

防雪柵開口部における新たな視程緩和対策 —斜行柵群による視程緩和効果に関する現地観測—

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、吹雪視程の低下を緩和する副防雪柵が設置され効果を有しているが、直交風等の条件ではその効果が限定的となる場合がある。そこで、新たな副防雪柵として数値シミュレーション等により考案された、幅3mの防雪柵3枚の向きを変えて並べた副防雪柵（斜行柵群）の視程緩和効果について現地観測を行った。その結果、斜行柵群により、直交風の条件でも視程低下を緩和できることが示された。

キーワード：防災、吹雪、自然災害、維持・管理

1. はじめに

道路の吹雪対策施設として防雪柵が整備されている¹⁾。防雪柵は連続的に設置されるが、取付道路や道路の交差部等では防雪柵を設置できない。このような防雪柵（ここでは「吹き止め式防雪柵」を単に「防雪柵」と呼ぶ）の開口部では、吹雪視程の急激な低下^{2),3)}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⁴⁾。現在、防雪柵開口部の視程急変の緩和対策として、延長の短い柵（副防雪柵）が防雪柵端部に直角に設置（端部をL字型に加工）されている^{1),2),5)}。

寒地土木研究所では、これまでに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、副防雪柵設置による視程と風速の急変緩和効果について、実際の道路における移動気象観測^{6)~10)}や石狩吹雪実験場での現地観測¹¹⁾、防雪柵模型を用いた風洞実験^{12)~14)}、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^{15),16)}を実施した。それらの結果、副防雪柵の設置により防雪柵開口部の視程低下や風速増加が緩和されることを

示した。しかし、吹雪時の風向が防雪柵に直交する場合など、気象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があることも示された^{11)~13)}。

そこで、防雪柵に対して直交する風でも視程や風速の急変緩和効果を有する開口部対策手法を、数値シミュレーション¹⁷⁾や風洞実験¹⁸⁾により検討した。それらの結果、**図-1**に示すような幅3m、高さ4mの防雪柵3枚の向きをそれぞれ変えて並べた副防雪柵（以降、斜行柵群とする）が、直交風でも風速の緩和効果を有することを確認した。ここでは、この斜行柵群の視程の急変緩和効果を明らかにするために行った現地観測の結果を報告する。

2. 現地観測の方法

現地観測は、寒地土木研究所の石狩吹雪実験場（北海道石狩市美登位）の防雪柵（高さ：5.07m、延長：102m）が設置されている試験道路で実施した。**図-2**に示すように、この防雪柵には開口部（延長：9m）が2箇所設けられており、一方の開口部の片側に斜行柵群を設置し、もう一方の開口部は比較のため無対策とした。

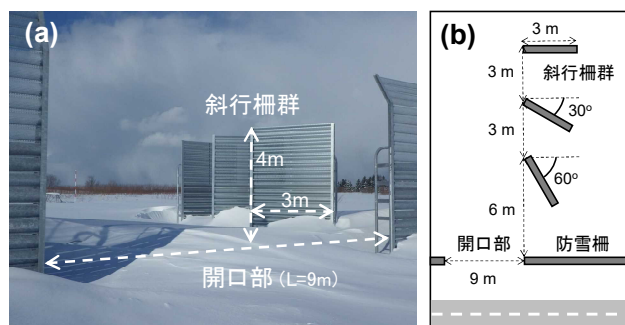


図-1 斜行柵群による防雪柵開口部の対策手法
(a)石狩吹雪実験場における設置状況、(b)平面概要図。

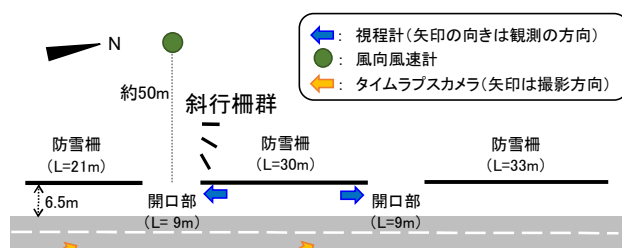


図-2 石狩吹雪実験場の防雪柵と観測機器の配置

この防雪柵の設置方向は、北の方角から時計回りに約11度傾いている。よって、防雪柵に直交する風向は、16方位の西と西北西の間にある(図-3)。斜行柵群を設置した開口部では、西風は直交方向から約10度斜行柵群を設置していない側からの風となり、同じく西北西風は直交方向から約10度斜行柵群を設置した側からの風となる。ここでは、直交風を西と西北西の風、斜風を西南西と北西の風とする。風向の観測は、防雪柵の影響を避けるために風上側約50mの位置で行い(図-2)、10分間の最多風向を算出して解析に用いた。

