

落水雪が与える影響の評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

研究担当者：松澤勝、上田真代、小中隆範

【要旨】

本研究では、着氷雪の除去作業の軽減による冬期道路管理のコスト縮減や積雪寒冷地の落水雪災害予防に資することを目的として、道路施設の部材の基本構造と着氷雪現象との関係、着氷雪の落下高や雪質と衝撃荷重及び飛散状況との関係に関する調査を行い、落水雪が与える影響の評価手法について検討を行った。

その結果、部材の幅が広いほど着雪量が多く、形状としては角形やひし形に比べて丸形の部材に着雪が発生し難い傾向が示された。一方、雪塊の落下実験の結果、しまり雪では衝撃力が大きく、ざらめ雪では飛散面積が大きくなる傾向が示された。また、衝撃力の大きさと最も関係性の高い条件は落下高さであり、飛散サイズと最も関係性が高い条件は雪塊サイズだった。そこで、目視で判断が出来る雪塊サイズに着目し、落水雪の影響を評価する方法を提案した。

キーワード：着雪、冠雪、落雪、道路案内標識、評価手法

1. はじめに

道路案内標識や道路情報板等の道路付属物、橋梁などの道路施設において、発達した着氷雪が落下することによる被害が毎年発生しており、これを防止するための人力による着氷雪除去作業を毎年 100 日程度行っている箇所がある。一方、冬期道路管理のコスト縮減が求められており、不要・不急な着氷雪除去作業を軽減することが必要である。着氷雪の除去作業では、落水雪のリスクを考慮して除去の必要性が高い着氷雪かどうかを判断することで、作業コストを低減することができると考えられるため、着氷雪除去作業の判断支援に寄与する、落水雪が与える影響に関する評価手法の提示が求められている。

本研究では、着氷雪の除去作業の軽減による冬期道路管理のコスト縮減及び積雪寒冷地の雪氷災害予防に資することを目的として、道路施設の基本構造と着氷雪現象との関係（2.章）、着氷雪の落下高や雪質と衝撃荷重及び飛散状況との関係（3.章）、落水雪が与える影響の評価手法（4.章）について検討を行った。

2. 道路施設の基本構造と着氷雪現象との関係

道路施設の基本構造と着氷雪現象との関係について、平成 23 年度から 25 年度にかけて、札幌市南区定山溪に位置する定山溪ダム流木処理場（北海道開発局管理敷地）（図 - 1）に足場を組み、着雪試験材

（表 - 1）（図 - 2）を設置し、現地観測を行った。



図 - 1 調査箇所位置図

表 - 1 着雪試験材一覧

名称	規格	略称
丸形鋼管	φ 101.6 mm	丸形（小）
	φ 165.2 mm	丸形（中）
	φ 267.4 mm	丸形（大）
角形鋼管	幅 100 mm	角形（小）
	幅 150 mm	角形（中）
	幅 250 mm	角形（大）
ひし形鋼管	幅 75 mm	ひし形（小）
	幅 100 mm	ひし形（中）
	幅 175 mm	ひし形（大）
溝形鋼	幅 390 高さ 100mm	溝形（小）
	幅 550 高さ 100mm	溝形（中）
	幅 770 高さ 100mm	溝形（大）

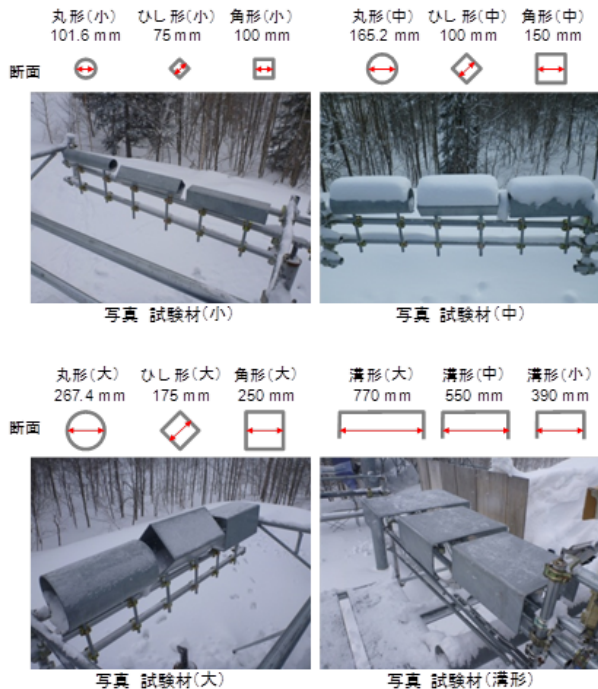


図 - 2 着雪試験材設置状況

2.1 部材の形状と着氷雪の関係性

2.1.1 現地観測の方法

同じ気象条件でも、部材の幅や形状などによって、着雪状態が異なることが予想される。表 - 1 に示した部材毎に着雪した雪の量(高さ)及び発生したつららの長さを整理し、部材毎の着雪状態・つららの発生状態について検討するとともに、部材の幅による傾向などについても取りまとめた。

着雪量(高さ)及びつららの長さの計測方法は、疑似スケールを付与した静止画像により行った(図 - 3)。



図 - 3 着雪量(高さ)の計測方法

読み取りは10分ごとに実施し、5 cm単位で読み取り、部分的な着雪であれば最大値とした。夜間については状況が確認出来ないため、読み取りは行わなかった。

2.1.2 観測結果

着雪試験材の部材の幅や形状による着雪量(高さ)の出現時間(割合)を整理した結果が図 - 4である。

図 - 4より、全部材で着雪の発生が確認され、同じ幅の場合に着雪が発生し難いのは丸形の部材で、着雪が発生しやすいのは溝形とひし形の部材であるという傾向が示された。また、幅が大きいほど着雪しやすい傾向が示され、溝形とひし形(大型)の部材については50 cm以上の着雪が確認された。

