

湿雪地域における道路・交通標識の着雪防止 (機能性含ふっ素高分子材の利用)

栗山 弘*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

Prevention of Adhesion of Snow on the Road and the Traffic Signs in the Wet Snowy Area (By the Use of Functional Fluoro-high-polymer)

By

Hiroshi Kuriyama

*Institute of Snow and Ice Studies, National Research Center
for Disaster Prevention Nagaoka, Niigata-ken, 940*

Abstract

Observation of adhesion of snow on the road signs and the traffic signs were made in Nagaoka City situated in the area of wet snow from Jan. 1 to Mar. 19, 1983. The ratio of day in which snow adhered on the signs were 51% of whole snow fall days.

In order to find the least frictional surface material, measurements were made of the frictional force between snow and surface materials, which were tetra fluoroethylen hexa fluoropropylene copolymer (TFHFC) sheet, poly vinyl fluoride sheet, alkyd resin paint coated sheet and melamin alkyd resin paint coated steel sheet, under the conditions of the snow temperature 0 to -2°C and the water content of snow 0 to 6.3% in the cold room.

The effect of prevention for adhesion of snow on the test sign-plates of two types were observed, one was the usual type and the other was TFHFC sheet coated type which was the least frictional in the above tests. The test sign-plates were setted with four kinds of frontal slant angle, 0°, 10°, 15° and 20°.

According to the observation, the TFHFC sheet coated sign-plate with 20° frontal slant angle was the most effective.

1. まえがき

車の運転者にとって、道路標識や交通標識（以下標識板と称する）によって、案内または指示される事項は、車の安全・効率的な運転に不可欠な情報である。積雪地域においては、

* 雪害実験研究所

降雪期には、標識板に雪が付着するために、標示板としての機能がたびたび喪失する。また、はなはだしいときには、支柱も含めて全体に着雪し、暗白色の雪の背景と同化し、効外道路で果していた、運転者の視線誘導の機能も喪失する。

標識板の着雪防止には、建設省東北技術事務所（1977）、竹内（1978）の研究があり、標識板を前傾させるか、頂部に傾斜したパイザーを取付けることにより、空気流の標識板に対する相対速度を増大させ、その剪断作用で着雪を防止するとともに、板上の着雪位置を上方に移動させることにより、着雪防止の効果が期待できることを示した。

これらの研究は主として、北海道や東北地方の北部の乾雪地帯に有効であるが、北陸地方以南の湿雪地方では、湿った雪片がよく板に付着するので、上記の方法による着雪防止の結果は不明である。

筆者は雪と空気の固体・気体の二相流に使用する、難着雪性材料の選定に関連して、難附着性材質として知られているテフロンと同種の、機能性含ふ素高分子材の、4ふっ化エチレン6ふっ化プロピレン共重合体（*Tetra Fluoroethylen Hexa Fluoropropylen Copolymer*）が、雪と動摩擦係数の小さいことを、低温実験室における滑り実験で確認した。さらに4ふっ化エチレン6ふっ化プロピレン共重合体の透明フィルム（*F*フィルムと略称する）を、表面にコーティングした標識板（*F*標識板と略称する）と、*Alkyd Resin* 塗料を表面に塗装した現用標識板（*A*標識板と略称する）を用いて、野外で着雪の比較実験を行った。試験の結果 *F* 標識板の着雪防止性能が優れていることが判明し、難着雪性標識板として、実用性があるという結論を得た。

また上記乙種の標識板の野外実験と並行して、実際に供用中の標識板の着雪の実態調査も実施した。

2. 温暖湿雪地方の標識板の着雪および滑落

2.1 着雪の実態

北陸地方は温暖湿雪地域に属し、冬季の気温は比較的高く、降雪量は多い。

北陸地方の東北部に位置する雪害実験研究所（新潟県長岡市栖吉町、 $37^{\circ}25'N$ 、 $138^{\circ}53'E$ 、*Alt.* 97 m）の構内の、最近の5冬期の積雪観測の結果（小林他、1979）、（宮村他、1980）、（雪害実験研究所、1981、1982、1983）から、降積雪に関する諸値を求めると、表1に示す値となる。

表1によると一冬の平均降雪日数は70日、積算降雪の深さの平均値は696 cm、積算降水量の平均値は767 mmといずれも非常に大きい。さらに、新積雪の密度の平均値は0.110 g/cm³で、温暖湿雪地域の特徴である、水分を含む重い雪が降ることが伺える。

特に上記5冬季の1月から2月の2か月の平均降雪日数は45日で、全日数の76%に相当

表 1 最近5冬期の雪の観測値
Table 1 The observed value of snow in the last five winter seasons.

冬 期	降雪日数 (日)	積水降雪の 深 (cm)	積算降水量 (mm)	新積雪の密 度の平均値 (g/cm ³)
53-54	59	347	419	0.121
54-55	64	747	841	0.113
55-56	85	1,052	1,198	0.114
56-57	71	556	563	0.101
57-58	70	780	813	0.104
平 均	70	696	767	0.110

(雪害実験研究所構内)

し、積算降雪深の平均値は543cm、積算降水量の平均値は568mm、新積雪の密度の平均値は0.105g/cm³であった。

以上の事実から、北陸地方の標識板の着雪は、湿雪型着雪であること、1月2月に着雪が多発することが伺える。

1983年1月1日から同年3月19日(長岡における最終降雪日)までの78日間に、日本国有鉄道長岡駅から南々東に、直線距離1.3kmの地域の市道1.1kmに設置されている、50箇の交通標識板を対象にして、着雪の実態を調査した。

調査標識板のうち4箇は直径90cmのもので、地上7mの高さで、2箇ずつ横に並べて設置され、他は直径60cmのもので、路側に立てた支柱に1箇または、上下に2箇並べて設置されたものである。標識板の方位と種別は表2のとおりである。

表 2 調査標識板の方位と種類
Table 2 Direction and kind of the sign-plates.