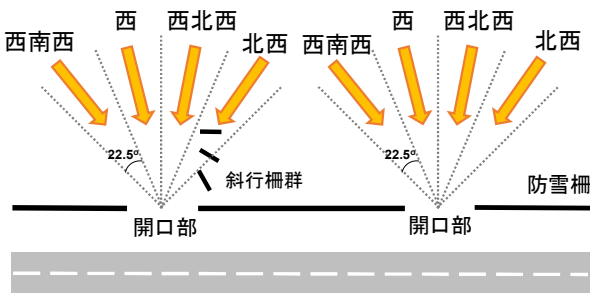


図-3 防雪柵の向きと風向の関係

視程の観測は、図-2に示すように、2箇所の開口部の道路側(防雪柵から風下に6.5mまでの範囲)に、視程計(明星電気製: TZE-4、設置高: 1.5m)を設置して行い、開口部対策の有無による視程の比較を行った。視程の観測データは1.0秒間隔で取得し、解析は10分間の視程の中央値を算出して行った。また、タイムラプスカメラ(Brinno製: BCC100、設置高: 2.0m)による開口部の画像を10分間隔で記録した。観測期間は、2021年1月18日12時から2月18日24時の1か月である。なお、観測期間中、試験道路上の除雪を随時行った。

3. 観測結果

(1) 視程の観測値の比較

図-4と図-5は、無対策の開口部(横軸)と斜行柵群を設置した開口部(縦軸)の同時刻の視程を、風向別に比較した結果である。ただし、2箇所の開口部のうちいずれかの視程が1000m以上となった観測値は除いた。