着雪試験材の部材の幅や形状によるつらら長さの出現時間(割合)を整理した結果が図 - 5である。

図 - 5より、角形の部材以外にはつららの発生が

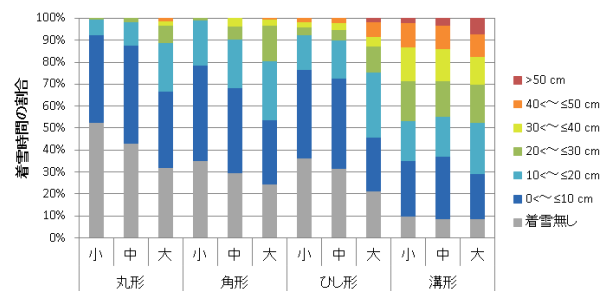


図 - 4 部材毎の着雪の出現時間の割合

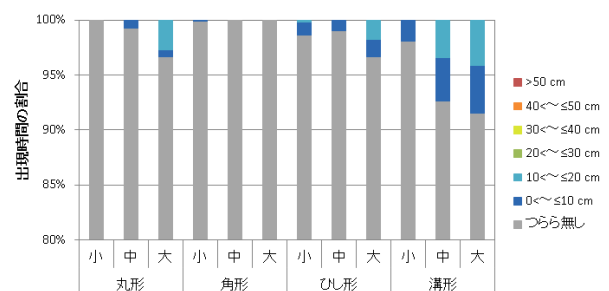


図 - 5 部材毎のつららの出現時間の割合

確認されたが、20 cm以上になった物は確認されなかった。同じ幅の場合につららが発生しやすいのはひし形の部材であり、つららについても幅が大きいほど発生しやすい傾向が示された。

2.2 着雪と気象条件の関係性

2.2.1 気象条件の観測

着雪量と気象条件との関係性を明らかにするために、着雪試験材を設置した足場に観測機器(風向風速計、積雪深計、温湿計)を設置し観測を行った(図

- 6 -



図 - 6 気象観測機器

2.2.2 観測結果

着雪の成長に不可欠な条件の一つは降雪が起きていることであるため、降雪イベントを抽出し、着雪量(高さ)と気象条件を降雪イベント毎に整理した。

降雪イベントの定義は、「積雪深データから得られた降雪深データを用い、積雪深が増加し続ける期間」とした。ただし、積雪深は10分間隔で1cmの精度で計測したため、一つの降雪イベントの途中で、0の降雪深データが入り、計測上、降雪が中断する場合がある。ここでは、1時間(6データ)以上の降雪なしのデータ(0の降雪深)が連続的に計測された場合、降雪イベントの終了とし、それより短い時間の降雪なしのデータが計測されていても、降雪イベントが続いていることとした。なお、着雪の高さの読み取り精度が5cmであり、着雪量(着雪高さの差分)を求める際に、最大10cmまでの誤差があり得るため、ここでは積算降雪深10cmより少ない降雪イベントは考慮しないとした。

以上により抽出された降雪イベント時に、着雪量(高さ)のデータ及び降雪深データを用いて、着雪率(着雪高さとの降雪量の比)を求めた。着雪率は部材毎に求め、平均風速、最大風速、平均気温、最高気温、降雪量と共に整理し、その関係性を比較した。

着雪率と平均気温の比較においては、相関性が低く明確な関係性は見られなかった。最高気温との関係性においても、同様に相関性が低く明確な関係性は見られなかった。続いて平均風速との比較においては、溝形の部材以外は、風速が大きくなるほど着雪率が小さくなる傾向が見られた。但し、溝形部材に関してはデータ数が十分ではないため、判断が難しい。同様に最大風速との比較においても溝形の部材以外は、風速が大きくなるほどに着雪率が小さくなる傾向が見られ、平均風速よりも相関性が高い傾向が見られた。ここで着雪率の推定について、最も相関性が高い最大風速との関係から部材毎の回帰式

表 - 2 最大風速による着雪率の回帰分析結果

着雪率の推定式 (u:最大風速)	丸形			角形			ひし形			全部の部材を 合わせた最大の式
	小	中	大	小	中	大	小	中	大	
最大着雪率の風速	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.70	0.61	0.00	1.50	最大 1.50
着雪率0の風速	6.94	6.25	7.35	6.80	6.67	7.55	6.39	6.75	6.42	最大 7.55

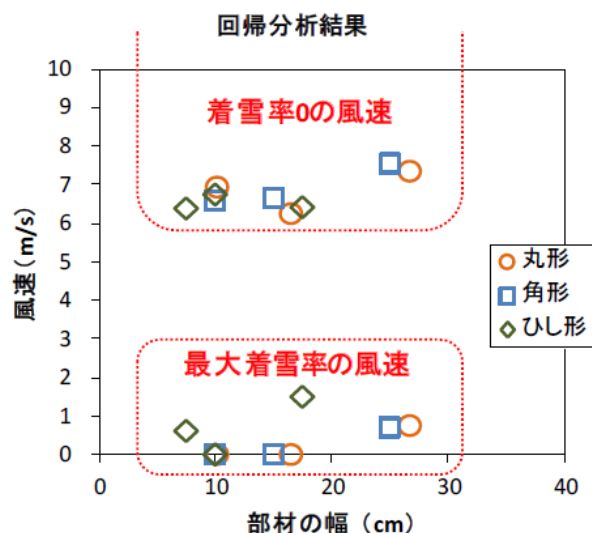


図 - 7 部材の幅による最大着雪の風速と着雪0の風速

を求めた(表-2)。

なお、各回帰式が適応できる風速の範囲の最小値を「最大着雪率の風速」、最大値を「着雪率0の風速」と呼ぶ。部材毎の最大着雪率(=1)の風速と着雪率0の風速を図-7に示す。