標 識 板 方 位	速 度 制	駐 車 禁 止	そ の 他	計
WNW	8	8	0	16
ESE	7	6	0	13
SSW	3	3	0	6
NNE	3	3	0	6
WSW	2	2	1	5
ENE	2	2	0	4
計	25	24	1	50

調査時間は午前7時30分から8時までの30分間とし、徒歩で巡回して、着雪のパターンを調べた。着雪のパターンを3種に分類し、①標識の一部に着雪し、走行中の車の運転者が、標示内容を視認できるものをⅠ型(写真1)、②着雪が標識の一部であるが、走行中の車の運転者からは、標示内容が視認できないが、歩行して近ずけば視認できるものをⅡ型(写真2)、③着雪のために標示内容を全く視認できないものをⅢ型(写真3、4)とした。調査期間中の着雪状況を月毎にまとめたものを表3に示す。午前7時30分から午前8時までに観測された着雪は、前日の夜から当日午前8時までの降雪によるとみてよいので、表3に示す降雪日数は、雪害実験研究所の気象自記記録により、前日午後8時から当日午前8時までに、



写真1 I型着雪
Photo. 1 I type snow adhesion.

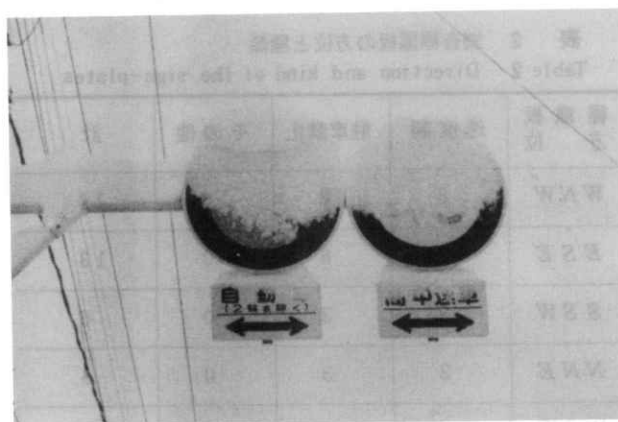


写真2 II型着雪
Photo. 2 II type snow adhesion.

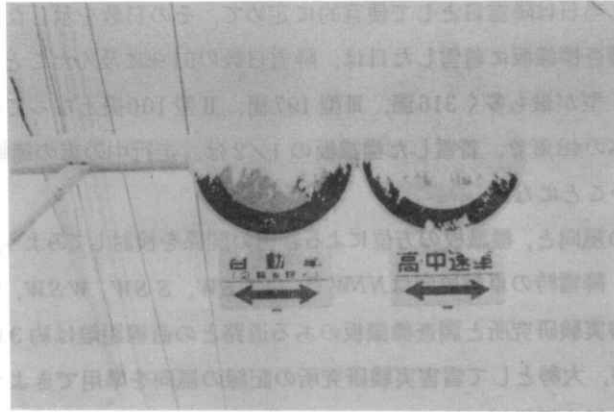


写真 3 III型着雪Ⅲ
Photo. 3 III type snow adhesion.

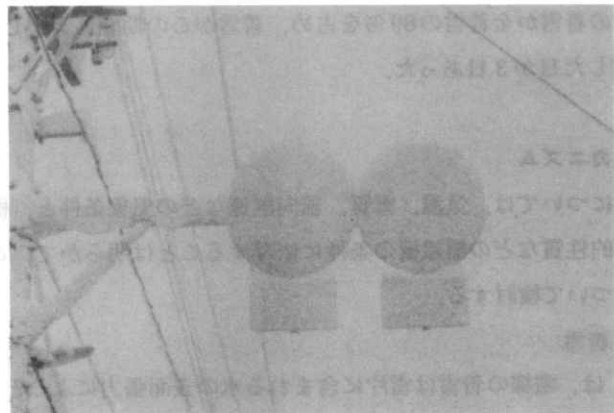


写真 4 III型着雪
Photo. 4 III type snow adhesion.

表 3 標識板の着雪状況総括

Table 3 Summary of adhesion of snow on the sign-plates.

月	1月	2月	3月	計	
調査日数(日)	31	28	19	78	
降雪日数(日)	16	21	12	49	
着雪日数(日)	11	11	3	25	
パターン別 着雪箇所数 (箇所)	I型	154	141	21	316
	II型	35	46	19	100
	III型	76	91	30	197
	計	265	278	70	613

調査期間 1983年1月1日～1983年3月19日

降雪があれば、当日は降雪日として便宜的に定めて、その日数を示したものである。この方法によると、調査標識板に着雪した日は、降雪日数の51%に及んだことがわかる。パターン別着雪延数はI型が最も多く316箇、III型197箇、II型100箇となっている。II型、III型の着雪延数は全体の48%で、着雪した標識板の1/2は、走行中の車の運転者に、必要な情報を伝達し得ないことになる。

次に降雪時の風向と、標識板の方位による着雪の関係を検討してみよう。雪害実験研究所の気象記録では、降雪時の卓越風向はNNWで、以下SW, SSW, WSW, W, WNWの順となっている。雪害実験研究所と調査標識板のある道路との直線距離は約3kmで、道路の周辺には建物もあるが、大勢として雪害実験研究所の記録の風向を準用できよう。観測された着雪のうち、表2に示す標識板のうち方位がWNW, SSW, WSWのもの着雪が、全着雪の78%を占めたことから、標識板の着雪は、標識板の方位と同方位、またはそれに近い方位の、降雪時の風方の時に多く発生するといえる。

また1月2月の着雪が全着雪の89%を占め、着雪がこの期間に集中している。調査標識板50箇全部が着雪した日が3日あった。

2.2 着雪のメカニズム

標識板の着雪については、気温、雪質、風向風速などの気象条件と、標識板の形状、表面材の物理・化学的性質などの標識板の条件に依存することは明らかで、このうち雪質及び風と着雪の関係について検討する。

2.2.1 雪質と着雪

庄田(1950)は、電線の着雪は雪片に含まれる水の表面張力によるとし、竹内(1978)は標識板の着雪を乾雪と湿雪に分け、湿雪の付着は、雪片中の水の表面張力によるとしている。

これらのことから、湿雪の多い北陸地方の標識板の着雪のメカニズムを分類すると次のようになる。

- ① 気温が0℃以上のとき降る湿雪が、雪片中の水の表面張力によって、標識板に付着する。
- ② 乾雪の場合は三つに分けられ、その一は、気温が氷点下でも0℃に近いときには、標識板の温度が日照その他の影響で0℃以上となり、これに雪片が触れて融解した水滴が付着し、その水滴に乾いた雪片が触れて、湿雪と同様に付着する。
- ③ 乾雪のその二は、竹内(1978)が指摘した、雪片の運動エネルギーが熱に変わり、その一部で雪片の一部を融解し、再凍結の過程で付着する。
- ④ 乾雪のその三は、竹内(1978)による、微細で浮遊状態の雪片が、その中の水の液状膜や塩分溶液によって付着する。

