程障害や視程の急変を緩和すること、および開口部において路側や道路線形の吹雪時の視認性を高めることにより、冬期道路交通の安全性を確保することである。

開口部対策の必要性の検討は、対策する箇所における視程障害の程度や頻度、交通量や事故履歴等の現地の交通実態等に基づいて行う。

表-2 開口部対策の種類と特徴

種類	方法	特徴
局所的な視程障害を緩和する方法	開口部を塞ぐ方法	<ul style="list-style-type: none"> 冬期末使用の農地への取付道路等に限られる 毎年の設置と撤去が必要
	開口部を狭める方法	<ul style="list-style-type: none"> 冬期末使用の農地への取付道路等に限られる場合がある 開口部延長を十分に狭めることができない場合は効果を見込めない
	抵抗物（副防雪柵等）の設置により収束する風や飛雪を制御する方法	<ul style="list-style-type: none"> 副防雪柵には複数の種類がある 副防雪柵の種類によっては用地確保が必要となる 副防雪柵の詳細は4.(3)～(4)を参照
吹雪時の路側や道路線形の視認性を高める方法	視線誘導施設の設置	<ul style="list-style-type: none"> 視程低下を改善するものではない 自発光式の視線誘導施設もある

(2) 開口部対策の種類と選定

防雪柵の開口部対策には、開口部の風や飛雪を制御して局所的な視程障害を緩和する方法と、開口部における路側や道路線形の吹雪時の視認性を高める方法の2つがある。これらの方法の特徴を表-2に示す。開口部の局所的な視程障害を緩和する方法には、冬期のみ設置可能な形式の防雪柵や仮設柵等で開口部を塞ぐ方法、防雪柵を延伸して開口部の延長を狭める方法、抵抗物（副防雪柵等）を設置して収束する風と飛雪を制御する方法がある。吹雪時において開口部の路側や道路線形の視認性を高める方法には、視線誘導施設を設置する方法がある。

開口部対策のうち冬期のみ設置可能な形式の防雪柵や仮設柵等で開口部を塞ぐ方法は、冬期末使用の交差道路や農地等への取付道路における開口部のみに実施することができる限定された方法となる。抵抗物（副防雪柵（図-4、図-5））を設置する方法は、防雪柵の開口部における風上側からの飛雪や風の収束（図-1）を制御して、

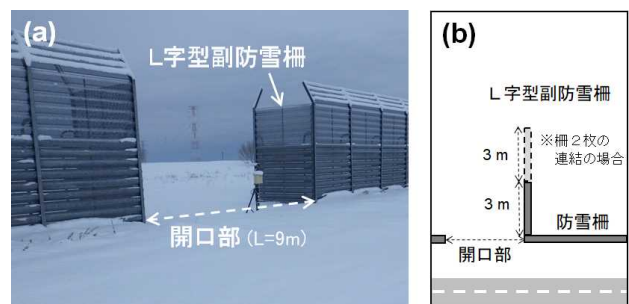


図-4 L字型副防雪柵

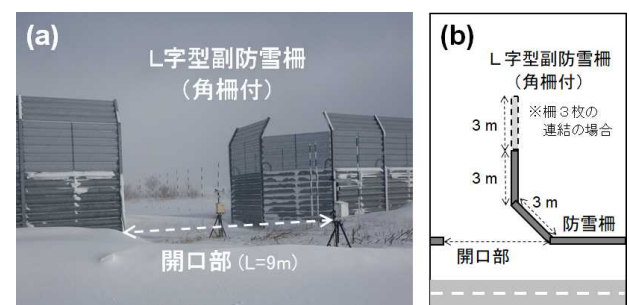


図-5 L字型副防雪柵（角柵付）

開口部風下側の道路上へ侵入する飛雪の量を減少させて視程障害や視程の急変を緩和させる方法である。副防雪柵は、仮設応急的に冬期間のみ設置することもできる。

これらの対策方法の選定は、各対策方法の利点や留意事項等の特徴と現地の各条件を勘案して行い、さらに整備費や維持費等も考慮して総合的に判断する。ここで、視線誘導施設は、吹雪による視程障害を緩和する施設ではなく、開口部の路側や道路線形の吹雪時の視認性を高めるための施設であるため、副防雪柵等の対策を実施できない場合の二次的な対策方法として位置付けられる。