各部材の最大着雪率の風速と着雪率0の風速の最大値を使用し、安全側であると思われる全部材を合わせた最大の式を求めた。

$$\text{着雪率} = 1.25 - 0.17U_{\text{max}} \quad (1)$$

ここで U_{max} は最大風速である。ただし、最大風速が1.5m/s以下の場合、着雪率が1、最大風速が7.5m/s以上の場合、着雪率を0とする。この推定式のグラフを最大風速と着雪率との関係を表す散布図に示すと、各部材の近似線が最大の式のグラフより左下に位置することが確認できる(図-8)。

(1)式を用いて、着雪量(高さ)の推定式(2)式も求めた(図-9)。

ここでHは着雪の高さ、SFは降雪量、 U_{max} は最大風速である。

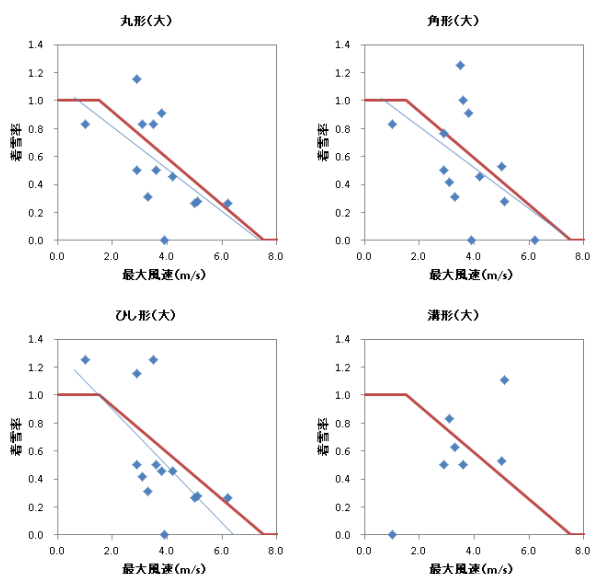


図 - 8 着雪率と最大風速データと一緒にプロットした着雪率の推定式(赤線)

最大風速1.5 m/s以下の場合
 $H = SF$

最大風速7.5 m/s以上の場合
 $H = 0$

それ以外の場合
 $H = SF \times (1.25 - 0.17 \times U_{max})$

図 - 9 着雪量(高さ) Hの推定式(2)式

弱風(風速 4 m/s 以下)と強風(風速 4 m/s 以上)の場合の着雪率の中央値を部材毎にまとめたのが表-3である。なお、溝形の場合、データ数が少ないため、全データの中央値を使用した。部材の幅による弱風・強風の場合の着雪率を図-10に示す。

着雪量(高さ) Hの推定は次式で求められる。

$$H = k \cdot SF \quad (3)$$

ここで H は着雪の高さ、SF は降雪量、k は表-3に示した着雪率である。

表 - 3 最大風速による弱風・強風別の分析結果

着雪率の中央値	丸形			角形			ひし形			溝形		
	小	中	大	小	中	大	小	中	大	小	中	大
風速<4 m/s	0.42	0.46	0.50	0.50	0.48	0.50	0.48	0.48	0.50	0.83	0.50	0.50
風速≥4 m/s	0.13	0.00	0.14	0.13	0.26	0.27	0.13	0.00	0.13			

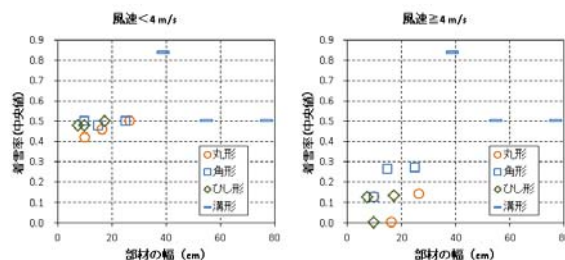


図 - 10 部材の幅による弱風・強風の場合の着雪率

2.3. 雪質と気象条件の関係性

2.3.1 雪質と気象データの使用条件

道路案内標識や着雪試験材などの部材に着雪した雪の断面観測を行い、雪の硬度と密度を測定したデータを使用した。なお、断面観測には、各雪サンプルの硬度と密度が3箇所測定され、それぞれの平均値と最大値が得られている。平均硬度、最大硬度、平均密度、最大密度のデータを整理した。

