解説・総説

吹雪とその対策 (5) ——防雪柵の技術史——

竹内政夫¹⁾

要 旨

西欧では吹きだまりを水資源として使うために牧柵に似た構造の柵が立てられた。柵はやがて鉄道の開通に伴って防雪柵として使われるようになった。最初の防雪柵は吹きだまり防止のための吹きだめ柵であり、その形状や構造、設置位置や使用法は試行錯誤の経験を積み重ねて改良されていった。経験の繰り返しから柵の構造と防雪機能が研究されるようになっていった。1930年頃に吹き払い柵を開発するために行った切土の気流観測のレベルは現在にも通用するものがあった。こうした経験を積み上げて防雪柵の機能を代表する構造の三つの要素、柵高、空隙率、下部間隙（柵と地表との間の離れ）の理解がされ始めた頃までは経験工学の時代といえる。ローカルな経験は気象や地形・環境条件の異なる地域での使用法を誤らせ、技術者の退任は経験を埋没させ失敗を繰り返すこともあった。経験工学が防雪工学となるのは1950年代のロシア（ソ連時代を含める）からで、その技術はアメリカで完成度を高め日本の防雪工学に影響を与えることになる。日本の家屋敷を雪や寒さから守る「雪囲い」は、日本独特の吹き止め柵として現代に蘇った。

キーワード：防雪柵、吹雪、吹きだまり、防雪工学

Key words: snow fence, blowing snow, snowdrift, snow control engineering

1. まえがき

吹雪対策としての防雪柵は、ヨーロッパ、北米、日本とも鉄道の開設とともに使われるようになった。その目的は、鉄道では吹きだまり防止であった。道路交通においても初めは吹きだまり防止であったが、やがて視程障害対策としての重要性を増していった。防雪柵の歴史は柵構造のようなハードな技術だけでなく、時代によって変わってきた柵の目的や柵の機能を生かして使うソフト的技術の歴史でもあった。ここでは、防雪柵の始まりから経験工学を経て防雪工学といえる技術に到るまでの進歩の過程に焦点をあてながら、ヨーロッパ（主としてソ連を含むロシア）、北米、日本の事例を中心に防雪柵の歩みを述べる。

1.1 防雪柵の始まり

ノルウエーの文献に約150年前に柵をたてて雪

を集め、それを家畜の飲み水にしたことを示す記述があり (Johnson, 1852)、世界で最も古い防雪柵の記録とされている。それは雪を集めるための集雪柵と呼ぶのがふさわしいような柵であるが、この種の柵は今でも乾燥地の牧場 (図1) や規模の大きいのは水源涵養区で見ることができる。多いところでは柵の幅1m当たりの吹きだまり量は200~300トンにもなるので、アメリカのロッキー山脈東山麓のように降水が雪のかたちでもたらされる地域では貴重な水資源である。ちなみに、防雪柵の英語は snow fence で防雪の意識は感じられない。西欧の防雪柵が牧場から生まれたのは、牧柵の周り主に風下に吹きだまりができるのを見て思いついたと想像できる。初めの頃の防雪柵は、構造も木や板を縦や横に互い違いに積み重ねて組み立てる牧柵のように、空隙率50%で高さも2m前後が多かった。防雪の目的で柵が使われるようになったのは、ヨーロッパが最も早く19世

1) (株) 雪研スノーイーターズ
〒064-0804 札幌市中央区南4条西6丁目11-2

図1 アメリカ合衆国ワイオミング州の集雪柵 (Tabler氏提供)。

牧場から生まれた、最も古い防雪柵は、集めた雪を水資源として利用するものであった。半乾燥地のワイオミング州では水源地に水源涵養のために大規模な集雪柵もある。

図2 移動柵のパネル。

ロシアで初めに使われたチトフが1863年に設計した移動柵のパネル。移設に便利なように2m四方程度の大きさで、普通は年に2～3回ほど柵が吹きだまりに埋没する前に移設した。

紀半ばに開通した鉄道の吹きだまり防止のためである。図2は1863年にロシアで最初に鉄道で使われた防雪柵である。防雪機能を失う前に何度も移設して使った、縦横約2mのパネルを1単位とした柵で各国とも最初はこのような移動柵であった。

北米では1868年に、大陸横断鉄道の防雪に大きな石のブロックを並べたものが最も古い防雪柵の一つとされている。1880年に出版された旅行記にワイオミング州を通る大陸横断鉄道沿いに、