(3) 副防雪柵による対策効果

副防雪柵(図4)は、延長の短い柵を本線の防雪柵に対して直角に設置(端部をL字型に加工)したものである^{1),4),5)}。この副防雪柵には、道路交差部の道路形状に合わせて、延長の短い柵を45°の角度で繋ぎ合わせた角柵付のものもある(図5)。

防雪柵開口部に副防雪柵を設置することにより、開口部の局所的な視程障害や強風を緩和することができる。ただし、副防雪柵の視程障害や強風を緩和する効果の程度は、吹雪時の風向等の現地条件等により異なる。

副防雪柵による対策効果の例を図6に示す。図6より、開口部における風速の増加と視程の低下は、副防雪柵の

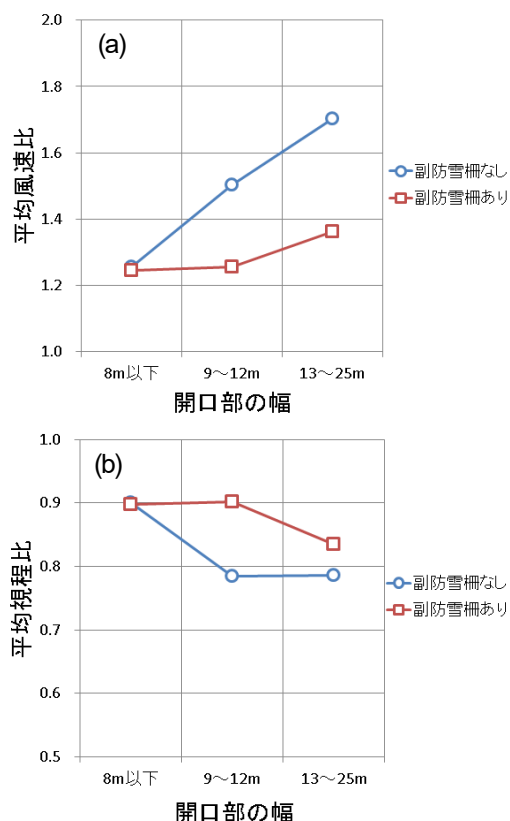


図6 開口部延長(幅)と(a)風速比、(b)視程比の関係²⁾

L字型副防雪柵が設置されている開口部(□)と設置されていない開口部(○)の移動気象観測による比較。

有無に関わらず開口部の延長(幅)が大きくなるほど顕著になるが、副防雪柵を設置した場合には風速の増加と視程の低下が抑えられる²⁾。この他、副防雪柵を設置した開口部では、設置しない場合に比べて吹雪時の視程が100m未満となる割合が16%から6%に減少し⁵⁾、副防雪柵の設置によってドライバーのアクセルやブレーキ操作のばらつきが小さく車速の低下が抑えられる傾向があることも確認された⁸⁾。ただし、吹雪時の風向が本線の防雪柵に直交する場合等の条件によっては、副防雪柵の設置により風が強まり視程が低下する場合^{9),12),13),17)}がある。

(4) 副防雪柵による開口部対策の実施

副防雪柵を用いた開口部対策実施のための主な着眼点を整理した。防雪柵の開口部に副防雪柵を設置する際は、前述の(3)で示した副防雪柵の利点や留意事項等の特徴と、対策を行う箇所の現地条件や設置にかかる費用等を勘案して、総合的な観点から検討を行う。現地条件の主なものは、吹雪時の卓越風向等の気象条件、副防雪柵を設置することが可能な用地確保の可否等である。

吹雪時の卓越風向は、副防雪柵の開口部における片側設置または両側設置を判断するための基本的な情報となる。また、吹雪時の卓越風向が本線の防雪柵に直交する場合は、前述の(3)のとおり、副防雪柵を開口部に設置すると風速が逆に強まる場合^{9),12),13),17)}がある。よって、副防雪柵による開口部対策を実施する際は、直交風の頻度が極めて高いのか、他の風向とわずかの差で直交方向の頻度が高いのか等の吹雪時の卓越風向と、それに伴う視程障害の程度に留意する必要がある。