2.3.2 気温との関係性

雪質に対して気温の影響を把握するために、密度(図-11)と硬度(図-12)の、それぞれ平均と最大において着雪開始から観測時点までの最高気温との関係を分析した。

密度、硬度共に明確な関係性が確認出来ず、平均より最大の方がより関係性が低い傾向が見られる。

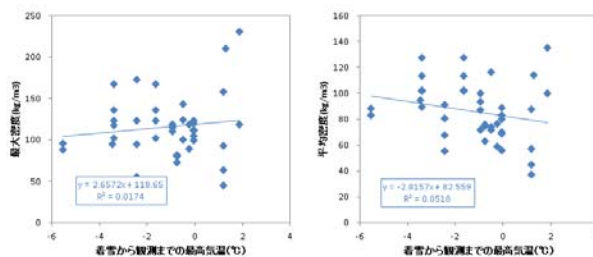


図 - 11 着雪から観測までの最高気温と密度との関係

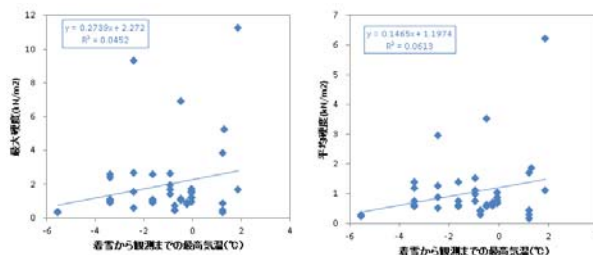


図 - 12 着雪から観測までの最高気温と硬度との関係

2.3.3 経過時間との関係性

時間の経過とともに雪がどのように変質をするのか把握するために、密度(図-13)と硬度(図-14)の、それぞれ平均と最大において着雪開始からの経過時間との関係を分析した。

平均密度と硬度について、時間の経過と共に大きくなる傾向が見られるが、全体的に相関性は低い。

2.3.4 最高気温と融雪の関係性

着雪から観測までの最高気温が0より大きい場合、融雪の可能性があり、雪密度と硬度に影響する可能性がある。最高気温0の条件でデータを分割

し、それぞれの関係性を分析した(図-15)(図-16)。

最高気温が0以下の場合、傾向がほとんど見られないが、最高気温が0以上の場合、上昇傾向が見られ、密度の方がより関係性が高い。

2.3.5 経過時間と階級分割結果の関係性

雪質と気象条件について分析を行った結果、最高気温と経過時間による硬度と密度の変化を把握する事が出来たが、データのばらつきが大きい為、経過時間を分割しデータを反映させた(図-17)(図-18)。

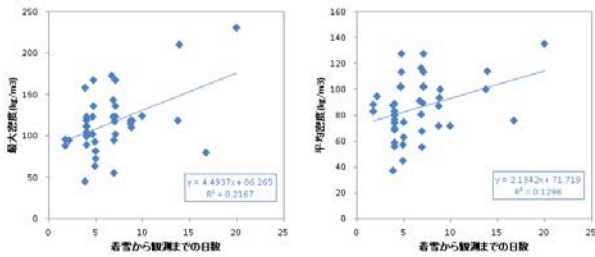


図-13 着雪からの経過時間と密度との関係

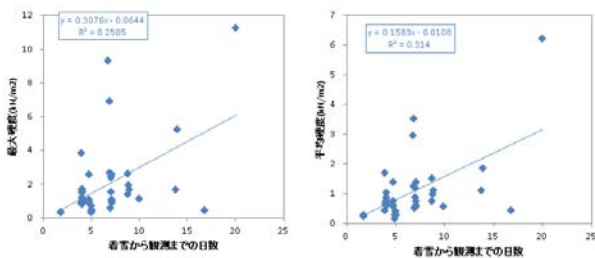


図-14 着雪からの経過時間と硬度との関係

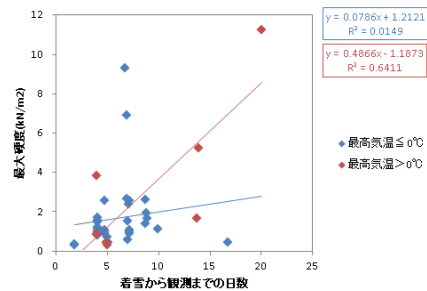


図-16 気温と硬度の関係

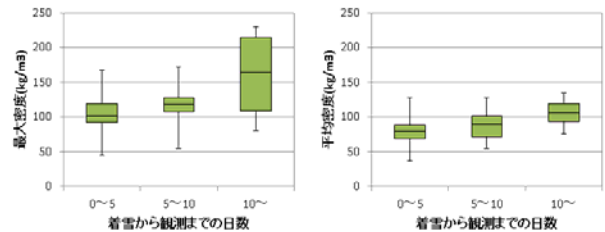
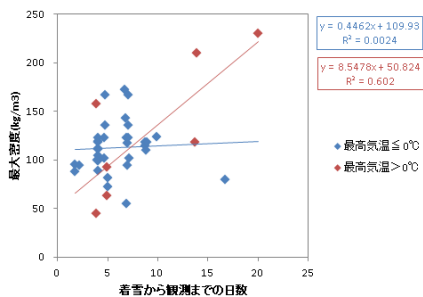
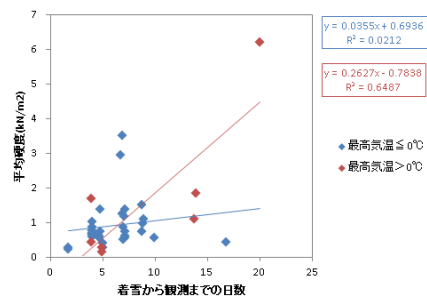