図3 雪囲い (石狩市)。

「雪囲い」雪や寒さが敷地内に入らないようにしたものである。写真は北海道の日本海側の「雪囲い」であるが、日本には地方名で様々に呼ばれている「雪囲い」の文化がある。

空隙率50%の木板を水平に張った防雪柵が無数に設置されていたという記述がある (Tabler, 1994) ように、構造的には現在ヨーロッパやアメリカで標準的に使われているのとはほぼ同じである。

日本では、1880年代に鉄道の吹雪対策のために使われた「雪よけの板塀」が防雪柵の始まりである。日本の雪国では図3のように、風よけを兼ねて家屋の周りに板、茅や葦をたてかけた古くからの「雪囲い」の文化があった。「雪囲い」と家屋との間は近接していて囲いの内 (家屋) 側に雪が入らないようにしたもので、吹き寄せられた雪は囲いの外側に吹きだまる。「雪よけの板塀」とよばれていたことから「雪囲い」からの発想が読みとれるが、現在のスノーシェルターの構造を持つ木製の「雪覆」とともに評価は芳しくなく、やがて鉄道防雪林に代わっていった。防雪柵を吹きだまり防止のために使用するには、柵の構造とともに設置位置が重要である。しかし、「雪囲い」の経験では牧柵と違って、風下の吹きだまりが何処にどんな形状でできるか予測することは難しかったと思われる。「雪よけの板塀」が不評であったのは、吹きだまりのコントロールが巧く行かず、線路など思わぬところに吹きだまりができたためであろう。

1.2 経験と経験工学の限界

防雪柵はその土地の経験をヒントに生まれ、試

行錯誤の経験の積み重ねを経て技術は発達した。ハードな構造は朽ちるまで残るが、人に蓄積される経験は技術として伝わらないこともあった。ヨーロッパでは経験から経験工学を経て防雪工学へと順調に発展していったようにみえるが、アメリカでは経験や技術が継承されず長い間失われたことがあった。1930年代までは、Finney(1934)の風洞実験など初期の防雪柵や防雪を考慮した道路構造設計の指針となる研究が熱心に行われた。しかし、その後の半世紀の間、安価な燃料費や人件費によった機械力による雪処理に傾斜したため、防雪柵の研究は停止し豊富な経験は技術者の退任によって失われた(Tabler, 1994)。初期のテキストの設置位置の記述に間違いがあり、吹きだまりが線路に入るなど防雪柵への信頼を失した事情もあった(Tabler, 1994)。経験は技術者個人に、経験工学は経験した地域においては有効であったが、気象条件の異なる地域には適用できるとは限らず失敗することも多く信頼されなかったものと思われる。ここでは鉄道・道路の構造、気象や地形・植生に合わせて適用できる、普遍性のある技術を防雪工学とする。

2. 吹きだめ柵

防雪柵の歴史は、構造だけでなく時代によっても変わる柵の目的や使い方の歴史でもある。防雪柵の経験や使用技術など技術者に蓄積されていたノウハウが伝わらず失敗を繰り返した頃を経験の時代とすれば、経験に加えて吹きだまり堆雪の形状や気流が測定されるなどデータが蓄積され、防雪柵の機能や使用法が柵の構造で知られるようになってから経験工学の時代になったといえよう。ヨーロッパ(ロシア)では1920年代には経験工学時代に入ったと考えられる。防雪柵は構造的には、柵高、空隙率そして下部間隙の三つの要素で代表される。経験工学から発達して防雪工学になるが、防雪柵の三要素を理解し気象条件に合わせて設計できる技術レベルをここでは防雪工学とした。ロシアでは1930年代後半までに柵高と空隙率の機能に気がつくようになったが、防雪柵の研究は鉄道から道路を含むようになり、シベリアの運輸・燃料研究所と道路土木部によって行われた。第2次世界大戦が始まる1930年代後半まで

には、柵高、空隙率、防雪板の大きさ、水平柵、垂直柵の機能の違い、柵の傾斜(吹き払い柵)など、防雪柵の機能を代表するほぼ全ての要素が研究されている。三要素の残る下部間隙は、遅くとも1950年初めにはその効果が理解され利用するようになった(Komarov, 1959)。ここでは、防雪柵の三要素に焦点をあてて1930年代後半までの経験工学の時代から防雪工学に到るまでの歩みを述べる。

