



道路雪氷対策技術の変遷(2)

交通の確保と安全のための
吹雪対策・研究と技術

はじめに

前回は、社会とともに変遷してきた道路の雪氷問題と雪氷対策技術の発達を支えてきた施策など、時代と社会的背景を中心に述べ、個々の技術については防雪柵に触れるに止まった。本文はその続編である。

道路では、車の走行性と制動停止距離など交通の安全を阻害する路面の雪氷とドライバーの視覚を狂わせる吹雪や降雪など空中に浮かぶ雪の、2つの雪氷問題がある。前者は郊外のハイウェーと市街のストリートに共通する問題であるが、後者は主にハイウェーでの交通の安全に深刻な問題である。

市街部の雪氷対策技術は、除排雪、消融雪、流雪溝からスノーダンプなどの除雪用具まで大小さまざまであり、かつ、新たな技術やシステムが次々と生まれつつある。多岐にわたる市街部の雪氷技術は興味があるところであり、いずれ専門家の手により紹介されることを期待して、ここではハイウェーの雪氷問題を北海道の特徴的な現象である吹雪について、これまでの研究と開発された対策技術を中心に紹介する。

1. 技術開発の土台となった、吹雪の研究

吹雪のあとに残る吹きだまりは、大きいと車の走行を不可能にし、小さくても走行の安全性を阻害する。

吹き降る雪による視程障害は、運転者の重要な情報源である視覚を低下させ、滑りやすい雪氷路面とあいまって交通事故の誘因となる。道路と除雪体制がまだ十分でなかった1960年代初めまでの道路では車の性能が今ほどでなかったこともあるが、吹きだまりが通行止めの最大の要因であった。それは除雪機械の性能や除雪サービスレベルや防雪対策の向上によってほぼ解消された。

しかしながら、冬の道路交通の進展は視程障害の問題を大きくすることになった。吹雪の発生頻度の高い北海道における道路交通の安全確保には、現在も吹きだまりと視程障害対策が最重要的課題である。これら吹雪対策技術の開発はその基になった研究と並行して進んできた。

吹雪の研究は、1950年代の初め頃から現在まで、旧ソ連、アメリカ、カナダ、オーストリア、スイス、ノルウェー、フランス、スペイン、中国等で行われている。日本では、1950年代に国鉄技術研究所が、1960年代半ばからは北大低温科学研究所が始め、その後も幾つかの大学や研究機関が参加している。その多くは、防雪柵の研究を除くと、理学や水文に関連したものが多く、直接道路交通に関連する研究は少なかった。

しかし、1968年に始めた土木試験所(現開発土木研

究所)の道路の防雪技術開発に関する研究は、これら先人の研究をベースにして新たな知見を加えながら発展させたものである。そこでまず吹雪と視程の研究を簡単に紹介する。

2. 暗中模索で始めた、吹雪と視程の研究

1967年12月、まだ大雪や吹きだまりで通行不能になることの多い北海道の道路の課題は地吹雪にあると考えた土木試験所では、地吹雪の研究にとりかかることになった。

石狩町矢臼場で、応用理化学研究室の竹内政夫と福沢義文の両研究員が冬用テントの中から風と雪を観測することから始まった。文献から得た知識はあったものの、何をどうするか初めの頃は手探り状態であった。翌年には石狩河口の河川敷へ移りテントも仮設観測所になって10数年続き、その後一時石狩新港工業団地内で適地を求めて転々とした。1985年からは、石狩水理実験場の敷地内に「石狩吹雪実験場」を設け、吹雪を含めた道路気象と雪氷の研究を続けている(写真-1)。現在では、「石狩吹雪実験場」は試験道路などの施設を持つ寒地ITSの総合的な研究の場にまで発展している¹⁾。また、土木試験所から1988年に開発土木研究所へと、研究室も応用理化学研究室から道路部防災雪氷研究室へと改組されたが、内容を変えながらも吹雪を対象とした研究は引き継がれている。

初めの頃の吹雪の発生から発達、吹雪量などの基礎



日本気象協会北海道本部

技師長

竹内 政夫



(写真-1) 石狩吹雪実験場 試験道路

的な観測研究は、地形や植栽の有無等の沿道状況からくる吹雪危険箇所の予知や「防雪工学ハンドブック」などの吹雪対策工のマニュアルになったもの、さらには、2つに分かれていた吹雪理論を統一するという世界的にみても重要な研究もあった。

