

傾斜板による道路案内標識への 着雪対策の効果について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○坂瀬 修
同 上 雪氷チーム 松下 拓樹
同 上 雪氷チーム 松澤 勝

道路案内標識の着雪が落下すると、通行車両や人に被害を与える可能性がある。現在この対策には、人力による雪落とし作業が主に行われており、作業費用がかかり、安全対策も必要となるため、より効果的な対策が求められている。この作業を軽減するため、傾斜板を用いた着雪対策に着目し、形状や角度による対策の効果について試験を行った。また、着雪の雪質測定結果から落雪がどの程度の視界不良と衝撃圧を与えるのか考察を行ったので報告する。

キーワード：着氷雪対策、道路案内標識、防雪、冬期維持管理

1. はじめに

道路案内標識の裏面梁材に積もった冠雪や着雪（以下、着雪）が落下した場合、通行車両や人に対して被害を与えることや、落雪によって視界が遮られ事故を誘発する危険性がある。現在、北海道ではこの対策として主に人力による雪落とし作業（図-1）が実施されているが、費用がかかるうえ、作業員や通行車両の安全確保が必要であることから、より効果的な対策が望まれている。北陸を中心とした地域では、標識裏面に傾斜板やカバーを取り付けることにより、雪を危険の少ない少量のうちに落下させる対策工や、塗料等により表面に雪が付かない性質に変える試み¹⁾⁻³⁾が行われている。本州とは雪質が異なる北海道のような低温な地域においても、塗装等による対策工について、いくつか研究例があるが⁴⁾、数年に一度の塗り替えが必要であるため実用化には至っていない。また、塗装によらない傾斜板やカバー型による対策工に関する知見は十分ではない。そこで道路案内標識の裏面に発達する着雪を対象とした対策工として傾斜板（以下、着雪防止板）に着目し、北海道の低温多雪地域で現地試験を行ってき



図-1 人力による雪下ろし作業状況

た⁵⁾⁻⁷⁾。本論文では、さらに北海道内の比較的高温な地域で同様な試験を行い、気象条件の異なる地域における着雪防止板の着雪や落雪状況を比較した結果について報告する。また、着雪防止板からの落雪が、どの程度の視界不良と、衝撃圧を与える可能性があるのか考察を行った。

2. 試験方法

試験地は、札幌市内の(独)土木研究所 寒地土木研究所構内と、札幌市中心部から南西に約45kmに位置する中山峠（標高835m）に、実物大の道路案内標識（F型柱）を設置し試験を行った。試験は道路案内標識裏面の水平梁材に形状や材質の異なる着雪防止板を取り付けて、カメラ監視による着雪状況と落雪回数、着雪日数の把握、気象（気温、風速、風向、積雪深）および、着雪防止板上の雪質（雪硬度、雪密度、雪温度、着雪厚）の測定を行った。試験期間は中山峠が2007年12月14日～2008年3月12日、札幌が2008年12月26日～2009年3月16日である。

取り付けした着雪防止板は、表-1に示すとおり、形状は山形屋根と傾斜板の2種類、傾斜角度は45°と60°の2種類、材質はアルミと鋼の2種類を用い、この組み合わせにより合計5種類の着雪防止板と、梁材の無対策箇所（STK216.3φ×4.5mm）の着雪と落雪状況について比較した。取付状況を図-2に示す。なお、本論文では測定用の足場があるため、着雪防止板への影響が少ない上部梁材の結果のみ提示する。

着雪の発生状況と、落雪回数はカメラの静止画像（10分間隔）から確認した。ただし、夜間の画像は着雪状況の判断が困難なため、昼間（5:00～17:00）の画像のみを対象とした。また、降雪が強い場合は画像が不鮮明となる場合があり、その期間は欠測とした。

着雪の雪質で雪硬度の測定にはプッシュゲージを使用し、着雪防止板から垂直に10cm間隔で測定し

た。雪密度および雪温についても同様に着雪防止板から垂直に 10cm 間隔で測定した。着雪日数は、静止面により着雪を確認してから雪質の測定を行うまでの日数である。着雪厚(mm)は着雪防止板に対し垂直方向に測定した。ただし、本論文では、両地点の着雪防止板で雪質を測定できた山形屋根 45° アルミのみの測定結果を提示する。