以上のうち北陸地方では、①②の着雪が主である。③は気温の低下する内陸では、低温降

雪時の風速は小さく、④は微細雪片が浮遊状態で降る機会が少ないので、③④の着雪は少ないとみてよい。また①②の着雪が温度の低下により、雪の中の水が凍結して、凍着状態に変化することがある。

2.2.2 風と着雪

着雪は標識板の方位と、風向風速によって変化することは前に述べた。ここで標識板近傍の空気の流れと、着雪の関係を検討してみる。

竹内(1978)は風洞実験で、標識板に当る空気の流れを調査した。それによると、標識板の表面附近の空気の流線は、中立線を境にして上下に別れ、標識板が鉛直のときは中立線は中央にあり、板が前傾すると中立線は上方に移動することがわかる。

ここで標識板表面附近の空気流の着雪への影響を検討してみる。図1は空気流による標識板着雪の促進と、はく離作用の模式図である。標識板の前傾角を θ 、空気の流線上の任意の点の流速を U 、水平線と流線のなす角を β （時計廻りをプラスとする）、 U の板に垂直な成分を U_v 、板に平行な成分を U_p とすると、 U_v 、 U_p は次式で示される。

$$U_v = U \cos(\beta + \theta)$$

$$U_p = U \sin(\beta + \theta)$$

ここで U は風速、板の前傾角 θ 、板との相対位置の関数である。竹内(1978)の実験では、板の表面近くでは中立線（図1の破線）から離れる程 U は大きくなっている。

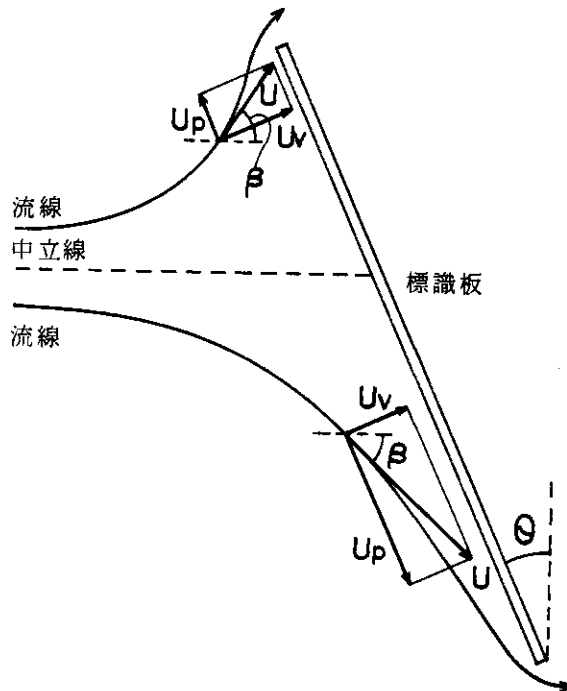


図 1 標識板表面附近の空気流による着雪の促進とはく離
Fig. 1 Promotion of adhesion and separation of snow from the sign-plate by air flow near its surface.

上式において、板に垂直な速度成分 U_v は、着雪を促進する作用を有し、板に平行な速度成分 U_p は、着雪を剪断はく離する作用を有す。着雪防止には U_v を小さく、 U_p を大きくすることが望ましい。次下代表的なケースについて検討する。

- ① 上式において、無風時には U_v 、 U_p ともに0で、着雪は発生しない。
- ② $\theta = 0$ の場合、中立線より上方では、 U_p はマイナスとなって、雪片の落下運動の鉛直方向の速度成分を減ずるように作用する。即ち付着防止の効果を減少するように作用する。このために、風が弱いときには写真1に見られるように、板の上方に多く着雪する。

風が強い場合には、風速とほぼ同じ速さで標識板に近づく雪片は、慣性のために、板近傍の空気流の影響をあまり受けずに、そのまま板に当り着雪する。この種の着雪は標識板にほぼ一様に付着する(写真4)。

- ③ $\theta \neq 0$ の場合、中立線より上方においては、 U_p は $\theta = 0$ の場合と同じように、雪片の落下速さを減ずるように作用し、付着防止効果は減少する。中立線より下方においては、付着防止効果を増加するように作用する。風が強い場合には、 $\theta = 0$ の場合と同じ理由で、写真4に見られるように、標識板にほぼ一様に着雪する。

上式において、 θ が大きくなれば、中立線は上方に移動し、中立線より下方では、 U_p は増大し U_v は減少するので着雪防止効果が大きくなるが、前傾角が大きくなると、標示内容の視認性が悪化したり、無風時または風の弱いときには、標識板の背面に雪が積るようになる。

2.3 着雪の滑落

湿雪が標示板に付着するのは、湿雪の中に含まれている水の表面張力によるもので、降雪が続いて着雪が生長し、着雪の重量が付着力を超えれば、着雪は滑落する。また着雪は生長しなくとも、気温や板温が氷の融点を超えていれば、着雪の融解がすすみ、水分が増加して付着力が低下し(莊田, 1950)、着雪の重量を支持できなくなって、着雪は滑落する。

着雪が凍着状態のときは、気温や板温が氷の融点を超えて凍着部分が融解すれば、湿雪着雪と同じ状態となって滑落する。また凍着状態のときは、強風でなければ、着雪ははく離されない。たとえはく離してもそれは着雪の外側の部分で凍着部分は残るので、標識としての機能は回復しない。

3. 着雪の新防止方法

3.1 着雪の新防止方法

北海道、東北北部のような乾雪地帯では、標識板を前傾させるか、前傾させ更に板面に風を平行に誘導するバイザーを、標識板の上部に取付けるなどの方法で、相当程度着雪を防止

できることは前に述べた。

標識板の前傾角度が大きいほど、着雪効果大きいことは、2.2.2で述べたが、前傾角が大きすぎると、標識としての機能が低下するので、一定の限度がある。したがって標識板を前傾するだけでは、付着し易い湿雪の付着防止はできない。

一方疎水性の物質は、湿雪との付着力が小さいことが知られており（たとえば水野・若浜，1977），標識板の表面に疎水性の材質を使用することにより、湿雪の付着防止、または付着した湿雪の離型性を高めることが可能であると考えられる。