吹雪の研究に並行して、1969年には吹雪時の視程の研究に着手したが、当時は国内外ともに参考になる研究がなく、霧の研究に倣って視程板を視標とした目視による観測から始めた。視程と雪粒子の空間濃度や風速の関係、対象物の有無によって視程が大きく異なること、すなわち、視程は潜在し視程障害対策には後で述べるような視線誘導等による視程の顕在化が重要であることを知った。しかし、変化の激しい吹雪時の視程を目で観測し記録するには限界があることも知り、翌年から視程計の開発を目指すことになった。

1) 視程の交通への影響を知るための機械の目、視程計の開発

視程とは、水平方向に見通し得る最大の距離のことであり、基準になるのは人の目である。ものが見えるのは、その光が目に達していることと背景の明るさとの違いを目が区別できるからである。これが、空中の雪粒子によって減少するため、この光の透過率から視程を求めるのが視程計の理論である。透過率を測るには安定した平行光線をつくる必要があり、天体反射望遠鏡を利用するなど手作りではあったが、視程計の原型をつくることができた。

1975年から3カ年計画で科学技術庁から研究費が支給され、機械部分のハードと理論的に裏付けられたソフトを備えたものに完成させることができた。初めて道路で視程を観測したのは、1975年に国道230号中山峠においてであった(写真-2)。視程と車の速度の関係や渋滞の発生するときの視程など、交通管理に視程計が活用できることがわかり、現在では開発局の道路気象テレメーターにも組み入れられている。しかし、人の目の微妙さは視程計でも測れないところもある。

空間濃度が同じ場合は雪粒子が大きいほど、動く速度が大きいほど視程を悪くするが、そのような人間の心理的なところまでは視程計ではとらえられない。これは雪が目に見える大きさであることからくるもので、霧のように粒子が小さいことを前提にした視程理論の



(写真-2) 国道230号 中山峠 視程観測施設

限界である。それでも、それが顕著に現れるのは車を走行させるのが困難な視程30m以下であり、実用的には問題ないと考えている。

2) ドライバーの視程を測る、車載型視程計

定置式の視程計は完成した。最も警戒を要する地点を選んで設置するなど使い方で工夫はできるが、地形や沿道環境で違いの大きい視程を一地点だけでしか測定できないことに不満があった。車に積んで走行しながら好きなところで視程を測定できる視程計が欲しかった。

アメリカでは空中の雪粒子の数と大きさを測定できるスノーパーテクルカウンターを視程計として使っていた。1980年に開発者のロッキー山系森林研究所のシユミット博士から竹内政夫主任研究員が譲り受けたものを、石本敬志主任研究員が車に搭載したのがその第一号機である³⁾。これは吹き払い柵の視程緩和効果等を明らかにできたが、スノーパーテクルカウンターそのものが完成品とは言えず精度の安定性等に満足することはできなかった。

道路交通の高速化にともなって、走行中に急に視程ゼロになるホワイトアウトが引き起こす交通事故が年々増加してきた。交通の安全のためにも、その誘因となる視程の時間的、空間的な変動の実態を、ドライバーの目から見た視程を測定することの必要性が痛感されるようになった。

そのため、1990年に福沢義文主任研究員は従来の視程計を小型化し、高速走行しながら連続的に観測・記録できる車載型視程計を実用化した(写真-3)。視程の移動観測によって、地形が切土から盛土に、防雪林の切れる箇所など沿道環境の変わり目や雪煙を巻き上



(写真-3) 視程障害移動観測車

げる大型車の追い越しで、瞬間にホワイトアウトになることなど、危険な視程変動の実態が初めて明らかになった²²⁾。そして、路線ごとの危険箇所の発見、防雪や安全施設の効果の判定・評価などが短時間に正確にできるようになった。

この他に1989年には、画像解析によってビデオカメラに写る白と黒の目標板の輝度差から、より人の目に近い視程を測定できる視程計測システムも開発されている⁶⁾。さらに、目標板を必要とせずに、視程を計測するシステムも開発が進められている¹⁶⁾。後者は、現在使われている道路のモニターテレビに視程計の機能を付加することを狙ったものである。

視程計は視程の影響の大きい道路交通のさまざまな研究だけでなく、道路気象テレメータを介して道路の維持管理にも必要なデータを提供している。視程障害対策のためには防雪施設等のハードだけでなく、視程を含めた気象情報を活用した吹雪災害の予測や道路管理システムの研究も行われているが¹⁴⁾、紙面の都合もあり割愛する。

同じ道路を年齢・性・経験の異なるさまざまなドライバーが、大小さまざまな視野も異なる車で目から入る情報をもとに運転するために、視程の急変など突発現象に遭遇したときの一人一人の反応の違いが事故を大きくする。