2.1 柵高と設置位置(離れ)

柵高を大きくすると吹きだまり堆雪量を大きくすることも知られるようになったが、移設を前提にしていたため資材や重量が高むことで敬遠されていた。しかし、吹雪量が多く、風雪の強さと低温のため防雪柵の移設が極めて困難な地域では、移動柵に代わって柵高の高い固定柵が使われるようになった。1930年代前半には、空隙率20%で2.13から6.46mまで柵高の異なる5種類の防雪柵による、柵高と道路中心線からの離れが研究されている。例えば柵高6.4mでは74.7m離すことになっている。これをもとに簡単に計算すると吹きだまり量は 200 m^3 をはるかに超え、離れを柵高の比で表すといずれも11~12倍の範囲にある。柵高による違いが小さいことからみると吹きだまり雪丘は平衡状態である可能性がある。もし平衡雪丘であれば、下部間隙の概念がなかったことから0であったとすると吹き止め柵に相当し、現在でも価値が高い結果といえる。柵高に経済性と耐風性から5mを限度とするガイドラインが設けられたのは1950年代である(Komarov, 1954)。柵の設置位置は風下吹きだまり雪丘の長さを基準に決めるべきであるが、柵高の関数で表されるのは平衡雪丘に限られる。吹きだまり平衡雪丘の長さを厳密に実測したのは1970年代初めに防雪柵の研究を始めたTabler(1994)であるが、空隙率0%で柵高の12倍、50%で34倍の値を得ている。竹内ら(1984)は吹きだまり量や風下雪丘長を柵密度(100-空隙率)、平地積雪深から求める多雪地に適用できる図・式を得ている。

2.2 空隙率と吹きだまり堆雪

ロシアのグリーンケビッチ・コルミコフ(1935)によって、空隙率と吹きだまり堆雪の形状について実験的に研究された。幾つかの地域の結果を総

合したものであり、非平衡状態で終わっているのが現在からみると定量的な数字は適当とはいえないが、定性的な記述は現在の知見と大差ない。例えば、空隙率が大きいと吹きだまり雪丘は長く低くなだらかで、小さいと雪丘は短く高く急峻になると述べられている。雪丘の形から空隙率30～40%を最良としているが、図に示されたのを見るとむしろ同じ形で量が多い50%のほうが良いとも言える。当時は、空隙率20～30%がベストという考えもあった。1950年代にも同じような研究が行われているが、広い国土を反映してか空隙率については未完成であった。気象条件や平衡状態で整理して統一できれば防雪工学といえるが、吹きだめ柵の空隙率と吹きだまり雪丘形状の関係が最も完成した形で示したのは、1960年代のPrice(1961)である。

2.3 下部間隙の発見と多重防雪柵

1827年にロシアで決められた基準柵3タイプには下部間隙は設けられていないが、この頃から移動柵に関する研究が数年続けられて下で述べるように下部間隙の機能も知られるようになったものと思われる。ロシアで使用された移動柵は柵高が2m程度であったため、防雪容量が小さく、例えば吹きだまり量が $300\text{ m}^3/\text{m}$ の地域では10回/年も移設する必要があった。移設を繰り返す間に下部間隙が大きいと埋没し難いことを経験から学んだ。移設回数を少なくするために、下部間隙を大きくすることや吹雪量の多い地域では複数列を多重に設置するなどの工夫がなされるようになった。下部間隙が研究され設計に取り入れられるようになったのは、1950年代初めからと考えられる。下部間隙の大きさは、柵高の比であらわすべきであるが、その頃でもまだ経験的なところがあり60～80cmないしはそれ以上とされている。防雪柵の技術としては、柵の機能を長続きさせる下部間隙の機能を知ったことが大きい。Tabler(1986)は、捕捉率との関係で最適な下部間隙は柵高の10～15%でこれ以上では捕捉率が低下することを示した。