表-1 着雪防止板の形状寸法

設置位置	形状	傾斜角度	材質	寸法(長さ×幅×厚さ:mm)	設置枚数
上部梁材	山形屋根	45°	アルミ	440(片屋根)×450×2	1
	山形屋根	60°	アルミ	450(片屋根)×450×2	1
	傾斜板	60°	アルミ	560×450×2	1
	傾斜板	45°	アルミ	700×450×2	1
	傾斜板	60°	鋼	560×450×2.3	1

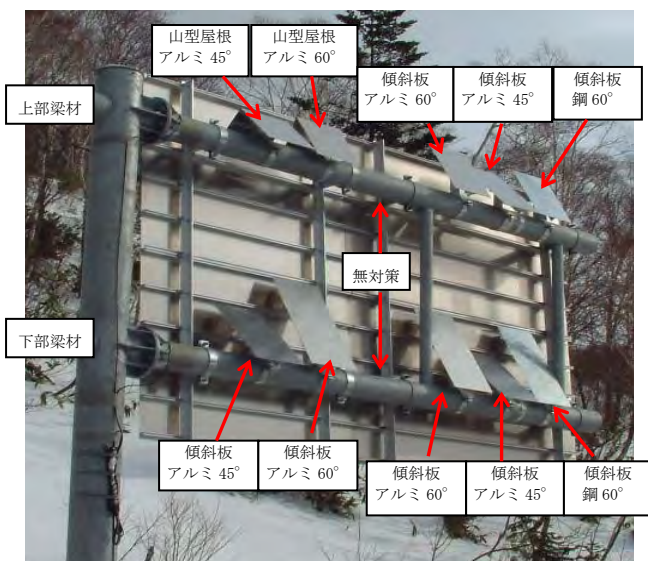


図-2 着雪防止板取り付け状況 (中山峠)

3. 試験結果

3.1 試験地の気象状況の比較

図-3 と図-4 に中山峠および札幌市内の試験期間中の気温と積雪深の推移を示す。中山峠における試験期間中の気温は、平均-8.8℃、最高 4.4℃、最低-17.6℃であり、試験期間を通じほぼ真冬日に占められ、最高気温が 0℃を超えた日はわずか 5 日間であった。一方、札幌市内の試験期間中の気温は、平均-1.5℃、最高 9.5℃、最低-10.2℃で、中山峠に比べて平均気温が 7℃程度高い。また、中山峠の積雪深は、最大 233cm、平均 152cm で、札幌市内の積雪深は最大 48cm、平均 19cm であった。ただし、札幌市内の 2009 年 2 月 9~19 日は観測機器が不調のため欠測である。図は省略するが、中山峠の試験期間中の 10 分間の平均風速は最高 10.3m/s、平均 2.3m/s で、札幌市内では最高 5.4m/s、平均 1.0m/s であった。風向は図-5 に示すように中山峠では西北西が約 40%と一番多く、これは試験用標識裏面に対してほぼ直角に吹き付ける風である。一方札幌市内における風向は南南西、南西が共に 25%と多く、

これは試験用標識裏面(観測面)に対して斜め方向からの風向であった。また、その反対側からの北東と北北東からの風も見られた。

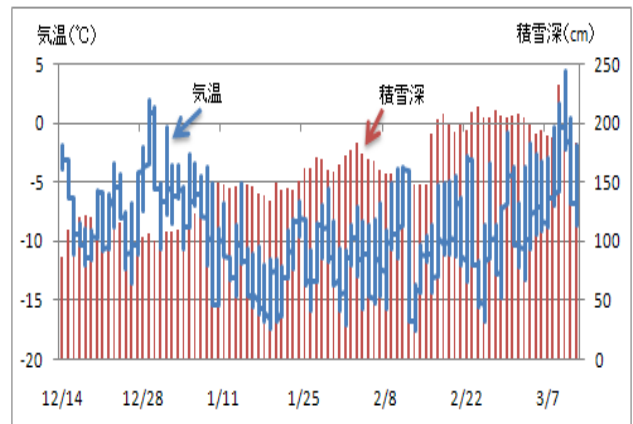


図-3 気温と積雪深の推移 (中山峠 2007/12/14~2008/3/12)