石狩吹雪実験場の試験道路では、突発事態におけるドライバーの運転行動を研究しており、車載型視程計はそのような場合のヒューマンファクターの研究にも手がかりを与えるものになろう。このようなヒューマンファクターの研究をベースに、道路や車からの安全対策とともに、ドライバーに交通の安全に必要な高度な情報を提供しようとするのが北海道のITSの研究である⁸⁾。北海道の厳しい道路環境を克服する寒地ITSの研究から、世界に貢献する交通の安全技術が生まれてくるように思われる。

3. 視程障害対策のための、道路防雪林

道央自動車道を札幌から岩見沢に向かって走ると、左手に盛土のり面から伸びたエゾマツやヨーロッパトウヒの黒い帯があらわれる。1983年に盛土のり面に苗木で植栽したものが、今では路面の高さより頭を出すまでに成長してきた。国道でも主に吹雪地帯を中心に50カ所以上の防雪林が植栽されている。

1) 道路防雪林の誕生

一般国道12号岩見沢市岡山地区は、風上が広い畠地で緩い曲線部を含み、吹雪による視程障害が誘因となる交通事故や交通渋滞が多発していた。そのため、札幌開発建設部岩見沢道路事務所では坂本稔係長の発案で、二次改築を機に吹雪対策として防雪林を計画していた。それまでの鉄道林の研究から、40m以上の広い林帶は林の風上と林内に吹雪を捕捉するが、狭い林帶では風下に吹きだまりができることが知られていた。植栽可能な用地は幅4mと狭く、道路に吹きだまりがかかることが予想され、逆効果になる心配もあった。

「狭い林帶のため道路上に吹きだまりができる可能性はあるが、視程障害の緩和と視線誘導効果が期待できる」という土木試験所の考え方と、吹きだまりについては、岩見沢の気象資料から短時間で交通の障害になるほどには大きくならないことが予想され、また国道12号の除雪能力をもってすれば十分対応できると予想され全国で初めての道路防雪林が試みられた。しかし、道路防雪林による視程の緩和効果について量的には全く未知な分野であったので、防雪林の採用の是非を試



(写真-4) 防雪林 (岩見沢市 岡山)

験することにし、現地にトドマツとヨーロッパトウヒで3列、4列の2種類の試験林を植栽した(写真-4)¹⁰⁾。1977～1978年の冬、視程を中心とした気象・雪氷調査を岩見沢道路事務所と土木試験所の共同で行った。

2) 視程の緩和効果

防雪林区間と隣接した無対策区間の中央分離帯に視程計を設置し、ドライバーの目の高さの視程を連続測

定した。その結果、防雪林によって視程は1.7倍程良くなることが分かった。これは制動停止距離からみて雪氷路面では時速50km/hで走行することが危険な100m以下の視程でも、防雪林区間があると視程160m以上になり走行に支障のなくなることを示している。

また、吹雪時の視程は短時間に急に悪くなり交通事故の誘因となっているが、防雪林区間ではその変動幅も小さくなることが明らかにされ、視程障害とその変動も緩和されることがわかった。

3) 視程の緩和をもたらす防風・防雪効果

除雪の結果、路側に雪堤ができる。それまで10cm以下の低く跳んでくる飛雪も雪堤があることによって、ドライバーの目の高さを越えて吹き込むので、路上の視程を極端に悪くする。雪堤がなければ飛雪は路面すれすれに跳ぶので深刻な視程障害にはなりにくい。

地表10cm以下に濃度の高い飛雪の層をもつ地吹雪の特徴に加えて風速が雪堤の上で強くなることも、高い雪堤をやっかいなものにしている。防雪林の道路側にも雪堤はできるが、そこでの風速は風上より90%も小さくなり地吹雪を発生させる風速よりずっと小さいことが風速の横断分布の測定から明らかにされた。風速が弱くなる防雪林の風下からは雪は跳ばなくなり視程を大きく緩和し、視程の変動幅も小さくしている。