2.4 防雪工学としてのガイドライン&マニュアルの作成

ロシアは、世界に先駆けて防雪柵のガイドラインを作成(Komarov, 1954)しアメリカや日本に

も影響を与えた。アメリカの林野局では1960年代当初から、ロシアの技術を参考にして、乾燥地の水源涵養のために吹きだめ柵を利用する研究を行っていた。その経験を吹雪災害が頻発していたロッキー山脈東麓を通る連邦道路80号の新規開通区間の吹雪対策の研究に活用した。1971年からの18年間に設置された防雪柵は視程障害緩和、路面雪氷の改善や交通事故の大幅な減少に加えて冬の維持費を1/3～1/2に抑えるなど、劇的な効果をもたらした。設置前から、18年間の段階的な防雪柵の費用対効果や機能を実証した貴重なケーススタディーともなった(図4)。平衡雪丘の概念を導入し、柵高、空隙率、下部間隙それぞれの役割を明確にし、吹雪量に対応した設計や設置法を基準化した。吹雪の発達過程を吹走距離と飛雪粒子の昇華蒸発から定量的に算定したSchmidt(1972)やTablerの基礎的研究や実験を基に、防雪林を含めてアメリカの防雪技術のガイドラインがまとめられた(Tabler, 1994)。

日本では、鉄道における吹雪対策の関心は、いち早く防雪柵よりも鉄道防雪林に移った。このため、第二次世界大戦後は国鉄を中心に吹きだめ柵の調査研究はされているが、基本的にはロシアの技術を超えるものではなく新しい技術を生み出すまでには到らなかった。日本の吹きだめ柵の技術が防雪工学と言えるようになったのは、竹内ら(1984)等の研究を経て1990年に吹雪防雪対策マ

図4 米連邦道路80号(I-80)の防雪柵システム(Tabler氏提供)。

ロッキー山脈から吹き降ろすカタバ風は積もった雪をことごとく吹き跳ばし、道路に大きな吹きだまりを発生させる。山脈東麓のI-80号の新規開通区間の防雪柵システムは、吹きだまり防止、視程障害の緩和などを劇的に改善させた。

マニュアル・防雪柵編としてまとめられてからといえる。このマニュアルによって吹雪量と積雪深を含めた気象条件から柵高や空隙率などの構造や設置位置を決められるようになった。日本のマニュアルは、吹きだめ柵だけでなく吹き払い柵と吹き止め柵も含まれているので、章を改めて述べる。

3. 吹き払い柵

吹きだめ柵に続いて吹き払い柵が開発された。吹き払い柵は、下部間隙から加速され吹き抜ける風で鉄道や道路の雪を吹き払い、吹きだまりを制御する柵である。今では、吹きだめ柵の下部間隙が風を加速し雪を吹き払うのをヒントにしたと考えられるが、下部間隙の概念が確立する前には実験が始まっているので事情はよく分からない。ここでは、最初が開発されたロシアの吹き払い柵について述べ、次に道路で盛んに使われている日本独特の吹き払い柵について述べる。

3.1 ロシアにおける吹き払い柵

吹き払い柵は、1930 年に切土部の線路の吹きだまり防止を目的としてロシアで実験された。図 5 のような柵高 3 m の吹き払い柵を風上側だけと両側の切土法面に設置した。特に、吹きだまりがしやすい両切土部の対策は大きな課題であった。柵設置前後の切土部の気流を観測し、渦や風の流れをベクトル分布に表すなどの実験方法は現在にも通用する高度なものであった。吹きだまり防止効果も確認され 1932 年には鉄道で供用されている (原田, 1943)。1933 年までに多くの柵が設置されたが、数年後には作成が中止され普及を

図 5 ロシアの吹き払い柵 (単板式)。1930 年代初期に鉄道で使われた吹き払い柵は、切土部の吹きだまり防止を目的として開発された。

みなかった。吹き払い柵は、吹きだめ柵と異なり、逆効果を生ずることも多いので適用法や使い方が技術として未熟であったため普及しなかった可能性がある。戦後の 1940 年代の後半には、北極圏で広く鉄道、道路で切土だけでなく平地や低い盛土でも使われるようになり、その形式も傾斜型、直立型、高さも 5 m から 8 m のものまで様々な構造のものが使われた (ピヤロブジェスキーら, 1966)。Dyunin (1963) は実験によって、吹き払い域は柵高の 1.2 から 1.5 倍、最適な下部間隙の高さとして柵高の約 0.4 倍を得ている。柵高 5 m から 8 m まで 3 種類の吹き払い柵がロシアの標準となった。

