

防雪柵の防雪容量に関する基礎研究

○松沢勝、福沢義文、伊東靖彦、加治屋安彦（北海道開発土木研究所）
阿部正明（北海道開発技術センター）、永田泰浩（日本気象協会）、竹内政夫（雪研SE）

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地の道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりが道路交通の安全確保にとって大きな障害となっている。これまで、防雪柵や防雪林、スノーシェルター等の各種吹雪対策が行われてきた結果、かつては年間 100 件以上あった冬の国道における通行止めは、約 20～50 件／年程度まで減少してきている。

吹雪対策施設のうち防雪柵には写真 1 のように、大きく分けて、吹きだめ柵、吹き払い柵、吹き止め柵の 3 種類ある。吹きだめ柵は、道路の風上側に数十メートルほど離れた位置に設置し、柵の前後に雪を溜めることで道路上への飛雪の吹き込みを防ぐもので、吹きだまり防止効果が高い。吹き払い柵は、風上側の路側に道路に近接して設置し、柵の下部間隙から吹き抜ける強い風で、道路上の雪を吹き飛ばすことで、主として視程障害を防ぐ機能を持つ。ただし吹き払いの効果は、柵高の 2 倍程度の距離までであるため、4 車線以上の道路では、吹き止め柵が利用されている。吹き止め柵は、柵の下部間隙をなくし、空隙率を低くして柵高を高くすることにより、道路上に吹き込む飛雪を止めると共に風速を低下させ、主として視程障害を防ぐものである。

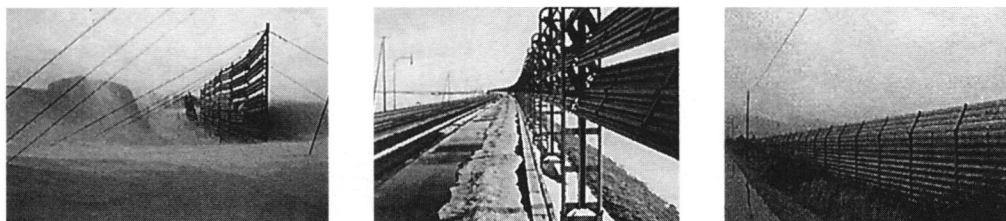


写真 1. 防雪柵（左：吹きだめ柵、中：吹き払い柵、右：吹き止め柵）

2. 吹き止め柵の設計と課題

防雪柵については、北海道開発局が平成 2 年 3 月に刊行した「道路吹雪対策マニュアル（案）防雪柵編」に基づいて設計され整備が行われている。

当時は、まだ吹き止め柵の設置事例が少なかったため、吹き止め柵の設計は、吹きだめ柵の設計方法を準用している。吹きだめ柵の単位幅当たりの防雪容量（ M_s ）は、防雪柵前後の吹きだまり雪丘が成長して柵が埋まった時点（平衡雪丘の形成時）での、柵の風上と風下の平衡雪丘の断面積の和で次の式で表される。

$$M_s = \{11.5(H - H_s)^2 + \{34 - 0.31(100 - E)\} (H - H_s)^2\} \quad (1)$$

ここで、 H ：平衡雪丘時に対する柵高(m)、 H_s ：平地積雪深(m)、 E ：柵の空隙率（=25%）

この式より、柵高を平地積雪深と、吹きだまり量で表したものが図 1 である。図 1 から求めた柵高に、吹きだめ柵は 1 m、吹き止め柵は 2 m の余裕高を加えて設計柵高とする。ただし、最高柵高は原則として 5.0 m 以下である。

ところが、近年、吹き止め柵が雪で埋没する事例が発生している。また、防雪柵設置後に柵の

風上側に土砂が盛られるなど、沿道環境の変化によって想定した防雪機能が発揮し得ないケースが出てきた。これらのことから、周囲の地形が平坦でない場合や、地形に変化が加えられた場合にも適用できる、防雪容量の推定モデルの策定など、吹き止め柵に関する設計方法の確立が必要となっている。