また、防雪柵と同様に林の風上も風速が小さくなるので、飛雪を捕捉する防雪効果がある。車が走行するときに巻き上げる雪による視程の低下も観測された。その時は大きな問題とは考えなかったが、高速道路ではこの巻き上げ雪が誘因となる事故も発生するなど危険な現象である²⁾。視程障害にたいする防雪林効果がはっきりし、吹きだまりの交通への影響が小さかったことから、計画とおり翌年の1978年には3列植えの520mの防雪林に伸びた。初めて視程計を路上に設置した観測であったことから、それまで未知であった道路と視程の理解がますます深まるなど予想を越えた成果が得られた²⁾。反面、樹高3mのヨーロッパトウヒとアカエゾマツを5.5m幅の用地に1m間隔で密植したことによって、枯損などの被害の発生にともなう補植作業など林の維持管理を難しくしていると、生き物工法の提唱者である北海道林業試験場齊藤新一郎防災科長（現専修短大美唄）から指摘された。改めて防雪林は生き物工法であることを認識させられ、この経験は齊藤新一郎防災科長の指導を得て、幌延町国府の防雪林計画や防雪林の指針となっている北海道開発局の「道路防雪林マニュアル（案）」などに生かれることになった。

道央自動車道の札幌ー岩見沢間では軟弱地盤対策として盛土の裾に抑え盛土をしている。防雪対策のためにこの抑え盛土の活用が検討され、国道12号岩見沢市

岡山の防雪林が注目された。試験林や試験防雪柵による視程の緩和効果の比較等、1979年から4年間の調査研究を行い^{17) 18) 19)}、その結果防雪林を採用することになり1983年には約9万1千本の苗木を植栽している。今では路面から頭を覗かせるまで大きくなり防雪効果もあげるようになっている。さらに高くなり路面の風を弱め枝葉で雪を捕捉できるようになると、吹雪だけでなくこれまで打つ手のなかった強風雪時の視程障害の緩和効果も期待でき、より安心して走れる道路になるであろう。

鉄道林は当時の権威が提唱し実現したのが、道路林は30歳の現場の技術者の発想と実行力が生んだものである。

4. 悪玉雪庇を善玉に変えた、防雪切土

国道232号の留萌から天塩までの間は、日本海からの季節風をまともにうける北海道でも有数な吹雪地帯である。それに加えて大小の切土が掘り割りとなっているため、吹雪による交通事故が多発した。特に苦前町三豊の切土区間では、除雪後もバスの高さをこえて両側から迫る雪堤や雪庇で道路は狭くなり（写真-5）、吹きだまりと視程障害も頻繁に発生していた。雪庇を防ぐために雪庇防止柵を設置して、雪堤の高さを半減にすることはできたが、思わぬところに壊れやすい雪庇ができたり雪堤が2mの高さになるなど視程障害を防ぐまでにはならなかった。この頃は一般に切土区間の防雪は難しく、当時はスノーシェルターが唯一の解決策と考えられていた。事態を憂慮した留萌開発建設部羽幌出張所の谷内吉雄所長は、風上ののり面を削り勾配を緩くすることで雪庇を防止できないかと考え計画を進めていた。相談を受けた竹内政夫主任研究員は、ノールウエーのノレム博士が同じようにして雪庇防止に成功したことを聞いたことがあり、雪庇防止には確信があり興味もあったので調査の協力を申し出た。

切土ののり面の最適な勾配を求める必要があったので、石本敬志主任研究員は建設機械工作所の風洞を借りて



（写真-5）切土に出来た雪庇（苦前町三豊）

雪庇のできかたを四種類ののり面勾配で比較した。風洞実験の結果、勾配が1:3までの三種類はのり肩に雪庇ができるが、1:3にラウンディングしたものが最も雪庇の成長が遅いことがわかった。最も勾配の緩い1:4ではのり肩に雪庇はできないかわりに道路に近いところに雪庇ができた。これは、実験では雪庇でも路上に吹きだまりができるのと同じであり交通の障害になりかねないものであった。この結果をうけて1977年に、のり面勾配を1:3、のり頭に半径R=5.0mのラウンディングをし、路側に2.4mの堆雪スペースをとることにして施工した。現地調査はその年の冬から始めているが、のり面には吹雪を捕捉して出来た固くしまった安定した雪庇が観測された。路側の雪堤は堆雪スペースが効いて高くならず視程障害についても予想以上の改善効果があった。

当初は雪庇対策と考えていたが、実はのり面の雪庇が悪いのではなく、雪庇は防雪柵と同じように吹雪を大量に捕らえ防雪の役割を果たしていたのであった。それまで毎年3~7件発生していた三豊地点の交通事故は施工後の冬以降は皆無で、地元交通関係者や一般ドライバーからの反響は良く、特に、夜の吹雪については非常に好評であった²⁰⁾。雪庇が悪いのは、崩落したり道路に近すぎて巻き込む飛雪で視程障害や吹きだ