ここでは、表面に疎水性の難着雪性材質を使用した標識板を前傾させ、両方法の着雪防止の相乗効果を考えた。難着雪性材質の選定は次の方法によった。

3.2 難着雪性表面材の選定

標識板の表面材質としての疎水性材料は、塗料か、塗装表示された表面にコーティングできる透明コーティング材料に限られる。最近高い疎水性を示す機能性含ふ素高分子材が開発され、実用に供されている。その中から、透明フィルムとして製品化されているFフィルムと、ポリフッ化ビニル（*Poly Vinyl Fluorid*：PVF、Pフィルムと略称する）及び、A標識板と屋根材料のカラー鉄板を加えて、水との接触角及び、雪との動摩擦係数を測定した。

3.2.1 水との接触角

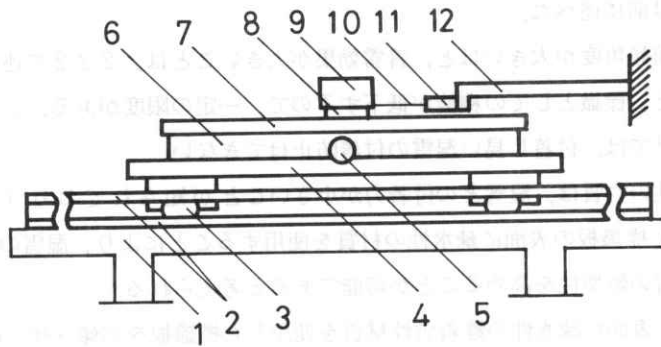
表面材と水との接触角は液滴形状法によった。室温 $-0.8\sim+0.3$ ℃の低温室において、水平な表面材の上に、水温 $+0.1$ ℃、体積 0.03 ccの蒸留水の液滴を作り、これを写直接写し、引伸印画から、液滴の高さ h 、表面材と液滴の界面にできる円の半径 r を求める。液滴は小さいので重力の影響を無視して、表面を球面とみなすと、接触角 a （度）は、 $a=2 \tan^{-1} \left(\frac{h}{r} \right)$ ($a \leq 90^\circ$)、 $a=180 - 2 \tan^{-1} \left(\frac{r}{h} \right)$ ($a > 90^\circ$)で求められる。

各表面材の水の接触角は5回の測定の平均値で、Fフィルム： 113.6° 、Pフィルム： 76.8° 、A標識板（青色、新品）： 55.4° 市販のカラー鉄板（*Melamin Alkyd Resin* 塗料塗装、新品）： 81.3° 、8年使用カラー鉄板： 23.5° であった。

3.2.2 雪と表面材の動摩擦係数

雪と表面材の動摩擦係数の測定は、図2、写真5に示す実験装置を用いて、低温実験室で実施した。

図2において、水平なベース1の上にガイドレール2が設置され、これに滑かに水平直線運動をするスライドブロック3が組込まれ、スライドブロックにラック4とケース6が固定されている。ケース6には、試験用表面材が張られるスライド平面7が取付けられる。表面材の上には、ホルダー9に収められた試験雪8が載せられ、ホルダー9は細いワイヤ10でロードセル11と連結され、ロードセルはブラケット12に固定されている。試験雪が表面材上を滑るときに発生する摩擦力は、ロードセルで検出され、動歪計を介して、電磁オシログラフ



- | | | |
|----------------|----------------|---------------|
| 1. Base | 5. Pinion | 9. Holder |
| 2. Guid rail | 6. Case | 10. String |
| 3. Slide block | 7. Slide plane | 11. Load cell |
| 4. Rack | 8. Sample | 12. Bracket |

図 2 雪と表面材の摩擦力測定装置
 Fig. 2 Equipment for measuring the frictional force between snow and surface material.

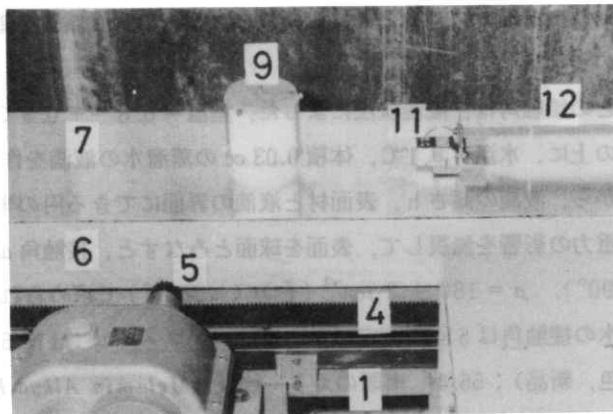


写真 5 滑り摩擦力測定装置
 Photo. 5 Equipment for measuring the frictional force.

に記録される。ラック4はピニオン5と噛み合い、可変速電動機の回転はピニオン・ラックを介して、スライド平面上の表面材を水平直線運動させる。

試験に用いた表面材は、前記の水との接触角を測定したものと同一であり、いずれも幅30cm長さ100cmの大きさである。試験雪は乾き新雪と、ぬれ新雪(含水率5%程度)の2種とし、内径10cm、高さ10cm、肉厚0.5cm、質量305gの透明アクリル製ホルダー(図2の9)で試験雪を採取し、そのまま表面材の上に静置し、凍結を防ぐために30秒の静置後、表面材の上を滑らせて動摩擦力を測定した。滑り速度は0.1, 0.6, 1.1, 2.5, 4.9, 8.0 cm/sの6種とし、低温実験室の温度及び表面材の温度は、乾燥雪の場合-2.0~-2.5℃(設定

- 2℃), ぬれ雪の場合±0~+0.3℃(設定0℃)であった. 乾き試験雪は-2.1℃の新積雪層から, ぬれ雪は含水率4.9%の新積雪層から大きなブロックで採取し, 上記の設定温度の低温実験室に静置し, それからホルダーで採取した. 試験終了直後に密度と, ぬれ雪は含水率を秋田谷式雪の含水率計で測定した.

また上記の試験の結果, 雪との動摩擦係数が最も小さかったFフィルムと, 広く実用されているA標識板の, 含水率の変化による雪との動摩擦係数を比較実験した.

3.2.3 試験結果と表面材の選定

図3に雪と表面材の摩擦力のオシログラムの一例を示す. また図4, 図5に雪と試験表面材の動摩擦係数と, 滑り速度の関係を示す. 動摩擦係数は動摩擦力を滑動体の重量で除した値である.