3. 吹き止め柵の防雪機能

吹き止め柵は、視程障害に対応するため、道路に近接して設置し、主として柵の風上側に吹きだまりを形成させる。図2の(1)のように、風上側の吹きだまりが防雪柵の上端近くに達した時点から、視程障害の防止効果が減少し、(2)で視程障害の防止効果は失われる。また、(2)の段階を過ぎると、道路上の吹きだまりを防止する効果も低下し始める。(3)は柵が完全に埋まった平衡状態で、この時の柵前後の吹きだまり量が柵の防雪容量である。視程障害防止を主目的とする吹き止め柵では、(1)の状態までが本来の防雪機能を期待でき、吹きだまり防止機能も損なわれる(2)の段階が、吹き止め柵の実質的な適用限界と言える。

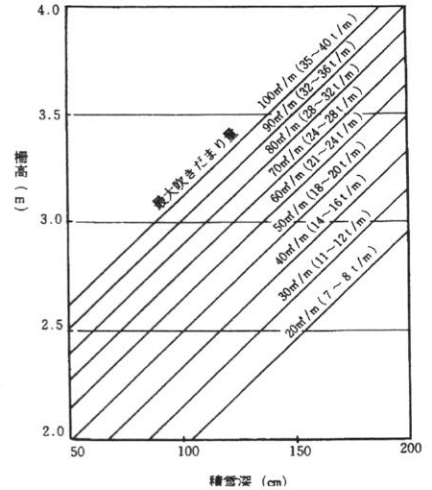


図1 積雪深と吹きだまり量と柵高の関係¹⁾

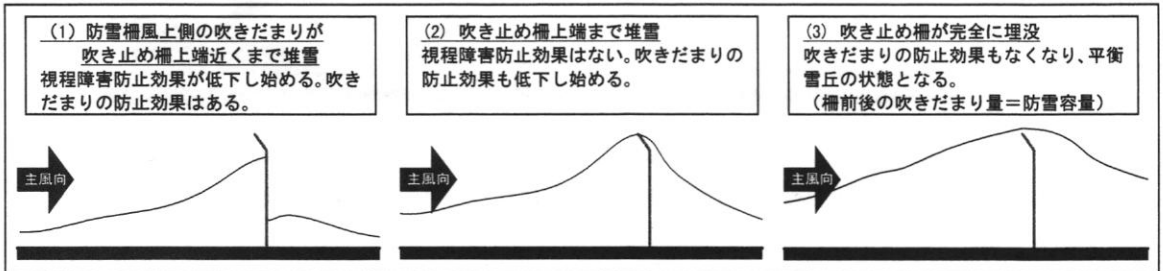


図2 吹き止め柵の吹きだまりの発達と防雪機能

4. 吹き止め柵の風上側吹きだまり量

図3に実際に計測された吹き止め柵の雪丘形状を示す。5つの事例のうち事例3、事例4では雪丘が成長して吹き止め柵の上端部まで達している。吹き止め柵の風上側の影響範囲は、事例1、事例2の雪丘形状から、吹きだめ柵と同様に、柵高の10倍程度であると言える。また、柵から柵高の2~3倍の範囲で多くの雪が吹き溜まっていることもわかる。

実質的な吹き止め柵の適用限界である、柵上端まで堆雪した際(図2の(2)の段階)の吹きだまり量の見積は、吹き止め柵を設計、整備する上で重要な指標であるが、この状態の風上側の吹きだまり量算定のために、図4のようなモデルを考える。吹き止め柵の単位幅あたりの風上側吹きだまり量(M_s)は、図4のように柵からの距離が $0 \sim 10\text{m} (= 2H)$ での吹きだまりAの断面積(M_A)と、緩やかに堆雪した吹きだまりB(M_B)の断面積の合計から推定できる。図3の事例3と事例4から、吹きだまりAの雪丘形状を、(水平距離:高さ=10:3)の傾きで直線近似する。この値を用いると、吹き止め柵の風上側の吹きだまり量(M_s)は(2)式によって表される。ただし、(2)式はあくまで事例3、4の観測条件(平地積雪深は2m以下)に適用できるもので

ある。(2)式に基づく計算により、適用限界での風上側の吹きだまり量を平地積雪深と柵高で表したのが図5である。

$$M_S = M_A + M_B = (1.4 H^2 - 2DH) + (1.6H^2 - 4DH) \quad (2)$$

ここに、 H = 吹き止め柵の高さ (m)、 D = 平地積雪深 (m)