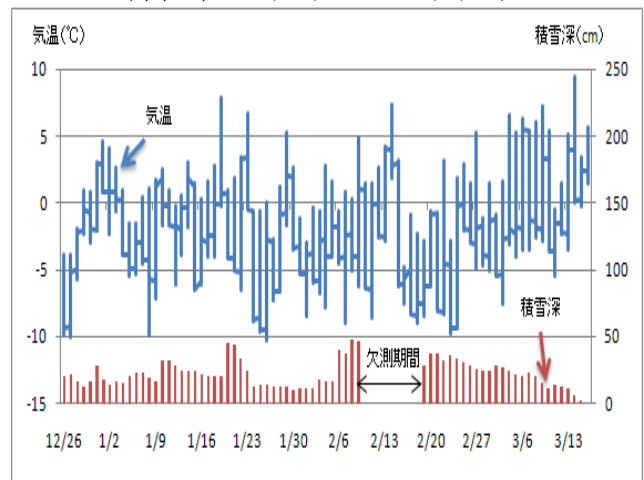


図-4 気温と積雪深の推移 (札幌市内 2008/12/26~2009/3/16)

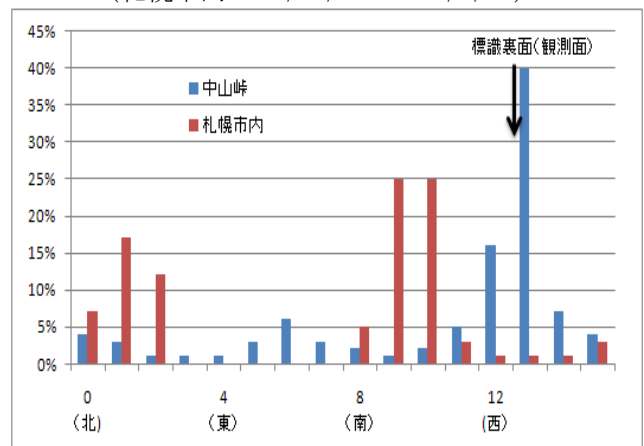


図-5 風向の割合

3.2 着雪の雪質の比較

表-2 に中山峠および札幌市内の現地で着雪の雪質を測定した結果を示す。中山峠の雪硬度および雪密度の平均値と最大値は、札幌市内より高いが、最小値は中山峠の方が低い傾向がみられた。中山峠の雪温はすべて 0℃以下であったが、札幌市内では 0℃付近であった。中山峠の着雪日数は 14 日以上経

過してからの測定であったが、札幌市内は着雪後 2 日での測定であった。

表-2 着雪の雪質測定結果

測定場所	測定年月日	山形屋根 45° アルミ												
		雪硬度(kN/m ²)			雪密度(kg/m ³)			雪温(°C)			着雪日数	着雪長さ(mm)	着雪幅(mm)	着雪厚(mm)
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小				
①中山峠	2008/1/16	6.4	35.0	0.5	116	198	45	-11.2	-8.7	-13.0	33	450	450	440
②中山峠	2008/2/9	7.5	18.1	1.0	134	184	64	-3.1	-0.8	-5.3	24	450	450	380
③中山峠	2008/2/25	2.9	7.7	0.2	108	170	49	-10.2	-8.9	-11.3	14	450	450	230
④札幌	2009/1/21	2.3	2.8	1.7	83	85	81	-0.1	0.0	-0.1	2	450	450	163

3.3 着雪状況の比較

着雪量は静止画像から目測で判断し、無着雪状態から 10cm 刻みで 7 段階に分けた。図-6 と図-7 に中山峠と札幌市内の各着雪防止板における 7 段階の着雪量の出現割合を示す。