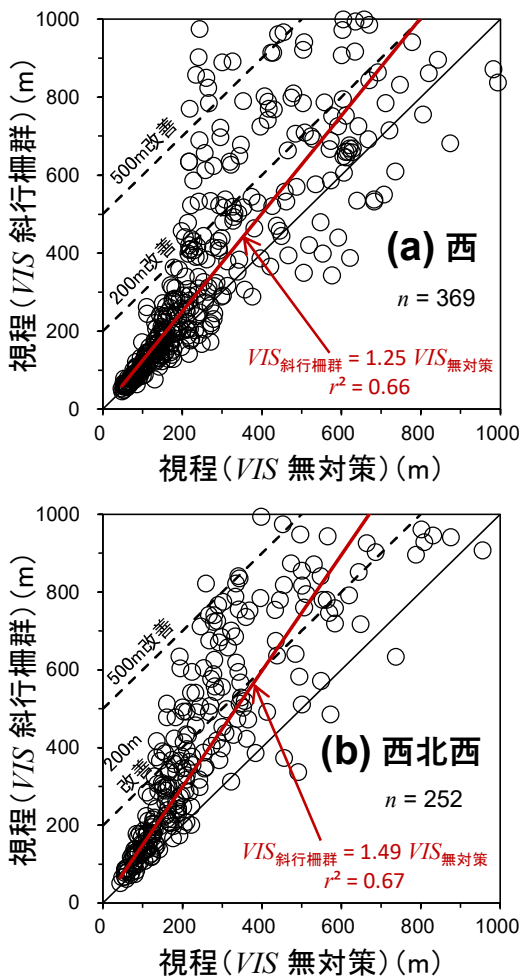


図-4 開口部対策の有無による視程の比較(直交風)
(a)西風と(b)西北西風。赤:回帰式、 r^2 :決定係数、 n :データ数。

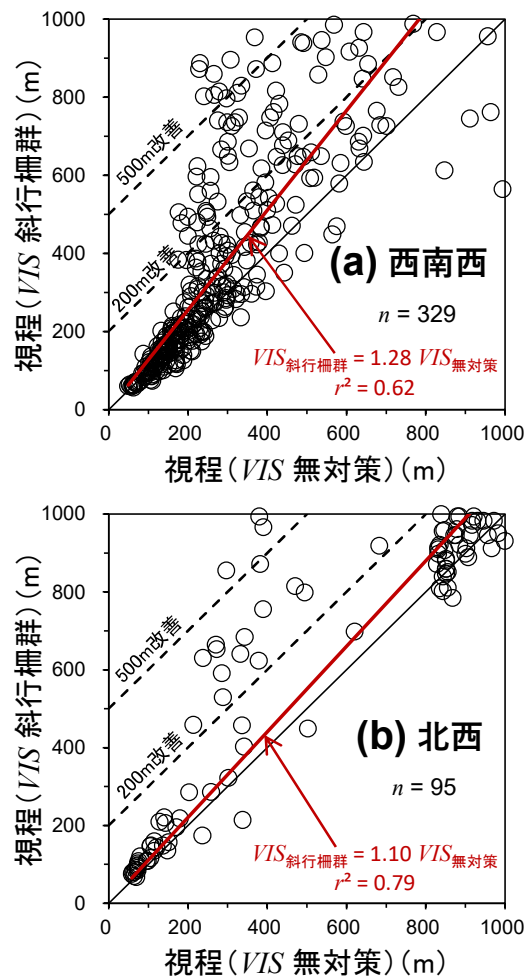


図-5 開口部対策の有無による視程の比較(斜風)
(a)西南西風と(b)北西風。その他は図-4に同じ。

図4の直交風の場合、無対策開口部より斜行柵群を設置した開口部の視程が大きく（視程が改善し）、図中の回帰直線から、斜行柵群を設置した開口部の視程は、無対策開口部の視程に対して、西風（図4(a)）で1.25倍、西北西風（図4(b)）で1.49倍となった。西風（図4(a)）で、斜行柵群を設置した開口部の視程が、無対策の開口部の視程を上回るデータの割合は77.0%、200m以上大きくなる割合は16.3%であった。また、西北西風（図4(b)）では、斜行柵群を設置した開口部の視程が無対策開口部の視程を下回る例はほとんどなく、斜行柵群を設置した開口部の視程が、無対策開口部の視程を上回る割合は93.7%であり、200m以上大きくなる割合は30.6%であった。

図5の斜風の場合でも、無対策開口部より斜行柵群を設置した開口部の視程が大きい結果となった。図中の回帰直線から、斜行柵群を設置した開口部の視程は、無対策開口部の視程に対して、西南西風（図5(a)）で1.28倍、北西風（図5(b)）で1.10倍となった。西南西風（図5(a)）では、斜行柵群を設置した開口部の視程が、無対策開口部の視程を上回る割合は71.1%、200m以上大きくなる割合は18.8%であった。また、北西風の場合（図5(b)）、斜行柵群を設置した開口部の視程が無対策開口部の視程を下回る例はほとんどなく、斜行柵群を設置した開口部の視程が、無対策開口部の視程を上回る割合は81.1%、200m以上大きくなる割合は17.9%であった。

図6は、上記で説明した、斜行柵群を設置した開口部の視程が無対策開口部の視程を上回る割合を、視程改善率と定義して、風向別にまとめた結果である。いずれの風向でも斜行柵群の設置により視程の改善がみられ（視程改善率が正となり）、特に防雪柵に直交する風向（西と西北西）でも、斜行柵群の設置により視程低下の緩和を見込むことができると言える。なお、西南西風や西風より、西北西風や北西風で視程改善率が高いのは、これらが斜行柵群を設置した側からの風向であり、斜行柵群の効果がより強く現れたためと考えられる。