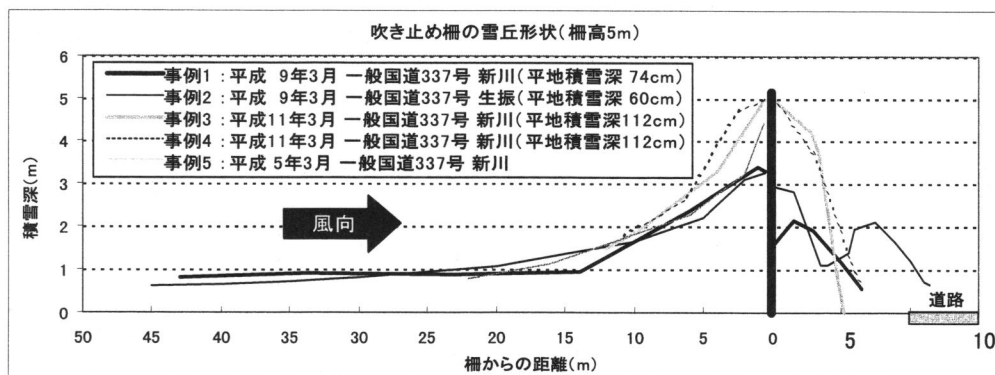


図3 吹き止め柵の雪丘形状 (柵高 5 m)

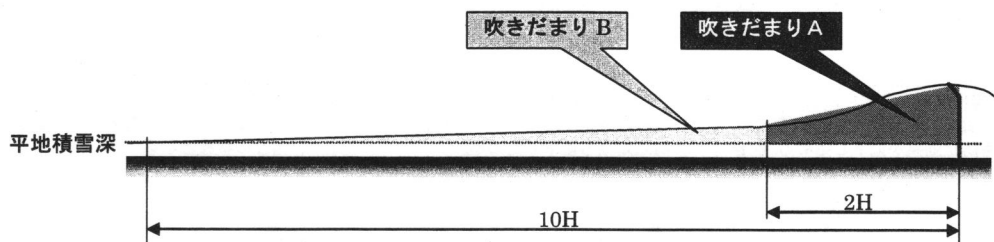


図4 吹き止め柵の視程障害防止機能が限界状態になった際の風上側吹きだまり量推定モデル

図5では、事例3と事例4の風上側吹きだまり量の実測値が、柵高5mの計算値から若干はずれている。これは、柵設置個所の地盤が平坦ではなかったことや、推定モデルでの吹きだまり形状近似の誤差によるものである。しかし、実際の防雪施設の設計においては、過剰にならない範囲で「安全側」で設計すればよく、設計時において、十分な再現期間を持った最大吹きだまり量と、積雪深を用いることで、この推定モデルの考え方が適用できると考えられる。なお、既存の最大吹きだまり量分布図²⁾は、柵の風下側の堆雪も含めているので、これを利用する場合は、風下側の堆雪も含めた吹きだまり量を算定する必要があるが、これ