図-6 より、中山峠では全ての着雪防止板において、測定時間の 80%以上で着雪が発生している。最も無着雪時間の割合が高いのは、傾斜板 60° 鋼製の 16%、続いて傾斜板 60° アルミ製の 14%であった。山形屋根 45° アルミ製および無対策では、無着雪の割合が 2%程度と測定期間中ほとんど着雪していた。また、一度着雪すると着雪防止板の形状、材質によらず、着雪が成長する傾向がみられた。一方、図-7 より札幌市内で着雪割合が最も高かったのは、無対策の 48%であった。各着雪防止板の着雪割合は山形屋根 45° アルミ製で 41%と僅かに高いが、その他の着雪防止板では 30%程度と大きな差はみられなかった。また、着雪量もほとんどが 10cm 未満であり、30cm 以上の着雪は観測されなかった。

図-6 と図-7 で着雪量 10cm 以上の出現割合に着目すると、中山峠では傾斜板 60° のアルミ製および鋼製で着雪割合が高く、対策効果があると考えられるが、札幌市内では中山峠ほど着雪防止板の種類による差はみられなかった。

3.4 落雪状況の比較

落雪の発生状況も着雪状況と同様にカメラの静止画像から目視により判断した。図-8 に測定した落雪回数と落雪前の着雪量を示す。全ての着雪防止板で中山峠は札幌市内に比べて落雪回数が少なかった。無対策からの落雪回数は中山峠、札幌市内ともに最も少なく、1 回と 9 回であった。山形屋根および傾斜板 60° のアルミ製は、中山峠、札幌市内ともに落雪回数が比較的多いが、傾斜板 45° のアルミ製は、中山峠での落雪回数が 3 回と少ないのに対し、札幌では最も多い 27 回と逆の結果であった。次に落雪前の着雪量(図-8)に着目すると、中山峠で傾斜板 60° のアルミ製および鋼製の 2 種類は、主に 10cm 以下の少量で落雪しているが、山形屋根 60° アルミ製は 10~20cm の落雪が 4 回、20~30cm が 7 回と全落雪回数(12 回)の殆どを占めている。また、30cm 以上の落雪は発生していない。

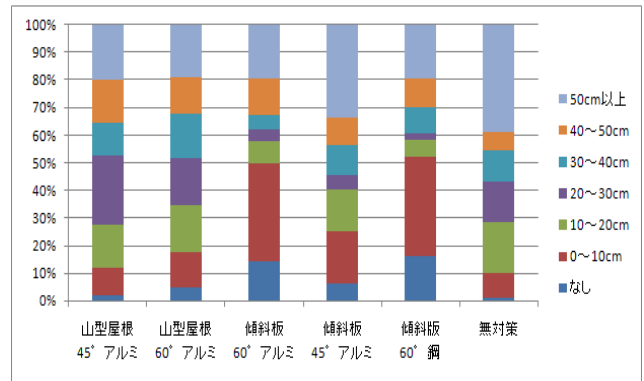


図-6 各着雪対策工の着雪量の出現割合 (中山峠)

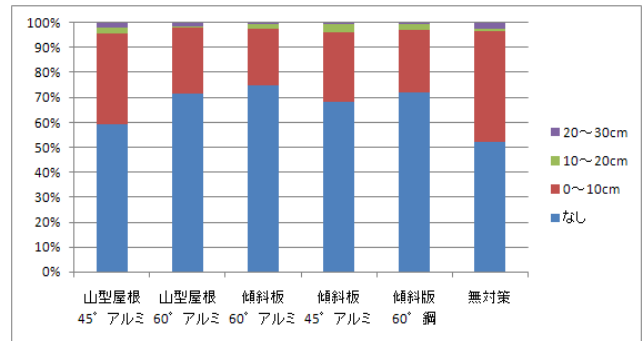


図-7 各着雪対策の着雪量の出現割合 (札幌市内)