副防雪柵の設置に必要な用地幅(図4、図5を参照)については、吹き止め柵の設置位置が路肩端から6.5~10mであること¹⁾に基づき、これを含めた用地幅を本技術資料(案)で示す。なお、対策する開口部の道路構造や土地利用状況に基づく用地確保の可否等により、副防雪柵を設置できない場合も考えられるので、副防雪柵による開口部対策を計画した段階で、道路用地条件に関する詳細な情報を事前に調査しておくことが望ましい。

副防雪柵の設置にかかる費用に関しては、本技術資料(案)では副防雪柵個々の各部材の数量を提示する。副防雪柵による対策を検討する際は、この数量に基づく材料費や施工費に加えて、路線全体や工区全体において対策すべき開口部の箇所数に基づく総費用の観点からも検討する必要がある。

副防雪柵の柵高や防雪板等の構造は、基本的に本線の防雪柵と同じである。ただし、吹き止め柵に設けられることが多い柵上部の忍び返しは、副防雪柵においては必ずしも必要ではない。その他、本技術資料(案)では、副防雪柵の開口部における片側設置と両側設置、副防雪柵の設置延長等について参考となる考え方を示す。なお、副防雪柵を設置する際は、交差点付近におけるドライバーの視距の確保等についても留意する必要がある。

5. 開口部対策のその他の技術的事項(第4章)

本技術資料(案)の第4章「開口部対策のその他の技術的事項」では、新たな形式の副防雪柵の技術的な紹介と防雪柵の端部対策について触れ、防雪柵の開口部対策工を例示している。

(1) 新たな形式の副防雪柵について

新たな形式の副防雪柵として、斜行柵群(図-7)と鉤型(くの字型)副防雪柵(図-8)がある。これらの副防雪柵は、実際の道路での施工実績はないが、寒地土木研究所の石狩吹雪実験場(石狩市美登位)で実物大の防雪柵を用いた現地観測等が行われている。それらの結果^{10), 11), 15), 17), 18)}、開口部における視程障害や強風を緩和する効果を有することが確認されている。以下では、これらの新たな形式の副防雪柵を紹介する。

本線の防雪柵に直交する風向でも開口部における視程障害を緩和できる副防雪柵の開発を目的として、副防雪柵の設置角度を変えた場合の防雪柵周辺の風速分布に関する数値シミュレーション解析^{17), 18)}を実施し、また防雪柵に関する既往技術²⁰⁾も参考に検討を行った。その結果、防雪柵に直交する風と斜めからの風の両方に対して開口部における視程障害の緩和効果を有するように、防雪柵の1スパン分(幅3 m)の柵を複数枚並べて配置した副防雪柵(図-7)を考案した¹⁷⁾。この副防雪柵を「斜行柵群」と呼ぶ。

斜行柵群は3~4枚の柵から構成され、開口部の両側に設置する場合はその倍の数量が必要になる。一方、副防雪柵の設置にかかる用地の制約や整備費を鑑みれば、柵の枚数は可能な限り少なく、かつ設置に要する面積はできるだけ小さい方が望ましい。そこで、柵の枚数をより少なくして設置に必要な用地幅を小さくするため、防雪柵の1スパン分(幅3 m)の柵2枚を直角に連結して本線の防雪柵から離して設置する副防雪柵(図-8)を考案した¹⁷⁾。この副防雪柵を、「鉤型(くの字型)副防雪柵」と呼ぶ。

斜行柵群と鉤型副防雪柵の防雪柵開口部における強風緩和効果については、数値シミュレーション解析^{17), 18)}や防雪柵模型を用いた風洞実験¹⁵⁾が行われ、直交風の際も開口部における強風緩和効果を有することが確認されている。また、実寸大の防雪柵を用いた現地観測^{10), 11)}でも、直交風時の開口部における視程低下を緩和する効果があることが確認されている(図-9)。