図-17 経過時間帯と密度の関係

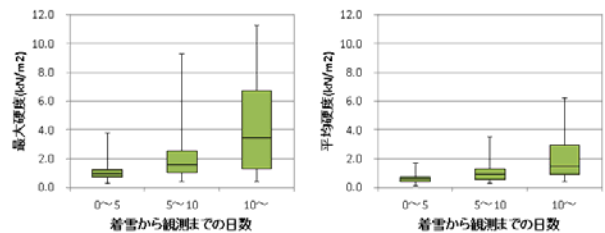
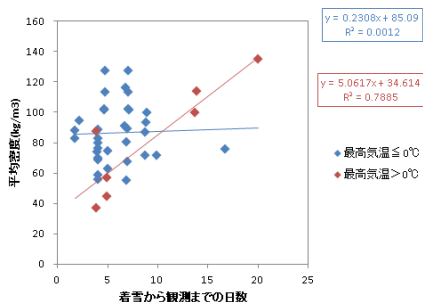


図-18 経過時間帯と硬度の関係

図-15 気温と密度の関係

経過日数により、密度と硬度の中央値及び最大値をまとめたが、経過時間が長いほど、密度と硬度が大きい傾向が見られた。

3 着氷雪の落下と衝撃荷重及び飛散状況との関係

着氷雪の落下と衝撃荷重及び飛散状況との関係について、平成 23 年度から 24 年度にかけて、札幌市南区定山溪に位置する定山溪ダム流木処理場（北海道開発局管理敷地）（図 - 1）で実験を行い、平成 25 年度は走行車両を想定した飛散状況実験を行うため、当研究所の石狩吹雪実験場において実験を行った。

3.1 落氷雪と衝撃荷重との関係性

3.1.1 現地試験の方法

足場前の路面に水平に受圧板を設置し、映像の背景として、雪塊の落下速度や飛散面積が把握しやすいようにスケールを設置した。同時にデジタルカメラを受圧板上方と側方に設置した。（図 - 19）

雪塊については、自然積雪から切り出す前に物性調査（質量、密度、硬度、雪温、雪質等）を行い、その後、一辺 10～30 cm の立方体として切り出した。この一辺の長さを以下では「雪塊サイズ」とする。

以上の準備が整った上で、雪塊を高さ 3～6 m から自由落下させ、受圧板に衝突した所を動画撮影した。

受圧板は自動車のフロントガラスに雪塊が衝突し

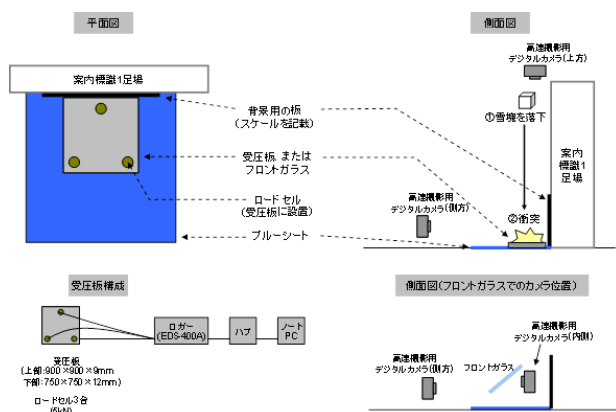


図 - 19 試験方法

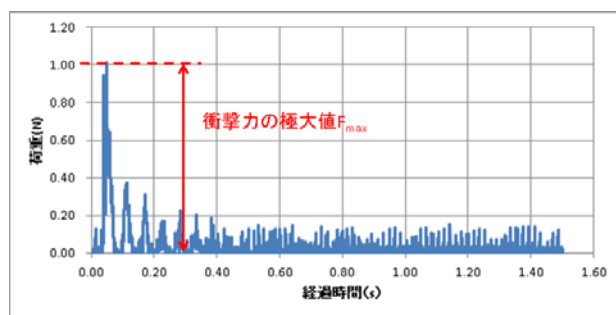


図 - 20 衝撃力の波形と極大値の例

た場合を想定し、雪塊よりも大きいもの（900 mm × 900 mm）を使用した。実験に使用した受圧装置は、2 枚の鉄板（厚さ 9 mm）の間に 3 台のロードセル（LCN-A1KN または A5KN）を取り付けたものである。これら 3 台のロードセルによる測定値（サンプリング間隔 0.05ms）の合計を衝撃力 F (N) とした。図 - 20 に衝撃力の波形の一例を示す。この波形から得られた衝撃力の極大値 F_{max} (N) を雪塊が衝突した面積 A (m^2) で除した値を衝撃荷重 P (N/m^2) とした。

3.1.2 現地試験結果

本試験に用いた雪塊の物性は、雪質が「こしまり雪」「しまり雪」「ざらめ雪」であり、密度が 160～380 kg/m^3 、硬度が 4～455 kN/m^2 、雪温 0 以下である。

図 - 21 は衝撃荷重と雪塊の密度の関係である。図中には、本実験の結果の他に、既往の研究（小竹ら¹⁾、上石ら²⁾、川田³⁾）の測定結果も併せて示している。本試験の測定値に着目すると、図 - 21 に示されるとおり、概ね小竹ら¹⁾による包絡線以下の値である。

図 - 21 では雪塊の密度の増加に伴い、衝撃荷重の増大が見られる。このことから、落下高さが 10 m 以下の場合において、落雪による衝撃荷重の最大値は、雪の密度から概ね把握可能であると考えられる。ただし、値にばらつきが大きいことから、密度以外の要素が影響を与えているものと推測される。

雪塊サイズ 10～30 cm で実験を行ったが、一辺 20 cm 以下については明確な傾向の違いが見られないことから、一辺 30 cm に絞って分析を行った。図 - 22