(写真-6) 防雪切土

まりができるため、崩落しない雪庇であればむしろ積極的に利用したほうがよいことがわかった。のり面勾配が大きいと雪庇が崩落する危険があるが、のり面勾配1:3の切土にできる雪庇は密度が大きく融雪期にかけても非常に安定したものであった(写真-6)。

三豊の切土の改良の成功から防雪切土と称して全道各地で行われるようになった。防雪切土の条件としては、のり頭から雪庇ができ、雪庇はのり面上に安定し大きく成長しても道路に達しないものでなければならず、そのために十分広いのり面であることが必要である。すなわち、防雪切土の設計のためには、最適ののり面の勾配と気象条件に合った必要十分なのり面の大

きさを知る必要があった。石本敬志主任研究員は、三豊の調査結果と当時土木試験所に招聘されていたタブラー博士の吹きだまり形状予測式を用いて、防雪切土の防雪容量(切土が捕捉できる雪の量)をのり面勾配とのり面の長さの関数で求めた²¹⁾。風洞実験で得られた1:3の勾配は計算からも最適な勾配であった。のり面は雪庇が成長しても道路に届かない長さが必要であり、この長さは吹雪量によってきまる。

のり面の長さが吹雪量に比べて短い場合は、雪庇が道路に達する心配がある。それでも現状よりは良くなることと必要であれば防雪柵や防雪林を併置することで、この問題は解決可能である²²⁾。いずれにしても、融雪や雨によるのり面の崩壊対策にもなり、悪玉となっていた雪庇を逆に善玉にした防雪対策であるところがおもしろい。雪庇を積極的に防雪に利用したのは世界でも初めてであろう。

5. 寒さと軟弱地盤が生んだ、防雪盛土

地中の水分が凍結した霜柱が地面を持ち上げる凍上現象を防ぐため、北海道の道路は路床に凍上し難い材料を入れている。また、凍上だけでなく軟弱地盤対策としても盛土されることがあるため、暖国と比べると多少盛土が高くなっている。北海道にはいろいろな高さの盛土があるので、低い盛土で視程が悪くなることを道路関係者は気がついていたと思われる。しかし、組織的に調べたのは1971年に土木試験所が国道40号で行ったのが初めてである。その結果、気象条件と除雪作業が同じならば、雪堤の高さは盛土の高さに反比例して低くなり視程障害が緩和されることがわかった²³⁾。稚内開発建設部ではこのことに着目し、さらに風洞実験を行うなどして、盛土の高さを2m嵩上げしたものを防雪盛土と称して、1988年に国道40号サラキトマナイに施工した。網走開発建設部でも国道238号のオホーツク海沿岸の吹雪危険箇所や239号では防雪林と合わせて防雪盛土を施工した。防雪切土は雪庇を利用したが、防雪盛土は北海道のハンデキャップである凍上や軟弱地盤がきっかけになって生まれたといえる。

6. 白魔の中のオアシス、スノーシェルター

スノーシェルターは道路を覆って雪を完全に遮へいする、防雪対策としては最後の手段である。このため、山岳部の切土などで他の方法では、吹きだまりや視程障害を防ぐことのできない場合に設置されることが多い。北海道での本格的なスノーシェルターは、1979年に完成した国道274号日勝峠の標高950m付近に設置された長さ1,102mの3ヒンジアーチ型式の三国の沢スノーシェルターである。峠に近いこともあって、気

象条件が厳しく3mを越える吹きだまりが測定され、地吹雪による視程障害も予想され地形条件から防雪柵等の対策が困難であるためにスノーシェルターが採用されたものである。明かりとりの窓材に網入り磨きガラスを採用し、風致を損なわないよう配慮した構造、色彩にしている。その後、吹雪地帯に道路建設が進むにつれて、1977年には門型や1988年にはアーチ型な