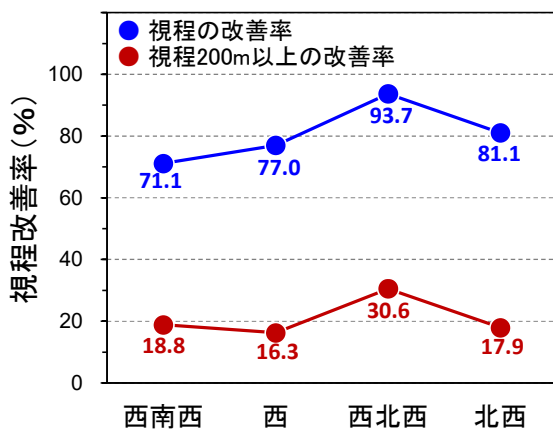


図6 斜行柵群による風向別の視程改善率

視程改善率とは、斜行柵群を設置した開口部の視程が、無対策開口部の視程を上回る割合のことである。

(2) 視程の観測数の比較

図7と図8は、視程の100m間隔（例えば、100m以上かつ200m未満など）の観測数を求めて、斜行柵群を設置した場合と無対策の場合を風向別に比較した結果である。直交風の西風（図7(a)）では、視程600m未満で斜行柵群を設置した開口部の観測数が少なく、視程600m未満の観測数は、無対策で421件、斜行柵群を設置した場合で293件となり、斜行柵群の設置により30.4%減少した。同様に西北西風の場合（図7(b)）、視程400m未満で、斜行柵群を設置した開口部の観測数が少なくなり、特に視程200m未満となる観測数は43.0%の減少となった。一方、斜風の西南西風（図8(a)）では、視程700m未満で斜行柵群を設置した開口部の観測数が少なく、北西風の場合（図8(b)）は、視程600m未満で斜行柵群を設置した開口部の観測数が少ない結果となった。

図9は、図7と図8でみられた、斜行柵群を設置した開口部の視程の観測数が、無対策開口部の視程の観測数を下回る割合を視程観測数の減少率として、風向別にまと

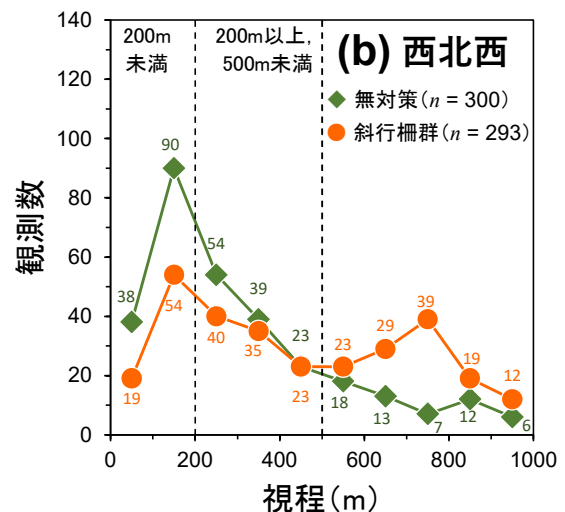
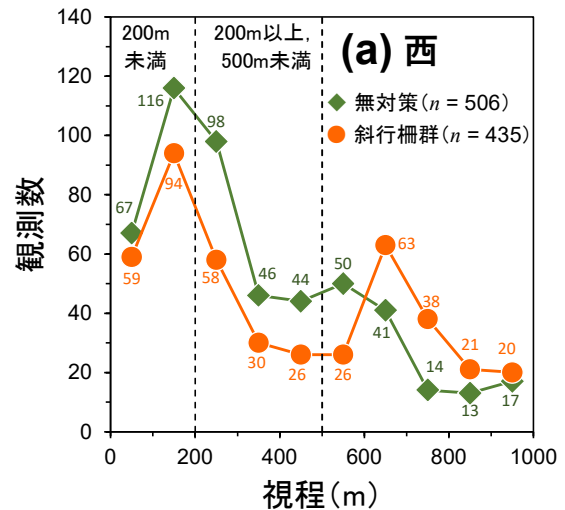


図7 開口部対策の有無による視程別観測数の比較（直交風）
風向が(a)西と(b)西北西の視程の100m間隔（例えば、100m以上かつ200m未満など）の観測数。nは全データ数。