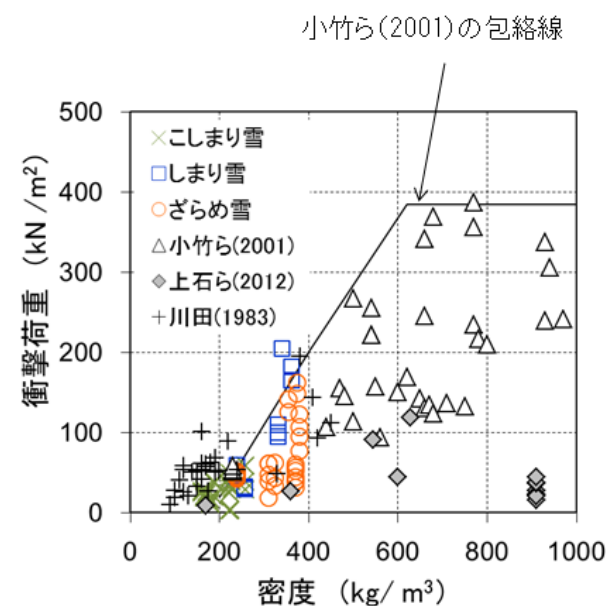


図 - 21 衝撃荷重と密度の関係

は衝撃力と雪質の関係、図 - 2 3 は衝撃力と落下高の関係、図 - 2 4 は衝撃力と雪塊サイズの関係、図 - 2 5 は衝撃力と硬度の関係、図 - 2 6 は衝撃力と密度の関係を示している。図 - 2 2 について、密度の高いしまり雪とざらめ雪の衝撃力が大きい傾向が見られたが、密度がやや小さいしまり雪の方が高い値であった。これは、しまり雪の粒が互いに網目状で結合が強く、衝突時に衝撃力が雪塊の飛散に注がれづらいと考えられる。

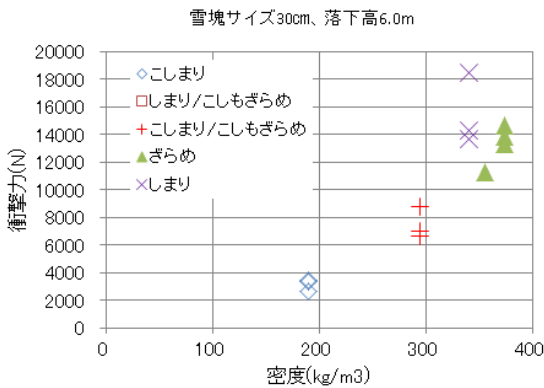


図 - 2 2 衝撃力と雪質の関係

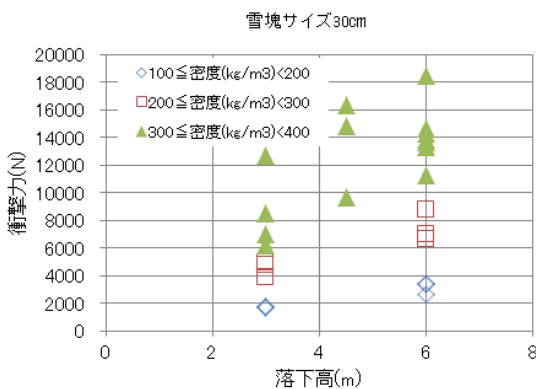


図 - 2 3 衝撃力と落下高の関係

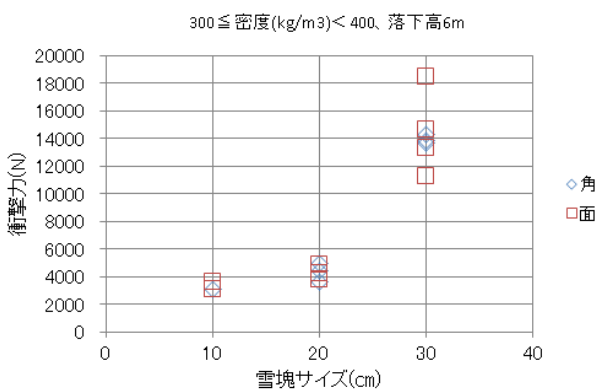


図 - 2 4 衝撃力と雪塊サイズの関係

図 - 2 3 について、密度の大きさに関わらず、落下高に比例して衝撃力が大きくなる傾向が見られた。これは落下高が大きいほど落下速度が大きくなり、それに伴い衝撃力が大きくなるためだと考えられる。

図 - 2 4 について、雪塊サイズが大きくなるほど衝撃力が大きくなる傾向が見られた。密度が同じでも、雪塊サイズが大きくなることで質量が大きくなり、それに伴い衝撃力が大きくなると考えられる。

図 - 2 5 について、衝撃力と硬度には明確な関係性が見られなかった。図 - 2 6 について、密度と落下高の大きさが衝撃力に影響を与えていると考えられるが、ばらつきが見られるので、先に述べた様に、密度以外の要因が関係していると考えられる。