(写真-7) 開源パーキングシェルター

どPCコンクリート製のシェルターも建設されるようになった。

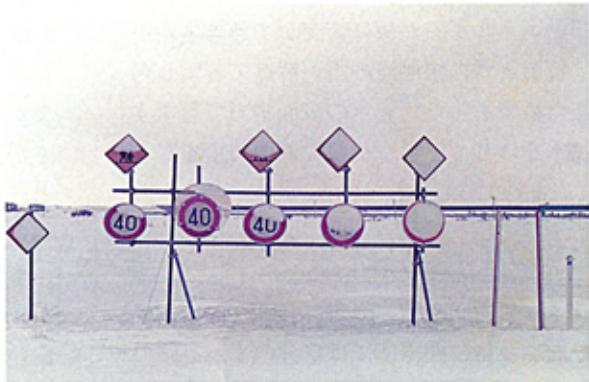
1989年に国道40号豊富町の開源に、鋼製門型ラーメン構造の延長200mで本線2車線の両側に駐車帯を持ったパーキングシェルターが完成した(写真-7)。これまでの吹雪災害の発生箇所を守ることに加えて、近くに集落など適当な避難場所がないために吹雪が弱まるまでの間を、車を安全に待避させる狙いがあった。吹雪の回復には時間もかかるために、交通量を考えて50台の車が駐車出来る駐車帯と公衆電話を備え、目的地までの路面状況、交通状況、気象などの情報もリアルタイムで提供している。このほか、水洗トイレやシェルター内でラジオが受信できる施設が設置されている²¹⁾。吹雪の中での天候待ちは一酸化炭素中毒死などの危険が多く、人家もまばらな広い地方ではパーキングシェルターは旅人を守る吹雪の中のオアシスになっている。

7. はたき込みが決まり手になった、着雪防止

吹雪や湿った降雪で道路標識、スノーポールやデリニエータに着雪することがある。着雪すると交通の安全や走行に必要な情報が伝わらなくなる恐れがある。

土木試験所では、視線誘導や視程を顕在化する働きのある道路標識に着雪すると視程が悪くなることから、着雪防止の研究をすることにした。先ず着雪ができるかを知るために、気温、風速等の気象条件と着雪の有無を観測した。最初は一本のポールに東西南北方向に向けた道路標識を取り付けて着雪状況を観察

した。その結果、風が強いときに風に面した標識だけに着雪することがわかった。また、風洞で標識の周りの風の流れを測定し、風が直角にあたる場合は風のよどみ点は標識の中心にあるが、斜めになると風のあたる側に移り、平行になるとよどみ点はなくなることがわかった。すなわち雪が最も衝突しやすい風のよどみ点で着雪し、よどみ点のない風と平行な面には着かな



(写真-8) 標識の着雪状況

いという後で考えると極めて当然の結果であった。

着雪防止を考えるのにはこれで十分であった。風向きに合わせて設置することはできないが、標識を下向きにしても同じというアイデアが生まれ、残る問題は傾ける角度であった。角度は大きいほど着雪し難いことをはわかったが(写真-8)、見えやすさを検討して10~15度を提案した。傾けた標識の上部のよどみ点には着雪するが、その下では雪は衝突しても反射したり風で吹き払われる所以実用的には満足でき、風のない上から降る湿った雪の着雪にも効果があった²²⁾。標識の下に潜り込んだ風が雪を吹き払うわけで、風をはたき込んで着雪を防止したといえる。国道では必要に応じて15度を限度に、高速道路では一様に10度傾けている。現在行われている道路標識着雪防止の大半はこの方法であるが、見え方が自然なので傾けていることに気がついている人は少ないと思われる。

標識面を下向きに傾けるのは、デリニエータにも有効である。1978年の土木試験所の実験では、デリニエータに面を下向きにした透明なカバーで着雪を防止できることを示したが、1997年には反射・発光面を下向きに傾けた製品も開発されている。

しかし、スノーポールの矢羽根は傾けても、風は下に潜り込まず矢印の狭い方の左右に分かれるので、この方法で着雪を防ぐことはできない。

スノーポールの矢羽根の着雪防止は、左右に風の流れが分かれることから風のよどみは標識のような点ではなくて縦の線になる。そこで、よどみ線になる縦の中央線から半分に折って実験してみた。その結果、左

右に15°ずつ折ると風向に直交する場合は着雪はなく、左右からの風ではそれぞれに風が直交する面だけに着雪することがわかった。半分でも見えれば視線誘導効果は失われないので、現在はこの方法が採用されている。

また、湿り雪は着雪しやすいように雪に含まれる水の表面張力で着雪すると考えられてきたが、マイナス10度以下の乾き雪でも着雪するのは不思議であった。これは雪の運動エネルギーが板に衝突して熱エネルギーに変わり、標識と雪の接触点の雪が解けて着雪し再凍結していたためであった¹⁸⁾。水の表面張力で着雪することから、水をはじく塗料や材料で着雪防止をしようという考え方もあり実験もされている。

8. ホワイトアウトの中の道しるべ、視線誘導

雪道のドライブで吹雪や強い降雪に会うと前方が見えないだけでなく、特に曲線部では自分の車が道路のどの位置を走っているか分からず不安におそわれる。そのような時に頼りになるのがスノーポール等の視線誘導である。周り一面の白い雪の中を視線誘導を目で追いかながら走る経験を持つドライバーは少なくはないであろう。ホワイトアウトの白い闇の中でも視程はゼロではなく、雪と区別できる物体があればある程度先まで見えるものである。このことを、視程はポテンシャルをもって潜在しているといい、視程を顕在化させるのが視線誘導である¹⁹⁾。このように、視程障害対策には防雪とともに視線誘導が大切になっている。