3.2 日本における道路の防雪柵と吹き払い柵

日本では鉄道の吹雪対策は防雪林が主で、吹きだめ柵と少数であるが吹き払い柵が補助的に使われていた。吹き払い柵については 3 種類の図と「設置方法の誤り、排雪ウイングによる除雪に支障があり、特徴を生かすことに困難性があつた」(原文の用語を変えず短縮) という記述がある (日本国有鉄道施設局, 1960)。いつ頃、どのような構造でどのように使われていたかの正確な記録はない。積雪地の道路においては、戦後の 1945 年までは除雪がされていないため冬の道路交通は無いに等しい状態で、防雪柵も設置されていなかった。冬季道路交通が本格的なものになると、吹きだまり対策が求められるようになった。1962 年には、北海道開発局建設機械工作所 (現防災技術センター) が吹きだめ柵の試験を開始しており、木製、柵高 3 m、空隙率 20 % を採用した。空隙率が小さいほど風下の吹きだまり雪丘を小さくするので、狭い道路敷地でも使えるので日本の道路事情に適しているといえる。吹きだめ柵の設置には広い用地が必要であるが、土地利用の高度化に伴い用地の取得や冬の間の借地が次第に困難になってきた。そのため、道路敷地内に設置可能な柵の開発が求められるようになり、1967 年から単板式・多板式 (図 6) など幾つかの形式の吹き払い柵が試験され、1969 年には国道に設置されている。単板式はロシアや中国などでも使われているが、多板式とよばれる吹き払い柵は日本独特のものである。多板式吹き払い柵は、吹きだめ柵の横張り防雪板をピン止めにして実験したところ、

図6 道路で使われている多板式吹き払い柵。
防雪柵の用地難から道路敷地内に設置可能な柵として、吹き払い柵が開発された。多板式は日本独特の柵で視程障害緩和および視線誘導の効果が盛んに使われている。

風圧で風下に傾斜した防雪板による吹き払い効果があったのがヒントになったものである(竹内, 1997)。飛雪が路面低く飛ぶことによる視程障害緩和効果に加えて、柵自体と黒いアスファルト路面が露出することから視線誘導効果もあり良く使われている。単板式の吹き払い柵は、切土や雪庇防止などにも使われていたが、最近は見かけなくなっている。防雪板の最適傾斜角(20°)など機能に関わる要素は主として風洞実験によって決められた(黒田・打矢, 1965)ため、実際の道路における吹き払い域の長さや最適な下部間隙は捉えられていなかった。竹内ら(1984)は、柵高3.4 mの吹き払い柵の野外実験によって、吹き払い範囲は柵高(H)の1.5~2倍程度、下部間隙は従来の75 cm (0.22 H)を気象条件によって90 cm (0.26 H)から1.2 m (0.29 H)の範囲が良いと提案した。吹き払い域は定義にもよるので厳密な比較はできないが、ロシアの1.2から1.5という値よりやや大きい。下部間隙はロシアの目的は純粹に吹きだまり防止であるため0.4 Hと大きい。日本では視程障害の緩和を重視しているため小型車のドライバーの目線(1.2 m)を上限にしたものであり、いずれの数値もほぼ同じといえる。吹きだまり防止機能は上下2車線道路が限度であるが、視程障害の緩和効果も大きいと急速に普及した。多板式吹き払い柵の防雪板は全て下向きになっているが、上部では板の向きに逆らって気流が上に抜ける。このことから風のエネルギーを効率良く利用するために、上部の防雪板を上向き

にした上下分流量のものもある(武田ら, 1985)。吹き払い域は従来のものと同程度であるが、一部の飛雪を上へ吹き上げるので視程の緩和効果に優れる。また、雪庇対策として開発されたもので、吹き払い域を大きくするために、防雪板の断面形状を翼の形にした吹き払い柵もある(嶋田ら, 1986)。この他にも開発中のものも含めて幾つかあるが、文献がある2例の紹介に止めた。