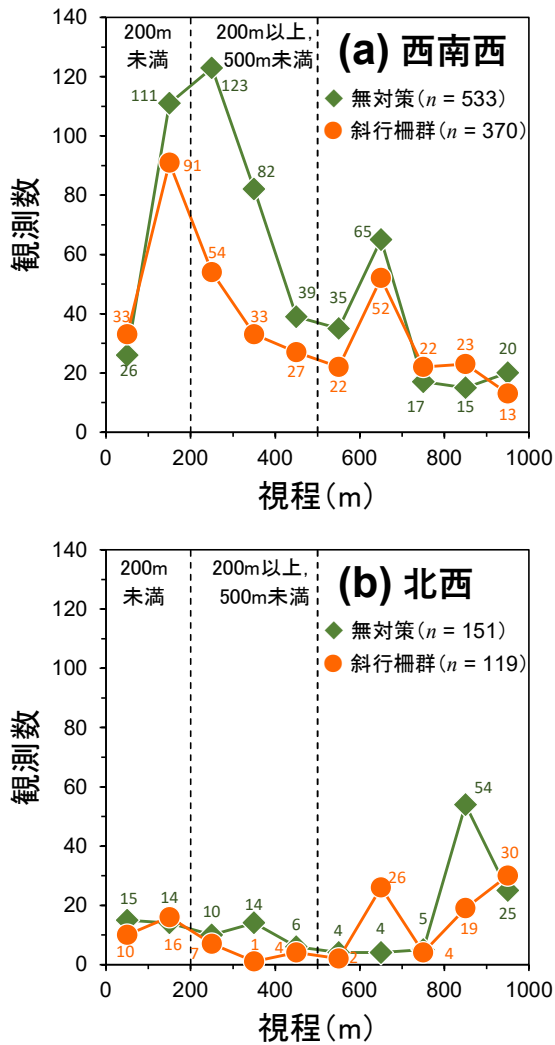


図8 開口部対策の有無による視程別観測数の比較 (斜風)
風向が(a)西南西と(b)北西の視程の100m間隔の観測数。その他は図-7に同じ。

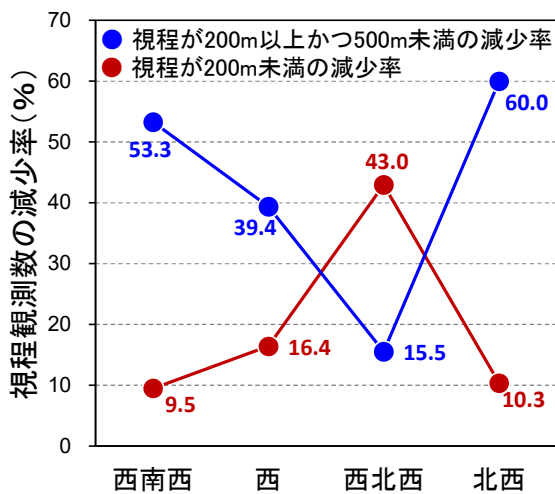


図9 斜行柵群による風向別の視程観測数の減少率
視程観測数の減少率とは、斜行柵群を設置した開口部の視程の観測数が、無対策開口部の視程の観測数を下回る割合のことである。

めた結果である。なお図-9には、視程200m未満の観測数の減少率(図-9の赤線)と、視程200m以上かつ500m未満の観測数の減少率(図-9の青線)を示す。いずれの風向でも、斜行柵群の設置により、これらの視程の観測数が減少する(減少率が正となる)傾向がみられる。特に、視程200m未満の観測数は、防雪柵に直交する西北西風の際に大きく減少する結果となった。その他の風向では、視程200m未満の観測数の減少率よりも視程200m以上かつ500m未満の観測数の減少率が高い傾向にある。以上より、視程が顕著に低下する観測数(頻度)の比較でも、斜行柵群の設置により視程低下が緩和される結果が得られた。

(3) タイムラプス画像による比較

図4や図5によると、斜行柵群の設置によって、無対策の開口部に比べて視程が500m以上改善する場合もある。この一例として、写真-1に、2021年2月5日7時30分における2箇所の開口部のタイムラプスカメラ画像を示す。このときの視程は、無対策開口部(写真-1(b))では1000m以上であった。また画像から、降雪はないが、無対策開口部(写真-1(b))の雪面付近が雪煙で霞んでいる。つまり、地吹雪が発生している。この写真-1の例のように、図4や図5において無対策開口部の視程に対して斜行柵群を設置した開口部の視程が大きく改善されるのは、地吹雪発生時であることが多く、斜行柵群は、地吹雪発生時において特に視程緩和効果を有すると考えられる。