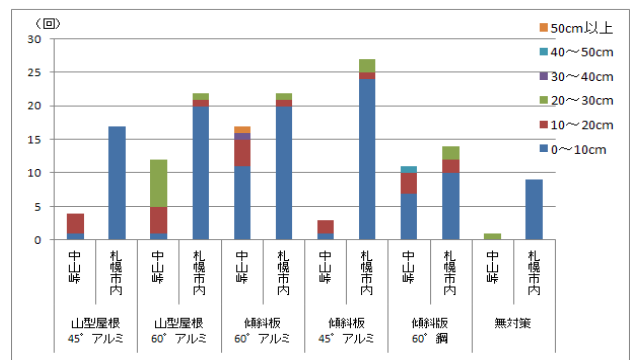


図-8 落雪回数と落雪前の着雪量

図-9 と図-10 に、中山峠と札幌市内の着雪してから落雪するまでの日数を示す。なお、夜間の測定を行っていないため、夜間に落雪は発生しないものと仮定し、着雪から落雪までの時間を算出した。図-9 に示すとおり、中山峠では、傾斜板 60° 鋼製で 0.5 日以内に落雪する頻度が比較的高いが、殆どの着雪防止板で落雪するまでの日数に幅がある。図-10 に示す札幌市内では、すべての着雪防止板で 0.5 日以内の落雪が殆どであった。また、無対策の場合では中山峠が 5 日以上経過してからの 1 回のみでの落雪であるのに対して、札幌市内では 0.5 日以内での落雪が全体の 2/3 であった。

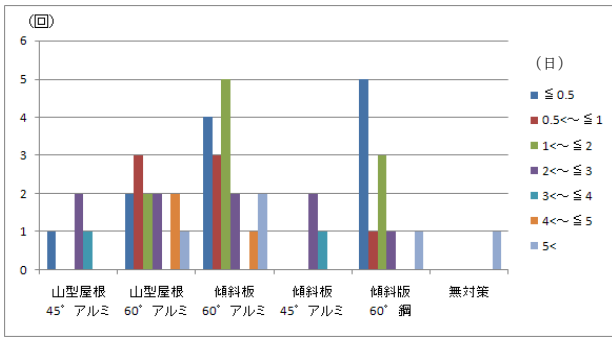


図-9 着雪から落雪までの日数 (中山峠)

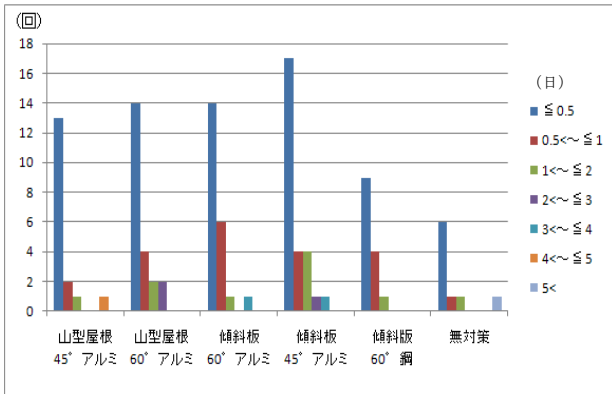


図-10 着雪落雪までの日数 (札幌)

4. 考察

4.1 着雪・落雪状況

表-3 に中山峠と札幌市内の着雪状況と落雪状況についてまとめた。気温が氷点下であっても日射によって、梁材や着雪防止板の表面温度が 0℃以上になると融雪が発生し、融雪を伴った落雪が起こることが確認されている⁷⁾が、中山峠の測定期間中の平均気温は-8.8℃と低く、融雪を伴った落雪の頻度は低いと考えられる。また、降雪量が多く、着雪が成長しやすいため、1 回あたりの落雪量が多く、また落雪しにくい傾向にある。落雪前の着雪の雪質は、測定結果より (図は省略) 着雪表面付近の雪硬度と雪密度は小さく、着雪防止板との接触面に近づくにしたがって雪硬度と雪密度は大きくなる傾向がある。これは、当初に着雪した雪が圧密、焼結により硬い雪に変化し、その上に新たに着雪していくためと考えられる。一方、札幌市内では平均気温が-1.5℃と高く、融雪を伴った落雪が発生する頻度が高く、着雪が大きく成長しないうちに落雪するため、落雪量、着雪時間が少ない傾向にあると考えられる。