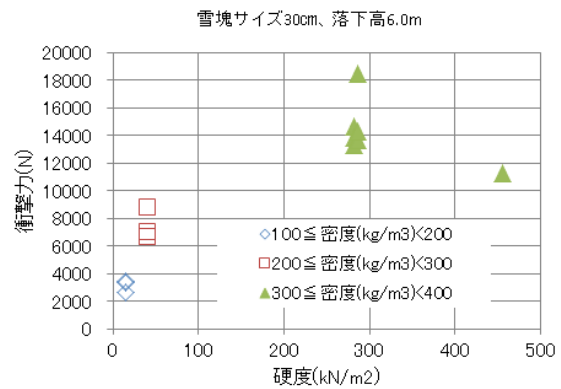


図 - 2 5 衝撃力と硬度の関係

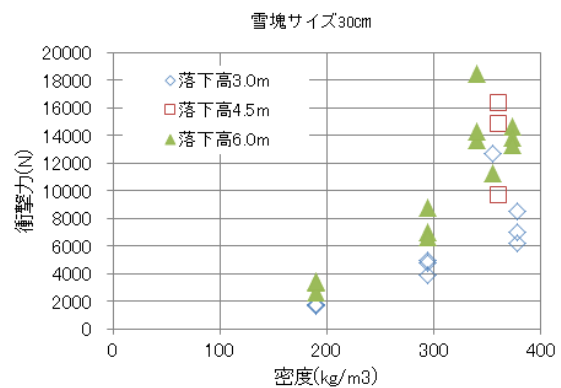


図 - 2 6 衝撃力と密度の関係

3.2 落氷雪と飛散状況の関係性

3.2.1 現地観測の方法

平成 24 年度は、足場前の路面に水平に受圧板若しくはフロントガラス模型（フロントガラスと地面のなす角：25 度）を設置し、映像の背景として、雪塊の落下速度や飛散面積が把握しやすいようにスケー

ルを設置した。同時にデジタルカメラを受圧板上方若しくはフロントガラス模型の内側と側方に設置した(図-19)。

平成25年度は走行している車両を模してトラックの荷台上にフロントガラス模型を設置し、平成24年度と同様にスケールを設置した。同時にデジタルカメラをフロントガラス模型の内側と側方に設置した(図-27)。

平成24年度は雪塊を高さ3~6mから自由落下させ、受圧板若しくはフロントガラス模型に衝突した所を、平成25年度は雪塊を高さ5mから自由落下させ、フロントガラス模型に衝突した所を動画撮影し、飛散面積を測定した。

飛散面積の読み取りは、落雪が車両窓に衝突した場合を想定し、前方の視界が塞がれると思われる雪が密に存在する範囲(濃い部分)を、図-28に示すように円形で近似して飛散面積を読み取った。なお、これ以降に使う「飛散サイズ」は、この円形の直径を示す値である。

また、飛散面積の時間変化を整理する目的で、接触時、面積最大時、0.25s、0.50s、0.75s、1.00s、1.50s、2.00s、3.00sの面積を整理した。車両の走行速度は0km/h(停止)、10km/h、30km/h、50km/hで行った。

雪塊については、自然積雪から切り出す前に物性調査(質量、密度、硬度、雪温、雪質等)を行い、その後、一辺10~30cmの立方体として切り出した。



図-27 荷台上のフロントガラス模型

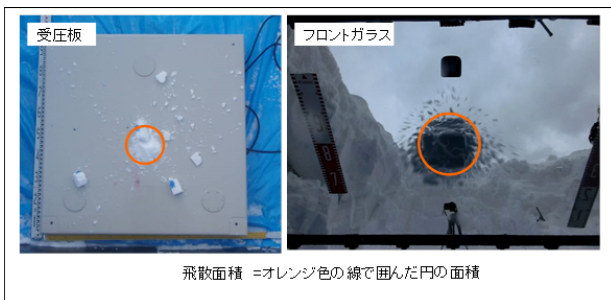


図-28 飛散面積の読み取り方法

3.2.2 現地観測結果

飛散サイズの時間変化を整理したところ、その変化が概ね1秒以内に終わることから、以下では衝突から1秒後の飛散状況と雪塊の性質や落下高さの関係について分析する。

図-29(a)は飛散サイズと密度、(b)は飛散サイズと質量、(c)は飛散サイズと硬度、(d)は飛散サイズと雪塊サイズ、(e)は飛散サイズと落下高さとの関係を示している。笠村ら⁴⁾の実験結果と同様に、密度と硬度が大きくなるに従い飛散サイズが小さくなる傾向が見られた(図-29(a)(c))。また、質量や雪塊サイズの大きさに比例して飛散サイズが大きくなっており、相関性が高かった(図-29(b)(d))。なお、落下高さとの関係は明らかではなかった(図-29(e))。