4. 吹き止め柵

吹き止め柵は、下部間隙の無い吹きだめ柵の一種と見ることもできるが、飛雪を風上に多く捕捉するように柵高や空隙率を設計している。風下雪丘を小さくし道路敷地内に設置できるようにした防雪柵である。ますます防雪柵用地の取得や借地が難しくなった社会的背景と、吹き払い柵の限界を超える中央分離帯のある多車線道路の防雪の必要が、道路敷地内に設置できる吹き払い柵に換わる防雪柵の開発を促した。開発の経緯は筆者が1979~1980年にTablerらの防雪柵の現場や研究に触れて、当時の日本の防雪柵はまだ経験工学の段階にあることを知ったことから始まる。ハード的には種類も設置数量も多かったが、例えば吹きだめ柵では柵高、空隙率、下部間隙の三要素の理解は初歩的で明らかな間違いも少なくなかった。1981年から土木試験所(現開発土木研究所)では、吹雪対策として防雪柵の必要性も増しつつあった背景もあって、防雪工学へのレベルアップのために実験的研究を始めた。その中で、吹き止め柵の発想が生まれたのは、吹きだめ柵の風下雪丘長の実測は柵高が高いほど小さくなることに気がついたからである。それまでは防雪対象から柵高の8~10倍離して設置するとされていたが、実測では逆に高い柵ほど近づけて設置して良い結果になった。吹雪量が少なく、吹きだまり雪丘が平衡状態になっていないからであるが、このことは気象条件によって柵の使い方が大きく異なることを意味していた。同時に行われた、下部間隙と風上や風下の雪丘形状の関係の実験から、下部間隙を小さくすると風下雪丘が小さくなるのが分かった。風上に吹雪を捕捉しつつ風下雪丘を小さくするためには、防雪柵の三要素で表すと柵高は高く、空隙率は小さくそして下部間隙は0%にすると良

いことがわかった。吹き止め柵が初めて道路で使われたのは1988年で(藤田ら, 1988), その構造は柵高5m, 下部は空隙0の密閉柵で上部は透視性を確保するため空隙率30%の有孔板, また上端は風上側に傾けた忍び返しを設けた(図7)。忍び返しは路側近くに高い柵を設置することからドライバーに与える圧迫感を和らげることを意図したもので, 機能的には特に優れるということはない。風上に雪を堰き止めることで風下を守るのは「雪囲い」と同じことで, 吹き止め柵はその現代版で日本の気象や環境風土に合った独特の防雪柵といえる。

5. 吹き上げ防止柵

谷や沢を吹き上げる風は, 斜面に働く力(せん断応力)が大きく, 雪を削って運ぶので横断する道路には大規模な吹きだまりや視程障害を発生させることがある。このような箇所の防雪対策のために, 吹き止め柵と似た構造の吹き上げ防止柵が開発された。開発されたのは1978年で吹き止め柵より早い, 一般的でないので特殊な柵として紹介する。図8は最初の吹き上げ防止柵である。吹き上げ柵の構造は, 写真のように柵高4~5m, 空隙率0%の密閉柵で, 路側雪堤を低くするために最大積雪深に相当するだけ低く下げた位置に設置し, 道路側に水平から20°傾斜させている。積

雪を載せる構造のため, 柵というより構造物というのがふさわしいような堅牢で大きな柵であるが, 風上側は谷や沢なので風上側の防雪容量は大きく効率的な防雪ができる。

6. 日本の防雪柵のマニュアル

日本の防雪柵の技術は「新編防雪工学ハンドブック」(1985)などに部分的に採り上げられている。しかし, 防雪柵のマニュアルの形でまとめられたのは, 1990年に北海道開発局の監修で発行された道路吹雪対策マニュアル・防雪柵編が最初である。防雪林編との二分冊の一つで, 防雪柵の3型式それぞれの特徴・機能, 防雪柵の必要性を決めるための吹雪対策調査, 危険箇所の選定, 型式選定などの基本計画, 柵高など三要素や設置位置を決めるための基本設計, 設計風速・荷重, 材料などの実施設計, 施工, 維持管理までを7つの章にとりまとめたものである。北海道だけでなく, 各地での吹雪対策の指針とされてきた。発刊後13年目を経てその間, 特に吹き止め柵は十分な資料が無かったがその後の普及によって新たなデータや知見が得られ, また新しく開発された防雪柵もありその評価が必要になってきた。これらのことから北海道開発局と開発土木研究所では, 防雪林編と新たに吹雪・地吹雪の基礎的知識を共通編として加えた, 新しい吹雪対策マニュアルの

図7 吹き止め柵。

道路用地内に設置でき多車線道路に適用できるように, 風上側の防雪容量を大きくするために, 柵高を高く, 空隙率を小さく, 下部空隙を0にした柵である。日本独特の防雪柵で, 風上に雪を堰き止めることから「雪囲い」の現代版ともいえる。1988年に初めて設置された。