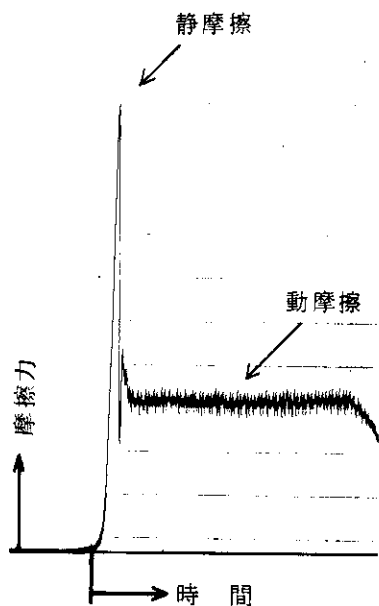
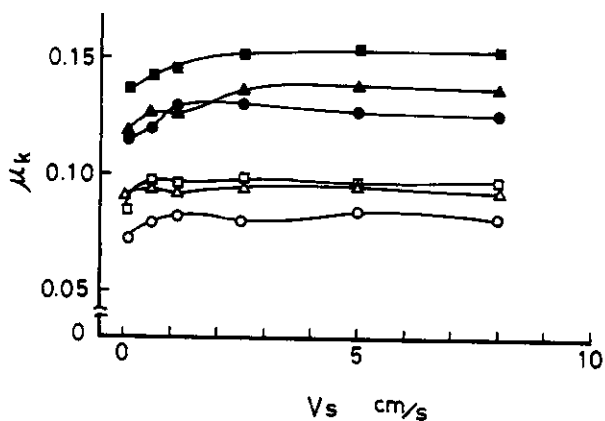


図 3 滑り摩擦力のオシログラム
Fig. 3 Oscillogram of sliding frictional force.



記号	表表面材	水の接触角(度)	雪密度(g/cm ³)	雪の含水率(%)
○	Fフィルム	113.6	0.090~0.098	0
●	"	"	0.118~0.121	5.2
△	Pフィルム	76.8	0.094~0.098	0
▲	"	"	0.120~0.124	5.1
□	A標識板	55.4	0.093~0.096	0
■	"	"	0.120~0.122	5.6

図 4 新雪と表面材の動摩擦係数(μ_k)と滑り速度(V_s)の関係(その1)
Fig. 4 Coefficient of friction(μ_k) between new snow and surface materials vs. sliding velocity(V_s).

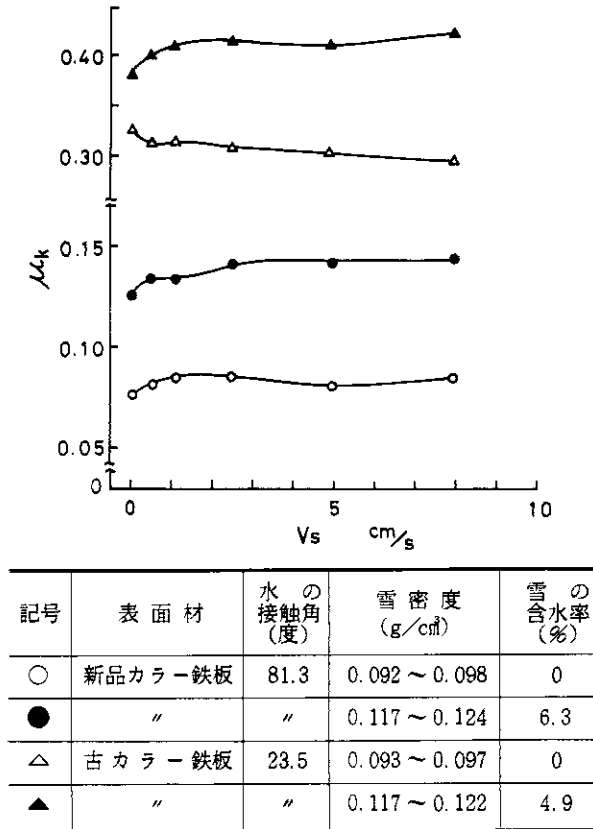


図 5 新雪と表面材の動摩擦係数 (μ_k) と滑り速度 (V_s) の関係 (その2)
 Fig. 5 Coefficient of friction (μ_k) between new snow and surface materials vs. sliding velocity (V_s).

乾き新雪での動摩擦係数は、Fフィルムが最も小さく、次いで新品カラー鉄板、それからPフィルム、A標識板の順に大きくなっている。しかし各表面材間の差は小さい。一方古カラー鉄板の動摩擦係数は0.3程度で、他の表面材の約4倍になっている。古カラー鉄板の表面は、青色から白色化し、光沢は全く喪失し、微視的には表面が相当荒れていると推測される状態であった。

含水率が4.9~6.3%のぬれ新雪での動摩擦係数は、Fフィルム、Pフィルム、新品カラー鉄板、A標識板の順に大きくなり、乾き新雪での動摩擦係数の約2倍となっている。また動摩擦係数の値は、水との接触角の大きいもの程小さいという結果になっている。

滑り速度と動摩擦係数の関係は、滑り速度が1.1~2.5 cm/sまでは、速度の増加とともに動摩擦係数の値は漸増するが、それ以上の速度では略一定となっている。

ぬれ新雪での古カラー鉄板の動摩擦係数は0.4前後で、新品カラー鉄板の約3倍の大きさになっている。ぬれ新雪をこの上で滑動させたときは、表面の一部が青白色から水色に水潤変色し、ぬれ新雪中の水で表面がぬれたことを示していた。これらの事象は、表面が劣化

した標識板やその他の塗色物体に、湿雪が付着し易く、滑落しにくい理由と、深い関係があることを伺わせる。

図6にぬれ新雪の含水率を変化させたときの、Fフィルム及びA標識板と、ぬれ新雪との動摩擦係数の変化を示す。両表面材はともに、含水率の増加とともに動摩擦係数は増加し、含水率10~15%で最大となり、それ以上の含水率では減少する傾向がみられる。

ここでの雪と表面材との動摩擦における、両物質の相対運動の形態と、表面材に付着した雪が滑落するときの両物質の相対運動は異なるが、図6はぬれ雪の付着や滑落に、雪の中の水の量が深く関与することを示唆している。

図4, 5, 6の動摩擦係数は、同一条件の試験の結果得られたもので、雪と他の物質との摩擦係数は、試料の大きさ、雪温、両物質の微視的接触状況、荷重、すべり速度等に依存することが指摘されており、本試験と異なる条件では、動摩擦係数は異なる。