これらの新たな形式の副防雪柵を設置する場合は、L字型副防雪柵(4.参照)を含めた各副防雪柵の利点や留意事項等の特徴と、対策を行う箇所の吹雪時の気象状況や設置に必要な用地確保の可否などの現地条件、設置にかかる費用等を勘案して総合的な観点で検討を行う。

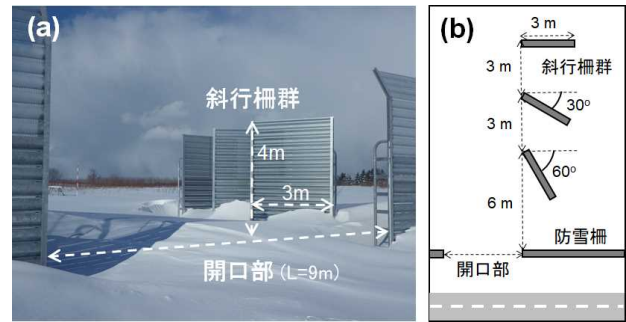


図-7 斜行柵群

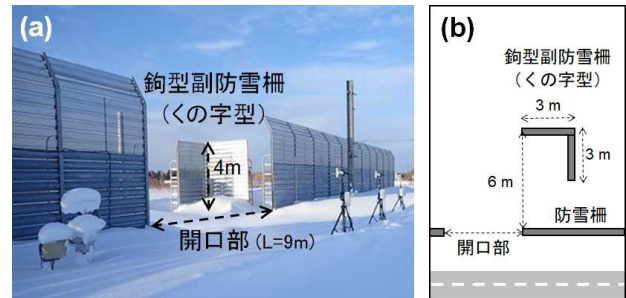


図-8 鉤型(くの字型)副防雪柵

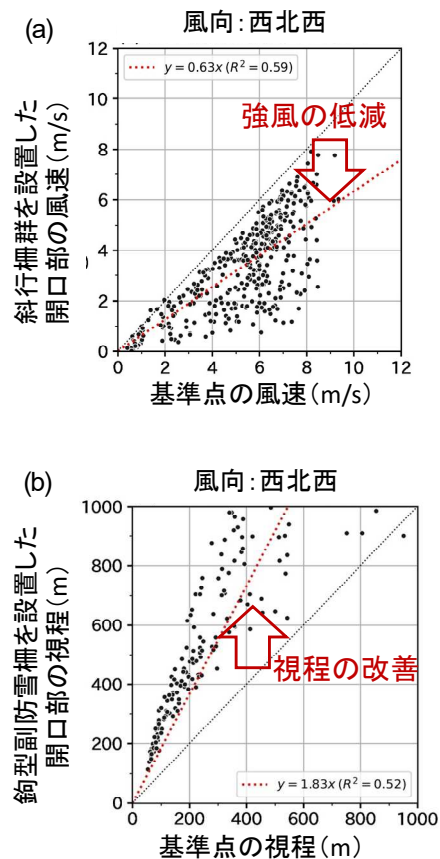


図-9 斜行柵群と鉤型副防雪柵の現地観測結果の例¹¹⁾

防雪柵の風上50 mの基準点の観測値と、(a)斜行柵群を設置した開口部の風速の観測値、(b)鉤型副防雪柵を設置した開口部の視程の観測値の比較例。

(2) その他の技術的事項について

本技術資料(案)で示した防雪柵の開口部対策は、防雪柵の端部における視程急変の緩和対策としても活用することができる⁸⁾。また、本技術資料(案)では、防雪柵開口部の対策施設の施工事例として、L字型副防雪柵の他、門扉式の柵の設置や脱着式の基礎を用いた防雪柵を採用した事例を例示する。

6. おわりに

本技術資料(案)は、防雪柵開口部における吹雪時の視程障害や副防雪柵による視程障害の緩和対策等に関して実施した調査結果から、現時点において得られている知見をまとめたものである。しかし、副防雪柵の効果等について全ての条件で実験や観測、解析を実施できたわけではない。今後の観測や解析等によって新たな知見が得られた場合には、本技術資料(案)の内容を加筆または修正する場合がある。