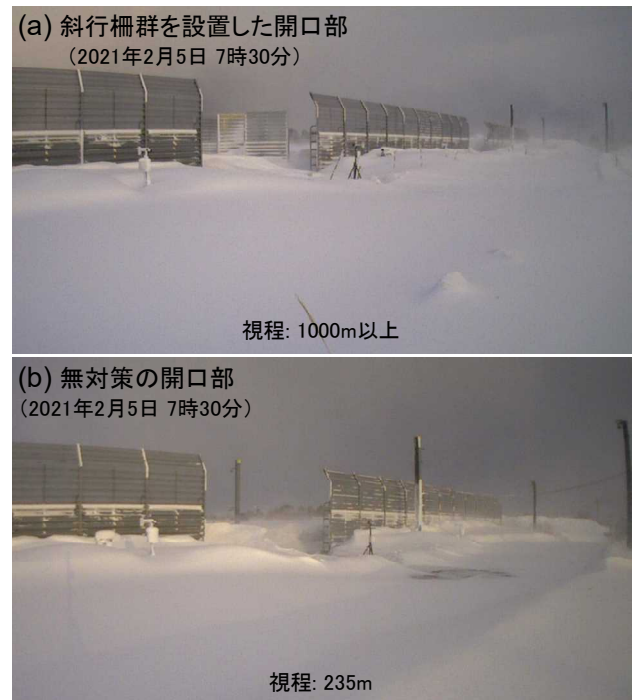


写真-1 地吹雪時の開口部の状況の例

2021年2月5日7時30分の(a)斜行柵群を設置した開口部と、(b)無対策開口部のタイムラプスカメラ画像。風速4.8m/s、西風。

また、写真-1より、無対策開口部と斜行柵群を設置した開口部の道路上の堆雪状況を比較すると、斜行柵群を設置した開口部（写真-1(a)）では、路面は雪に覆われて見えないが、無対策の開口部（写真-1(b)）では黒い路面が見えている。これは、斜行柵群を設置した開口部の路上では比較的風が弱い、無対策開口部では、強い風によって路面上の雪が吹き払われたためと考えられる。よって、斜行柵群の設置により開口部における強風の発生も緩和されると考えられる。斜行柵群による風速の急変緩和効果に関する現地観測の詳しい結果は、別報¹⁹⁾を参照いただきたい。

4. おわりに

防雪柵開口部における新たな対策手法として、斜行柵群（幅3mの防雪柵3枚の向きをそれぞれ変えて並べた副防雪柵）を設置した場合の視程の急変緩和効果に関する現地観測を行った。観測結果は、次のとおりである。

結果1：斜行柵群の設置により、無対策の場合に比べて、開口部の視程の低下が緩和された。特に、斜行柵群の設置により、視程が200m以上改善する割合（改善率）は、16.3～30.6%であった。

結果2：斜行柵群の設置により、無対策の場合に比べて、開口部の視程低下の観測数（頻度）が減少した。例えば、斜行柵群の設置による視程200m未満の観測数の減少率は、9.5～43.0%であった。

結果3：上記1と2の結果は、風向が防雪柵に直交する場合（西風と西北西風）でも確認され、斜行柵群の設置により、直交風の条件でも視程低下を緩和することができると考えられる。

今後は、観測データの蓄積と風洞実験や数値シミュレーション解析の結果も合わせた検討を行い、斜行柵群の視程や風速の急変緩和効果が最も発揮される条件などを明らかにしていく。なお、斜行柵群の設置には、防雪柵から奥に12m程度の敷地が必要になり、対策が必要なすべての箇所では設置できるとは限らない。本研究では、設置面積がより小さい副防雪柵^{17), 18)}についても検討を進めており、今後現地観測を行う予定である。

謝辞：斜行柵群の机上検討と現地観測の立ち上げは、当時寒地土木研究所雪氷チームに所属していた金子学氏と高橋渉氏と行った。ここに記して感謝申し上げる。

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) 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。
- 3) 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 回日本道路学会一般論文集(A)、pp. 358-359、2001。
- 4) 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。
- 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、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。
- 7) 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視程急変に関する現地調査、寒地技術論文・報告集、Vol. 33、pp. 120-124、2017。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 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。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 齋藤 勉、植野英睦、菅原彰人：副防雪柵による防雪柵開口部の視程急変緩和効果について、寒地技術論文・報告集、Vol. 36、pp. 118-123、2020。
- 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) 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。
- 16) 金子 学、櫻井俊光、萬 直樹：防雪柵開口部における風の現地観測と数値解析 - 副防雪柵の風向別強風軽減効果 -、寒地土木研究所月報、No. 818、pp. 13-17、2021。
- 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、(印刷中)、2022。
- 18) 齋藤 勉、植野英睦、戸川卓治：防雪柵開口部の補助柵の違いによる風況把握に関する風洞実験、寒地技術論文・報告集、Vol. 37、pp. 145-150、2021。
- 19) 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。