以上の試験の結果、試験標識板の表面材として、乾き雪ぬれ雪との動摩擦係数が、ともに最も小さかった透明Fフィルムを使用することとした。

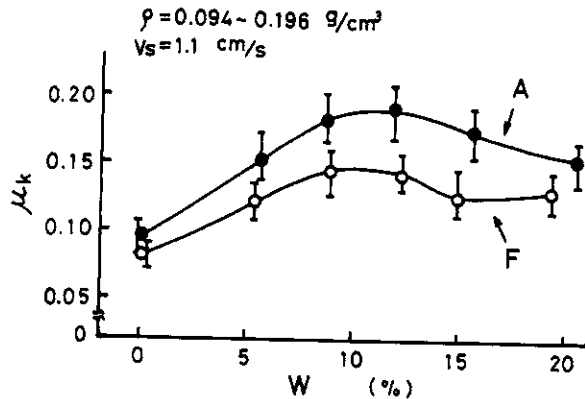


図 6 雪とA板およびF板の動摩擦係数 (μ_k) と雪の含水率 (W) の関係
 Fig. 6 Coefficient of friction (μ_k) between snow and A-plate, F-plate vs. water content of snow (W).

4. 実用試験

4.1 試験方法

A標識板と、前冬期に実施した前節の試験結果から、湿雪の難付着性と滑落性が良好とみられる透明Fフィルムを、A標識板にコーティングした難着雪性標識板 (F標識板) の着雪防止効果の比較試験を、雪害実験研究所の構内で実施した。

A標識板とF標識板1枚ずつを1組とし、前傾角を0°, 10°, 15°, 20°とした4組を図7に示すように設置した。板の表面の方位は西で、F₀ (F標識板, 前傾角0°)の裏面にサーミスタ温度センサーを添付し、断熱材でカバーし標識板の温度を測定した。

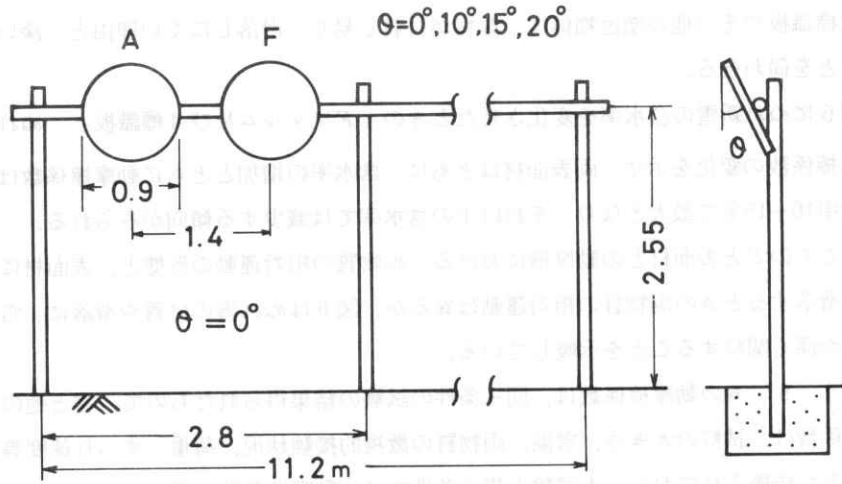


図 7. 試験標識板設置図 A: A標識板, F: F標識板, θ : 前傾角
 Fig. 7. Setting of the test sign-plates.

4.2 試験結果

4.2.1 着雪防止効果

図7に示した実験標識板の着雪状況を写真6に示す。写真6は1983年2月12日午前9時10分のもので、この3時間前から1時間毎の気象は、雪害実験研究所の気象盤の記録によると、気温6時-2.9℃, 7時-2.9℃, 8時-3.1℃, 9時-3.2℃, 降水量・平均風速6~7時0mm・3.1m/s, 7~8時0mm・2.2m/s, 8~9時0mm・1.7m/sであり午前9時の新積雪の密度0.069g/cm³(表面から5cm下まで)であった。標識板の着雪面積を求めするために、1枚毎の着雪状況を写真記録し、その引伸印画を使用して、プランメータで着雪面積を求めた。また写真撮影直後に、標識板を大きなビニールの袋でカバーし、木製のへらで着雪をはく離させて袋に受け、着雪の質量を測った。1983年2月19日午前8時34分の着

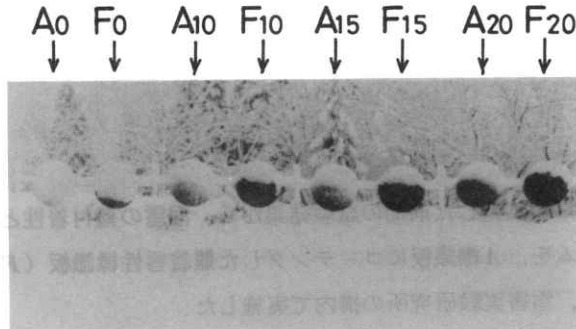


写真 6 試験標識板の着雪 (1983年2月12日)

Photo. 6 Adhered snow on the test sign-plates (Feb. 12, 1983).

雪についても、上と同様の方法で着雪面積と着雪質量を測った。以上の結果を表4に示す。

表4により着雪の難易を検討すると、同一の前傾角ではF標識板がA標識板より、いずれも着雪面積、積雪質量が小さい。また同一の表面材では、前傾角の大きい程着雪面積、着雪質量が小さい。このことから表面に疎水性材を使用し、或る程度前傾させることによって、標識板の着雪防止の性能を高めることが可能であるといえる。

表 4 試験標識板の着雪面積・質量比較

Table 4 Area and mass of adhered snow on the test sign-plates.

前傾角(度)		0		10		15		20	
		A	F	A	F	A	F	A	F
2月 12日	着雪面積率(%)	98	84	78	48	66	41	57	34
	着雪質量(g)	613	542	399	268	312	266	289	219
	着雪質量比	1	0.88	0.65	0.44	0.51	0.43	0.47	0.36
	着雪厚(cm)	3.1	2.7	2.6	2.3	2.5	2.0	2.3	1.8
2月 19日	着雪面積率(%)	86	72	58	42	45	37	42	31
	着雪質量(g)	749	698	409	374	341	299	268	250
	着雪質量比	1	0.93	0.55	0.50	0.46	0.40	0.36	0.33
	着雪厚(cm)	3.5	3.0	2.8	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1

4.2.2 着雪の滑落効果

試験標識板の着雪の滑落時に現場で立会い、直接滑落雪の湿潤を試験することができた23例すべてが、標識板と着雪の間に水が介在して滑落する、湿潤滑落であることを確認した。確認の方法は、滑落時に標識板に水滴の付着を確認するか、水滴の付着のないときは、滑落雪の板への付着面にウォーターブルー紙を当て、青変することで水の介在を確認した。