1) スノーポール

終戦直後の1945年占領軍の命令で、経験や資材不足などさまざまな困難の中で、札幌市内的一部と札幌一小樽間が初めて本格的に除雪された。全道から旧日本軍の飛行場用除雪機械を集めて石狩川治水事務所が除雪を担当したが、大型機械であることと当時の狭い道路で車輪が側溝にとられて自力脱出できない事故が繰り返された。側溝の位置は垂木の頭に笹の葉を束ねたスノーポールを目印にしたが、吹雪には無力であった。除雪責任者であった森田義育技官と武山広志技官のアイデアで、赤白のだんだら模様のポールが使われたのは、その翌年であった²⁰⁾。古くから雪国の生活の知恵としての笹の葉を束ねたり木の枝などの道しるべは使われていたが、道路のスノーポールはこのようにして生まれた。

路肩のポールは除雪によって倒されたり損傷することが多く、それを避けるために1965年頃には、支柱をオーバーハングにし赤白模様の矢羽根を除雪端を示すポインターとしたものが現れた。初めは取り外しのできる簡易なものであったが、1980年には固定式になり

除雪車だけでなく、矢羽根に反射材を使いデリニエータと同じに夏冬を通して一般車の視線誘導も意識するようになった。今では一般のドライバーが安全に車を走らせるための道しるべとなっている。この他にも、デリニエータを兼用して冬は高く伸ばし、夏に低くしたものなど幾つかのタイプがあったが、開発局では1991年にオーバーハングの固定式視線誘導柱を標準とし、着雪防止のために矢羽根を中心から左右に15度折り曲げるようにした。ポインターとして矢羽根が使われるようになったのは、支柱がオーバーハングになつてからであるが、赤白模様を基本としながら形や大きさが微妙に変わってきた。現在では角張ったものから、とげとげしさを和らげるために丸みを帯びたものに変わってきた。

また、50年にわたって使われてきた赤白模様であるが、高い煙突に使われているように危険表示でもあり白い部分は視認性が悪く、必要を感じない夏に目立ちすぎるなど景観からも気にされるようになってきた。



(写真-9) スノーポールの矢羽根

スノーポールは吹雪など必要な時に存在感があって、それ以外は背景にとけ込んでいることが望ましい。1993年には国際的に基調となっている青と黄色をパターン模様に取り入れたポインターの視認性試験が行われた²¹⁾ (写真-9)。この他に、矢羽根に埋め込んだ豆ランプを太陽電池で発光させたり、反射材も種々の工夫がされている。

2) 視線誘導植栽

視線誘導の役割は潜在視程を顕在化することであり、最も良いのは連続的に視線誘導することである。そのため、札幌開発建設部滝川道路事務所では1979年に5m間隔にヨーロッパトウヒを植栽し視線誘導とした (写真-10)。植栽箇所は国道12号と275号の交通事故の多い曲線部であったが、顕著な交通事故の減少効果がみられた²²⁾。さらに、1993年から開発土木研究所の提案で、国道12号に利用されることのなかった間伐材を、また、道央自動車道でも防雪林から発生する間



(写真-10) インテリジェント・デリニエータと
視線誘導植樹（後方）

伐材を視線誘導に利用している。夜間は全体が暗くなるので光を使ったほうが視認性はよくなるが、日中は背景の雪の白さとコントラストの大きい黒い樹木の視認性は非常に高いと評価されている。

3) 究極の視線誘導、インテリジェント・デリニエータ

1970年代末にはランプを内蔵した自発光デリニエータが現れ、吹雪の多い国道230号中山峠や40号稚内等で使われ始めた。自発光デリニエータは、日中は満足とはいえないが夜間の視線誘導効果は最も大きい。1994年に開発土木研究所の防災雪氷研究室の福沢義文副室長と加治屋安彦室長は、ポール型視程計と停止車両検知用のレーダーを1本のポールに組み込んだインテリジェント・デリニエータ（写真-10）を開発した。ポール型視程計は車載型視程計を小型にしたもので、視程によって発光量をコントロールするためのセンサーである。視程が低下したらそれに応じて発光量を大きくし視線誘導しようとするものである。停止車両検知用レーダーは小型化したミリ波のレーダーで、目視では見えない路上の停止車を監視するためのレーダーである。前方の停止車に気づかず衝突して、多重衝突事故に拡大することの多い冬の交通事故の防止を目的にしたものである。まさにインテリジェントな究極の視線誘導といえよう。