本技術資料(案)は、現在、掲載内容の最終確認を行っている段階であり、今後、寒地土木研究所ホームページで公開する予定である。本技術資料(案)が、防雪柵の開口部対策を検討または実施する際に、少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 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)、p. 567、2011.
- 2) 小中隆範、伊東靖彦、松澤 勝：吹雪時における防雪柵開口部の移動気象観測、寒地土木研究所月報、No. 774、pp. 17-22、2017.
- 3) 竹内政夫：吹雪時の視程に関する研究、土木試験所報告、第 74 号、p. 31、1980.
- 4) 福澤義文、加治屋安彦、金子 学、川上俊一、金田安弘：防雪柵端部での吹雪による視程の急変とその対策 - 数値シミュレーションによる検討 -、北海道の雪氷、第 16 号、pp. 41-43、1997.
- 5) 伊東靖彦、福澤義文、松澤 勝：防雪柵開口部における視程障害に関する考察、土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集、pp. 539-540、2003.
- 6) 小中隆範、金子 学、高橋丞二、松澤 勝：防雪柵開口部における運転挙動の考察、寒地土木研究所月報、No. 782、pp. 31-36、2018.
- 7) 金子 学、小中隆範、高橋丞二：吹き止め式防雪柵の開口部における風速と視程の変動について、寒地土木研究所月報、No. 802、pp. 42-46、2020.
- 8) 松下拓樹、金子 学、高橋 渉、櫻井俊光、松島哲郎：防雪柵開口部・端部における副防雪柵の対策効果について、寒地技術論文・報告集、Vol. 36、pp. 112-117、2020.
- 9) 高橋 渉、櫻井俊光、金子 学、松下拓樹：防雪柵開口部における副防雪柵の対策効果について、寒地土木研究所月報、No. 810、pp. 35-42、2020.
- 10) 松下拓樹、櫻井俊光、松島哲郎、吉井昭博、遠藤康男、西村敦史：防雪柵開口部の斜行柵群による視程と風速の緩和対策、寒地土木研究所月報、No. 825、pp. 2-11、2021.
- 11) Sugawara, K., Sakurai, T., Matsushita, H., Matsushima, T., Yoshii, A., Nishimura, A. and Ono, S. : New counter-measures to mitigate blowing snow at apertural areas in snow fences. The 102th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, 2023.
- 12) 幸田 勝、伊藤義和、植野英睦：風洞実験による防雪柵開口部における風速変化の把握、寒地土木研究所月報、No. 787、pp. 32-38、2018.
- 13) 齋藤 勉、植野英睦、伊藤義和、幸田 勝：副防雪柵の違いによる防雪柵開口部の風速への影響について、寒地土木研究所月報、No. 799、pp. 16-23、2019.
- 14) 齋藤 勉、植野英睦、戸川卓治：防雪柵開口部における副防雪柵の長さの違いによる風況把握に関する風洞実験、寒地土木研究所月報、No. 826、pp. 21-26、2022.
- 15) 齋藤 勉、植野英睦、山崎貴志：防雪柵開口部の新型柵による風速緩和に関する風洞実験、寒地技術論文・報告集、Vol. 38、pp. 184-189、2022.
- 16) 金子 学、櫻井俊光、高橋丞二：防雪柵開口部における風の現地観測と数値解析、寒地土木研究所月報、No. 804、pp. 14-18、2020.
- 17) 櫻井俊光、菅原邦泰、松下拓樹、松島哲郎、西村敦史、植野英睦、齋藤 勉、片野浩司：数値シミュレーションを利用した防雪柵開口部における新型副防雪柵の検討、寒地土木研究所月報、No. 827、pp. 27-32、2022.
- 18) Sakurai, T., Sugawara, K., Matsushita, H., Matsushima, T., Nishimura, A. and Ono, S. : Arrangements of secondary snow fences as countermeasures against the end effect based on 3D numerical simulation. The 102th Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, 2023.
- 19) 福澤義文、加治屋安彦、畠山拓司：防雪柵端部付近における視程障害と対策、第 24 回日本道路会議一般論文集(A)、pp. 358-359、2001.
- 20) Tabler, R. D. : Controlling blowing and drifting snow with snow fences and road design. Final Report, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, 307pp, 2003.