図8、図9に着雪の滑落までの、気温と標識板温度の経時変化を示す。図8は1983年1月22日の温度の経時変化と着雪の滑落時刻を示したものである。当日は日本列島の上空に寒気が張り出し、終日氷点下を示し、日中はときどき降雪があるという気象であった。午前7時頃の日照とともに標識板の温度が上昇しはじめ、午前9時過ぎに0℃を超え、10時に0.7℃となり10時3分にF₀(前傾角0℃のF標識板)の着雪が最初に滑落し、以下図8に示す順序で順次滑落した。

図9は1983年2月21日の温度の経時変化と着雪の滑落時刻を示したものである。当日は前日からの里雪型の気圧配置で、夜間から未明にかけて吹雪模様で、標識板の着雪が多かった。しかし、気温も標識板温度も比較的早くから上昇しはじめ、午前8時30分には標識板の温度は0.5℃となり、それから23分後にF₀の着雪が最初に滑落し、以下図9に示す順序で順次滑落した。

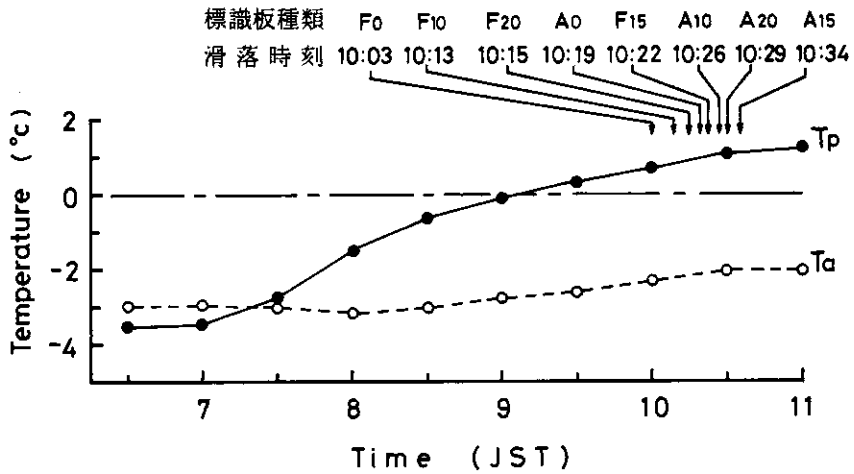


図 8 気温 (T_a) と標識板温度 (T_p) の経時変化と着雪の滑落時刻 (1983年1月22日)
 Fig. 8 Change of temperature of air (T_a) and of the sign-plates (T_p) and time of separation of snow adhered on the sign-plates (Jan. 22, 1983).

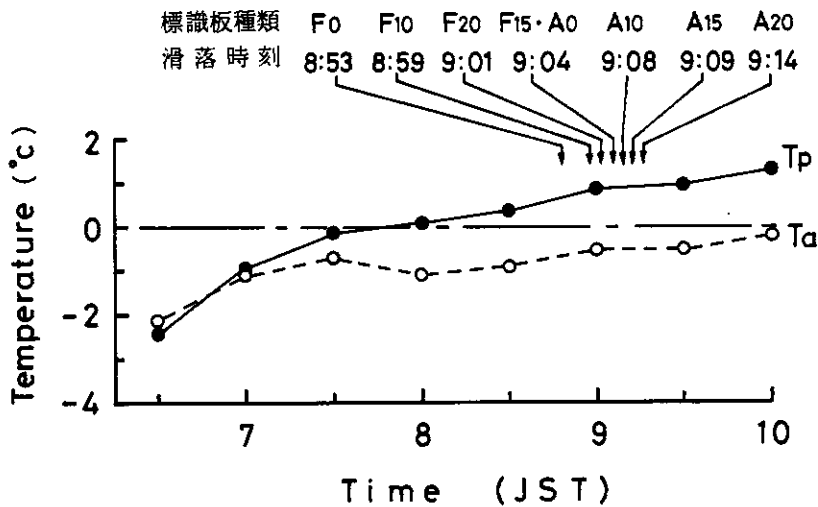


図 9 気温 (T_a) と標識板温度 (T_p) の経時変化と着雪の滑落時刻 (1983年2月21日)
 Fig. 9 Change of temperature of air (T_a) and of the sign-plates (T_p) and time of separation of snow adhered on the sign-plates (Feb. 21, 1983).

図 8, 図 9 から気温が $-2 \sim -3$ °C のときは, 標識板の温度が 0 °C を超えおよそ 1 時間の経過で, $0.5 \sim 1.0$ °C になると着雪は滑落している. 滑落の早いのは F_0 で, 遅いのは前傾角の大きい A_{15} や A_{20} であった. 同一の前傾角では, F 板が早く滑落している. 同一表面材では前傾角の小さい板の着雪が早く滑落している. これは前傾角が小さい程, 着雪に作用する重力の板に平行な分力が大きいためとみられる. 写真 7 に滑落中の着雪の一例を示す.

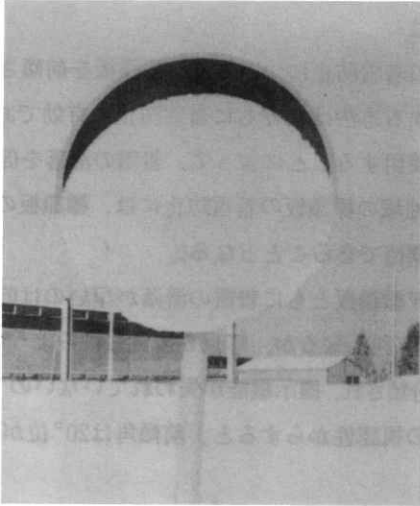


写真 7 着雪の滑落
Photo. 7 Separation of adhered snow.