表-3 着雪状況及び落雪状況

		中山峠	札幌市内
着雪状況	着雪期間	ほぼ全期間 (80%以上)	短い (50%未満)
	着雪量	多い	少ない
落雪状況	落雪回数	少ない	多い
	落雪量	多い 0~50cm以上まで 広く分布	少ない 殆ど10cm以下
	落雪までの着雪時間	1日以上経過する 場合が多い 5日以上事例も 見られる	殆どが半日以内

設置した全ての着雪防止板については、中山峠、札幌市内の何れの箇所でも無対策に比べ着雪しにくく、落雪しやすいという結果であった。特に中山峠では、着雪防止板の種類によって効果に差が大きく、傾斜板 60° のアルミ製および鋼製に高い効果が見られた。一方、札幌では、山型屋根 45° アルミ製に幾分着雪する傾向が見られるものの、それぞれの着雪防止の効果に大きな差は見られなかった。

さらに特徴的な点として、傾斜板 45° アルミ製については、中山峠と札幌市内で対照的な結果を得た。これは気温の高い札幌市内では傾斜角度 45° でも融雪により落下しやすいが、気温の低い中山峠では、日射によって着雪防止板の表面温度が上がっても落下に至る前に表面温度が下がり再凍結し、さらにその上に着雪するためと考えられる。また、傾斜板 60° 鋼製の落雪回数が着雪回数に比べて少ないが、これは既存の調査⁶⁾から鋼は表面温度がアルミに比べて上昇しやすいことが明らかになっており、落雪せずに着雪防止板の上で融雪して消雪したためと考えられる。

よって試験結果から、中山峠のような低温な地域では傾斜板 60° が効果的であり、札幌市内のような比較的高温な地域では、山型屋根および傾斜板の 60°、また傾斜板 45° も有効であると考えられる。

4.2 落雪の飛散状況と衝撃圧について

松下ほか (2009)⁸⁾で、被害を及ぼす可能性のある雪質について報告を行った。以下では、本論文で測定した着雪がどの程度の飛散状況と衝撃圧があるのかを考察する。

松下ほか (2009)⁸⁾では、一辺 100~300mm の立方体に切り出した自然雪または充填させた雪を、高さ 5m から自由落下させ、衝突前と衝突後の雪塊の大きさから算出した比 (飛散率) と衝撃圧を測定し、雪密度から被害状況を推察した。

その結果、飛散率は雪塊が 150mm 以上、雪密度 200kg/m³ の乾雪で 2~3 となり、湿雪または雪密度 400kg/m³ では飛散率 1 であった。今回測定した着雪は、中山峠、札幌市内ともに雪密度 200kg/m³ 以下、大きさ 150mm 以上 (表-2) であるが、札幌市内は雪温が 0℃前後であることから湿雪と考えられる。このことから、中山峠の着雪 (表-2) が最大長の 450mm で地面に衝突し、飛散率を最大の 3 と仮定した場合、着雪は 1350mm の範囲に飛散すると考えられる。札幌市内は湿雪 (表-2) であるため、最大長の 450mm の範囲に飛散すると考えられる。

一方、衝撃圧の算出式として、式 (1)⁸⁾が提案されおり雪密度 ρ (kg/m³)、立方体の雪塊の高さ h (m)、衝突時の速度 v (m/s)、衝突時間 t (s) から、衝撃圧 P (kN/m³) を算出するものである。

$$P = \frac{\rho v h}{t} \quad \text{式 (1)}$$

図-11 に、式(1)から表-2 の雪密度の平均値と着雪厚を使用して衝撃圧を算出し、雪密度との関係を示した。なお、速度 v は 5m の高さから自由落下した時の速度(9.9m/s)を、衝突時間 ν は松下ほか(2009)⁸⁾で検討された 0.005s と仮定して算出した。

中山峠では、着雪してからの日数が経過しており、雪密度と着雪厚が増加し、最大で 101kN/m²の衝撃圧となった。一方、札幌市内では着雪してからの日数が 2 日と短く着雪厚も小さいため、27kN/m²の衝撃圧となった。