図8 吹き上げ防止柵。

斜面から吹き上げる吹雪を防ぐ防雪柵で1978年に国道230号中山峠に初めて設置された。吹き止め柵と類似した構造であるが, 積雪を載せることを許容したため頑丈で柵というより構造物にちかい。

2003年発刊を予定に作業は最終段階に入っている。

7. あとがき

「雪氷」の吹雪特集号の編集を機会に、防雪対策の最も古い手段である防雪柵が現在に至るまでの紆余曲折をまとめてみたいと考えた。最初は構造や材料の変遷についても計画したが、構造が単純で大きな変化も少ない割には細かく見ると多種多様なローカル色があって、世界レベルで客観的に評価することは筆者には無理なことが分かった。集めた文献も不十分であるため、孫引きになりページ数を示せないものもあった。しかし、経験から始まった防雪柵の技術が、ローカルな技術の経験工学を経て普遍性のある防雪工学になった道筋についてはある程度は示せたと考えている。

文 献

- ビヤロブジェスキーら, 1966: 自動車道路の冬期保守. Transport. 199 pp.
- グリーンケピッチ・コルミコフ, 1935: 冬季における自動車・馬車道路の維持法. (ビヤロブジェスキーら, 1966より).
- グリーンケピッチ・コルミコフ, 1935: (原田干三, 1943より).
- Dyunin, A. K., 1963: 吹雪の力学. (ビヤロブジェスキーら, 1966より).
- Finney, E.A., 1934: Snow control on the highway. Michigan Engineering Experiment Station, Michigan State Collage, Bulletin 57, 62pp.
- 藤田英郎・倉橋義雄・山口守之・長岡佳美・竹内政夫, 1988: 多車線道路における防雪柵の計画. 昭和62年度局技研, 17-24.
- 原田干三, 1943: 雪・氷・凍土. 丸善, 260 pp.
- 北海道開発局, 1990: 道路吹雪対策マニュアル(案).
- 防雪柵編, 127 pp.
- Johnson, G.D.B., 1852: Nogle Ord om Snedeev. Snefog og Snefonner, Universitetet i Tronheim-Norges tekniske hogskole, 22pp.
- Komarov, A.A., 1954: Some rules on the migration and deposition of snow in western Siberia and their application to control measures. National Research Council of Canada Technical Translation 1094(1963), Ottawa, Ontario, Canada, 13pp. (英訳版)
- Komarov, A.A., 1959: 西シベリア鉄道における防雪資材の効用増進. (ビヤロブジェスキーら, 1966より).
- 黒田満穂・打矢徹也, 1965: 風洞による防雪柵の模型実験について(第2報). 技研報, 32, 7-9.
- 日本建設機械化協会, 1985: 新編防雪工学ハンドブック. 森北出版, 527 pp.
- 日本国有鉄道施設局, 1960: 鉄道における営林技術発達史. 191 pp.
- Price, W.I.J., 1961: The effect of the characteristics of snow fences on the quantity and slope of the deposited snow. International Union Geodesy and Geophysics, Pub. No.54.
- Schmidt, R.A., 1972: Sublimation of wind-transported snow. U.S. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research paper RM-90, 24pp.
- 嶋田 潔・吉岡保夫, 1986: 新型雪庇吹き払い柵. 日本電炉K.K技術資料.
- Tabler, R.D., 1986: Snow fence handbook. Tabler & Associate, Laramie, WY. 169pp.
- Tabler, R.D., 1994: Design guidelines for the control of blowing and drifting snow. SHRP-H-381, National Research Council, 364pp.
- 武田勝昭・安田喜世史・竹内政夫・金田安弘, 1985: 防風・防雪柵の性能に関する風洞実験. 風工学会誌, 25号, 15-32.
- 竹内政夫・野原多喜男・石本敬志・福沢義文, 1984: 防雪柵の研究. 雪と道路, 1号, 96-100.
- 竹内政夫, 1997: 道路雪氷対策技術の変遷(1). 北の交差点, 2, 12-18.

For the control of blowing snow (5) — Technical development in use of snow fences —

Masao TAKEUCHI¹⁾

1) Yukiken Snow Eaters Co., Ltd., 11-2 S4 W6 Chuo-ku, Sapporo 064-0804

(2003年2月26日受付, 2003年3月28日改稿受付, 2003年4月10日受理)