また、建設省東北地方建設局では、レーザー光線で測線を照らし雪粒子にあたって散乱する光の壁を視線誘導とするシステムの実験をしている。スノーポールをはじめとして、北海道の視線誘導施設は、種類、質、量ともに世界でも最も豊富で進んだものになっている。それだけ交通の安全からも視程障害対策の必要性が認識されているのである。

あとがき

今回は、これまでの吹雪対策についての研究と実際に展開されている技術を中心に述べた。防雪技術の進

歩もあって、吹雪対策の目的は交通の確保から安全が重視されるものになっており、防雪施設などハード的にはより効率的なものや、この有効な使用法等は求められても基本的に大きく変わることはないように思われる。これからは、道路だけでなく車や人を加えた総合的な冬の交通安全対策が、ITSのようにさまざまな最新の技術を集めて進められていくであろう。ここでは触ることができなかったが、郊外部の道路でも流雪溝や雪崩対策などがあり、市街部を含めるとまだ多くの雪対策技術もある。交通や気象の情報を活用した道路維持管理システムや最新の研究も割愛した。これらについては、いずれ専門の方から紹介されることを期待する。

最後に、奈良義明、池田保夫、平田勝二郎、関野哲夫、石本敬志、福沢義文、若林修、高橋晃一、佐藤一幸、打矢徹也の諸氏には写真、資料等の提供や貴重な助言をいただいたことを感謝する。

参考文献

- 1) 荒井賛一、1995：防雪切土（国道232号）の施工事例、ゆき、No.20
- 2) 石本敬志、竹内政夫、福沢義文、野原他喜男、1980：道路防雪林による吹雪時の視程障害緩和効果、土木試験所月報、No.320
- 3) 石本敬志、竹内政夫、福沢義文、野原他喜男、1981：切土区間の道路における防雪対策について、土木試験所月報、No.335
- 4) 石本敬志、竹内政夫、野原他喜男、福沢義文、1985：切土区間の防雪容量、「85寒地技術シンポジウム」
- 5) 石本・竹内、1987：車載型吹雪計の開発、土木試験所月報、No.413
- 6) 石本敬志、1988：ビデオカメラによる視程計測システムの紹介、開発土木研究所月報
- 7) 石本、福沢、奥谷、竹内、1992：車の雪煙による視程障害と道路構造、開発土木研究所月報、No.475
- 8) 加治屋安彦、1997：冬期交通とITS、北の交差点、Vol.2
- 9) 加藤智彦、関谷強、後藤秀昭、1980：視線誘導植栽の交通事故防止効果について、24回局技研、244-250
- 10) 草開良視、内藤亨、坂本稔、1979：防雪林の試験施工について、第22回北海道開発局技術研究発表会論文集
- 11) 竹内、鎌田、福沢、1972：道路積雪実態調査、15回開発局技術研究発表会論文集
- 12) 竹内政夫、1978：道路標識の着雪とその防止、雪氷、40-3
- 13) 竹内政夫、1980：吹雪時の視程に関する研究、土木試験所報告
- 14) 竹内政夫、1986：道路管理のための気象観測とその利用、雪と道路、No.7
- 15) 竹内、高木、1993：道路標識・標示およびスノーポールのデザインについて、開発土木研究所月報、No.482
- 16) 千葉、石本、加治屋、1996：道路監視用カメラによる視程計測手法を用いた視程の空間的変動分析、第12回寒地技術シンポジウム
- 17) 日本道路公团札幌建設局、1980：北海道における防雪及び林業植栽に関する調査研究報告書、
- 18) 日本道路公团札幌建設局、1980：道央自動車道昭和54年度岩見沢地区雪氷調査報告書、
- 19) 日本道路公团札幌建設局、1982：道央自動車道昭和56年度吹雪実態調査報告書、
- 20) 早坂恵慈、木元喬之、谷内吉雄、永井博、石本敬志、竹内政夫、1979：吹雪地帯における防雪対策について、第22回北海道開発局技術研究発表会論文集
- 21) 広田保夫、1993：地吹雪対策の現状、ゆき、No.12
- 22) 福沢、竹内、1992：車載型視程計の開発について、開発土木研究所月報、No.464
- 23) 森田義育、1988：真駒内清談、(財)北海道河川防災技術センター