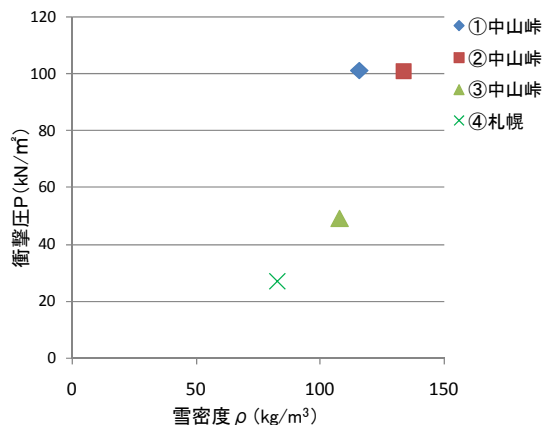


図-11 落雪の衝撃圧と雪密度の関係

以上の検討から、中山峠での着雪が落雪した場合、飛散は最大で 1350mm の範囲に達し、車のフロントガラスに落雪した場合、視界不良を起こす可能性があると考えられる。衝撃圧は車のフロントガラスを貫通する 170kN/m²程度⁸⁾に対し、60%程度の衝撃圧があり、通行車両への被害が懸念される。一方、札幌市内の落雪では、飛散は 450mm の範囲と視界不良を起こす可能性はあるが、衝撃圧は 27kN/m²と中山峠の 30%程度であり、通行車両への被害は低いと考えられる。着雪は日数の増加に伴い、密度と着雪厚が増加する。着雪防止板の対策効果として、密度と着雪量が増加する前に落雪を促し、落雪時の被害を抑えることが効果として考えられる。ただし、対策を行った場合でも、気象条件により着雪が発達することもあるため、雪落とし作業は必要である。

5. おわりに

着雪防止板を用いた対策効果について、気象条件の異なる二つの地域で試験を実施した。その結果、札幌市内では融雪が引き金となる落雪が殆どであるのに対し、中山峠では、低温時でも落雪が確認された。今後は、時間経過による雪質の変化状況や落雪による衝撃力を把握し、着雪から落雪までの時間や落雪量の違いによる危険性を推し量るとともに、雪落とし作業の実態の把握を行い、効果的な着雪対策について検討していきたい。

謝辞

現地試験では、株式会社雪研スノーイーターズにご協力いただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 氷見清和, 高林外広, 石井雅: 光触媒膜を用いた滑雪板の開発, 第 18 回ゆきみらい研究発表会論文集, 2006
- 2) 佐藤克己, 田島功章: 道路標識等における冠雪対策, 第 21 回北陸雪氷技術シンポジウム, ゆきセンター, 2006
- 3) 畦地吾一, 西谷直人, 村田暢親: 標識等の落雪対策現地試験, 第 17 回ふゆトピア研究発表会論文集, p204-207, 2005
- 4) 吉田光則, 吉田昌充, 金野克美, 染谷宏, 森脇元宏: 着雪氷防止技術に関する研究(第 4 報) - 滑雪塗料の開発とその評価について -, 北海道立工業試験場報告, No. 302, p87-91, 2003
- 5) 上田真代, 松下拓樹, 伊東靖彦, 松澤勝: 道路案内標識の着氷雪対策に関する観測, 第 24 回寒地技術シンポジウム 寒地技術論文・報告集 vol. 24, p355-359, 2008
- 6) 松下拓樹, 伊東靖彦, 加治屋安彦: 現地観測による道路案内標識の冠雪および着雪過程の把握, 北海道の雪氷, 雪氷学会, p49-52, 2007
- 7) 坂瀬修, 上田真代, 松下拓樹, 松澤勝: 道路案内標識の着雪及び落雪発生気象条件, ゆきみらい研究発表会, 2010
- 8) 松下拓樹, 坂瀬修, 上田真代, 松澤勝: 落雪の衝撃力と飛散状況からみた被害発生の可能性について, 第 25 回寒地技術シンポジウム, 2009