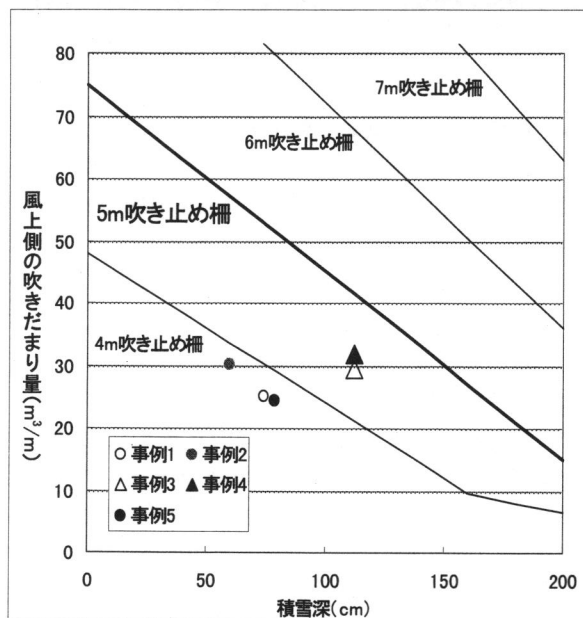


図5 柵高、積雪深と吹き止め柵適用限界での風上側吹きだまり量

については現在調査を進めている。

5. 防雪柵風上側の起伏への対応

防雪柵風上側に、土砂が捨てられていた事例（事例6）に関して、吹き止め柵の風上側吹きだまり量の推定モデルが適用可能か検討を行った（図6）。

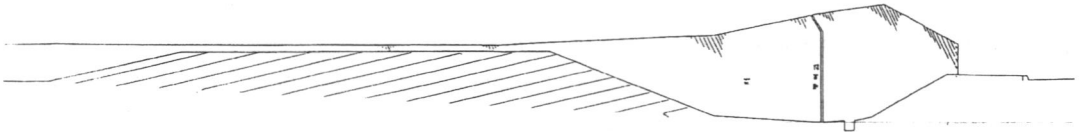


図6 風上側の盛土によって風上側の吹きだまりが少なくなっている事例（事例6）

事例6では、吹き止め柵が完全に埋没して、風下側にも大きく吹きだまりが形成されている。この時、吹き止め柵から10Hまでの範囲の吹きだまり量の測定値は $10.9 \text{ m}^3/\text{m}$ であった。計算上では、この時の平地積雪深 1.12 m に対して、高さ 5 m の吹き止め柵は風上側に $41.4 \text{ m}^3/\text{m}$ の吹きだまりを形成し得る。従って、その差である $30.5 \text{ m}^3/\text{m}$ が、地形の起伏による風上側吹きだまり量の損失と見なすことができる。一方、盛土部分の断面積は $32.7 \text{ m}^3/\text{m}$ であり、吹き止め柵の風上側吹きだまり量の損失とほぼ一致する（図7）。

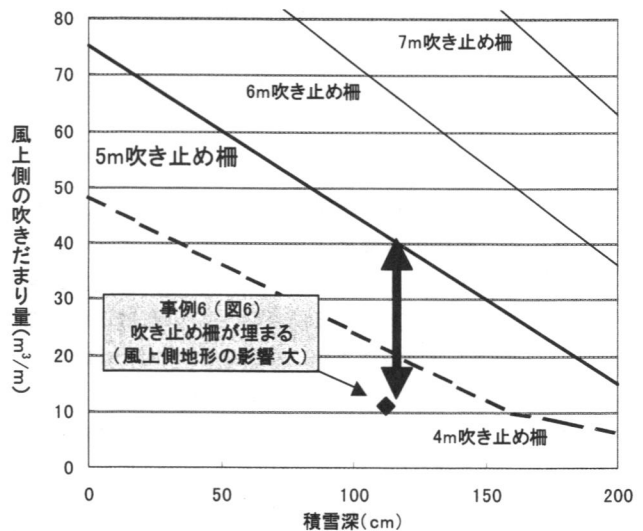


図7 風上側の地形による風上側吹きだまり量の損失

6. まとめ

吹き止め柵の柵高を決定するため、視程障害防止機能が限界状態になった際の、吹き止め柵の風上側の吹きだまり量を推定するモデルの考え方を示し実測データとの比較を行った結果、十分に適用可能であることを明らかにした。加えて、吹き止め柵の風上側に起伏のある場合、その断面積に相当する部分を考慮して柵高を決定することが必要であることを示し、その際にも今回の考え方が適用できることを示した。今回のモデルは、吹き止め柵の頂部まで雪丘が達した2つの事例に基づいて係数を与えている。今後、吹きだまりデータをさらに多く収集し、このモデルで与えた係数の信頼性の向上を図ることや、風下側の堆雪も含めたトータルとしての吹きだまり量の算定が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路吹雪対策マニュアル（案）防雪柵編，（社）北海道開発技術センター，127pp，平成2年3月。
- 2) 福沢義文、加治屋安彦、金子学、小林利章、金田安弘：全道の吹きだまり量分布の推定について，第14回寒地技術シンポジウム，74-79，1998。