図8, 図9によると, 温度の計測を開始したときの標識板の温度は, いずれも氷点下であり, 着雪が凍着状態であったことを示し, 標識板の温度が0℃を超えて凍着部分が融解し, 板と着雪の間に水が介在する湿潤滑落であったと推測される。

上記2例は夜間から着雪が持続されたものであるが, 日中に発生する着雪は, 着雪量が少なくても滑落し, 降雪が続くと, 着雪滑落を繰り返す。これは長岡では日中の降雪はしめっていることが多いこと, 標識板の温度0℃を超えることが多いことのために, 着雪は常に湿潤滑落の状態にあるためと考えられる。

滑落時の着雪の湿潤状態を調べるために, 滑落雪の付着部分の厚さ1cmを対象として, 含水率を秋田谷式含水率計で測定した。その結果を表5に示す。各標識板の着雪の滑落がランダムなので, 同一時の着雪の含水率を比較するのは, 測定技術上困難であった。表5には同一前傾角同一時の着雪の測定が可能であった含水率のみを記載した。また滑落に関与する含水率は, 1cmより薄い付着部分の含水率であると考えられるので, 表5の含水率は着雪が滑落するときの含水率の目安であろう。

表 5 試験標識板着雪の滑落時の含水率
Table 5 Water content of adhered snow on the test sign-plates at separation from them.

測定月日	1月12日		2月26日		1月14日		1月15日	
測定時刻(時:分)	8:57	8:46	10:23	10:12	9:42	9:33	9:13	9:06
標識板種別	A ₀	F ₀	A ₁₀	F ₁₀	A ₁₅	F ₁₅	A ₂₀	F ₂₀
含水率(%)	12.8	9.4	18.6	15.2	10.1	13.3	14.9	12.1

標識板種別の添字は板の前傾角(度)を示す。

4.2.3 難着雪性材コーティング標識板の実用性

標識板の着雪防止の実用試験の結果、湿雪の着雪防止については、標識板を前傾させる方法及び、標識板の表面に難着雪性材料を使用する方法は、ともに着雪防止に有効であることが判明した。また、難着雪性の材料を表面に使用することによって、着雪の滑落を促進できよことが明らかになった。以上により、湿雪地域の標識板の着雪防止には、標識板の前傾と難着雪性表面材の使用で、両者の相乗効果が期待できることとなる。

試験により確認された事項で、A標識板、F標識板ともに着雪の滑落が早いのは前傾角 0° の場合で、これは見かけ上は、前傾角が 0° が有利となるが、写真6に見られるように、前傾角 20° の標識板の着雪は、着雪パターンI型に分類され、標示機能が失われていないので、前傾角が大きいのが有利といえる。但し、人間の視認性からすると、前傾角は 20° 位が限度とされている(満田他、1983)。

図8、図9によると、同一前傾角ではF標識板の方がA標識板より、10分前後早く着雪が滑落している。時間交通量が1,000台を超えるような幹線道路では、たとえ10分間の滑落の早遅でも交通安全への影響は非常に大きく、難着雪性表面材の標識板の有効性が明らかである。

標識板の着雪防止には、ほかに電熱、太陽熱、地熱などを利用する方法も考えられているが、対象箇所が多く、へき地の使用も考慮すると、安価でメンテナンスフリーの前傾・難着雪性表面材コーティング標識板が経費面でも有利であるといえる。

5. 結論と提言

今回の試験は湿雪地帯である最岡において、標識板の着雪防止の二つの要素の組み合わせ、すなわち、標識板の前傾と、難着雪性表面材の使用と組み合わせによる着雪防止効果の試験の結果及び、関連して実施した、雪と空気の固体・気体二相流の管路材の選定について、次の結論を得た。

- (1) 標識板の前傾は、乾雪地域の北海道・東北北部における着雪防止の有効な手段とされているが、この方法は湿雪地域においても、着雪防止に相当程度有効であることが判明した。
- (2) 現用型標識板に、難着雪性である透明フィルムをコーティングすることで、現用標識板に比し、着雪量を少なくし、着雪の滑落が促進されるので、着雪時間が短縮され、着雪による標識板の標示障害を軽減できる。
- (3) 標識板の前傾と難着雪性表面材の使用の2方法を併用することにより、標識板の着雪防止に両方法の相乗効果が期待できる。
- (4) 透明Fフィルムは、アクリル系粘着性接着材を用いて、簡単に標識板にコーティングが可能であるので、この方法による着雪防止は簡易で安価であり、多数の標識板を対象とする方法として実用性が高い。

- (5) 透明フィルムの耐候性は、ウェザーメータを使用した室内実験では、5年以上と推定されているが、実用試験のデータが無いので、この点の調査が必要である。(1982年11月以降、雪害実験研究所構内において耐候性試験を実施中である。
- (6) この研究の過程で実施した、各種表面材と雪との滑り摩擦力試験の結果、Fフィルムの滑り摩擦係数が最も小さいことが判明した。これは新雪処理技術として考えられている、雪の空気輸送(雪と空気の固体・気体二相流)の管路材の条件である、難着雪性と低摩擦性を満すものであり、上記新技術の研究開発に有力な手がかりを提供したこととなる。
- (7) 最近ふっ素を含む機能性高分子材が種々開発され、その難付着性、低摩擦性に着目した使用が試みられている。本研究においても、上記高分子材の一部の難着雪性及び、雪との低摩擦性が実証された。この性質は雪害防止技術には非常に有効な要素であり、種々の用途が開発されよう。

これに関連して、含ふっ素機能性高分子材と雪との接触部分での、相互作用の解明は進んでいない。今後この分野の基礎的研究を推進させる必要がある。

参 考 文 献

- 1) 小林俊一ら(1979):長岡における積雪観測資料(3). 国立防災科学技術センター研究資料, No. 43.
- 2) 満田喬ら(1983):積雪地域における道路標識に関する調査研究(その1). 建設省土木研究所資料, No. 1957, 1-103.
- 3) 宮村兵衛ら(1980):長岡における積雪観測資料(4). 国立防災科学技術センター研究資料, No. 54.
- 4) 水野悠紀子・若浜五郎(1977):湿雪の付着強度. 低温科学物理編, No. 35, 133-145.
- 5) 雪害実験研究所(1981):長岡における積雪観測資料(5). 国立防災科学技術センター研究資料, No. 64.
- 6) 雪害実験研究所(1982):長岡における積雪観測資料(6). 国立防災科学技術センター研究資料, No. 75.
- 7) 雪害実験研究所(1983):長岡における積雪観測資料(7). 国立防災科学技術センター研究資料, No. 84.
- 8) 莊田幹夫(1950):電線着雪の研究とその雪害対策. 雪氷, Vol. 12, No. 3, 16-27.
- 9) 竹内政夫(1978):道路標識への着雪とその防止. 雪氷, Vol. 40, No. 3, 15-25.
- 10) 東北技術事務所(建設省)(1977):道路標識の着雪防止に関する調査報告書. 1-34.

(1984年1月19日 原稿受理)