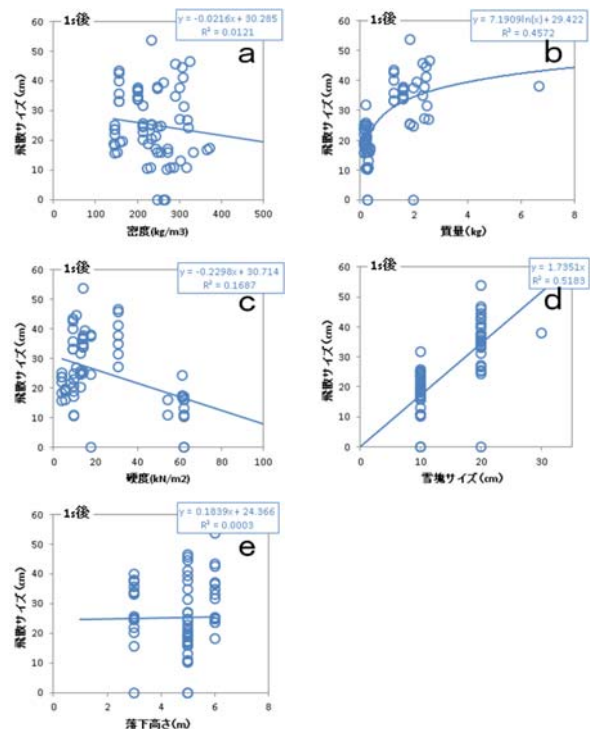


図-29 飛散サイズと(a)密度、(b)質量、(c)硬度、(d)雪塊サイズ、(e)落下高さとの関係

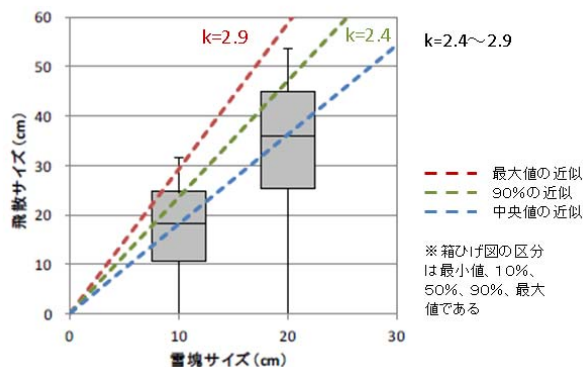


図 - 3 0 飛散サイズと雪塊サイズの関係式の求め方

道路巡回において道路巡回員が目視で判断することを前提に、以下では飛散サイズとの相関性が高い雪塊サイズに着目して、飛散サイズとの関係式を求めることにした。

図 - 3 0 は図 - 2 9 (d) を基に箱ひげ図で表したものである。図より飛散サイズの推定式は

$$\text{飛散サイズ} = k \times \text{雪塊サイズ} \quad (4)$$

となる。安全性と発生頻度を考慮し、最大値と90%値の近似直線の範囲内を採用すると、比例係数 $k = 2.4 \sim 2.9$ が得られる。

以上により、雪塊サイズから飛散サイズを求めることが出来た。

続いて走行車両に衝突した場合の飛散面積の変化について分析した。

図 - 3 1 は車速と飛散面積の関係であるが、車速が速いほど飛散面積が広がる傾向が見られる。車速が速ければ、雪塊が衝撃によって飛散しやすいと考

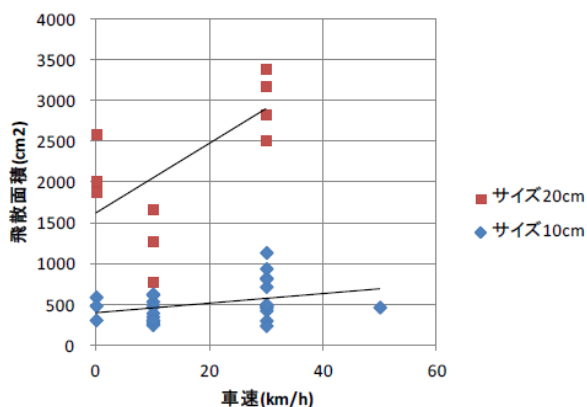


図 - 3 1 車速と飛散面積の関係

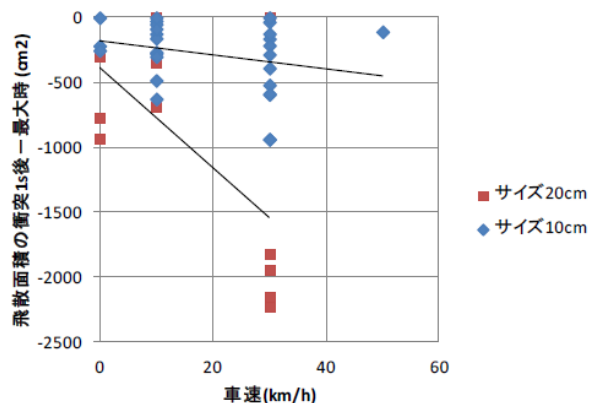


図 - 3 2 車速と飛散面積の最大時と衝突 1s 後の差の関係

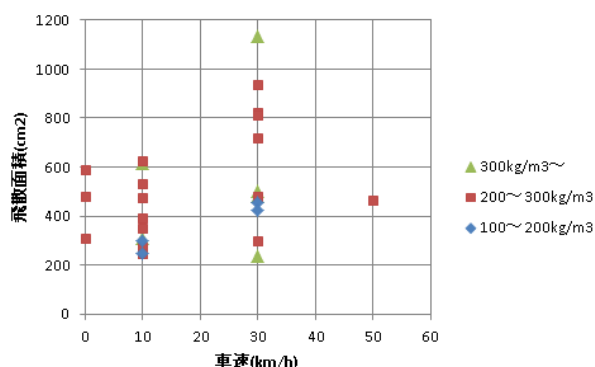


図 - 3 3 密度、車速と飛散面積の関係

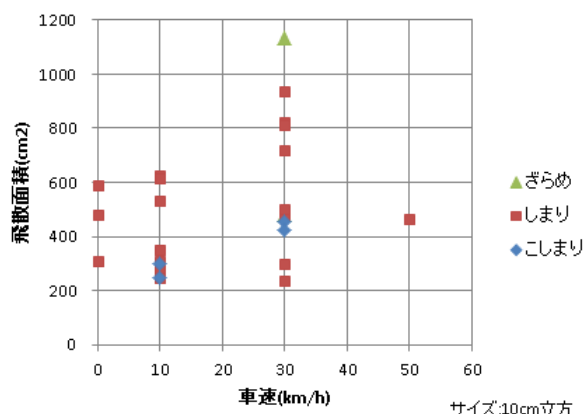


図 - 3 4 雪質、車速と飛散面積の関係

えられる。図 - 3 2 は車速と飛散面積の最大時と衝突 1s 後の差の関係である。車速が大きいほど、飛散面積が急激に狭まる傾向が見られる。車速が速いため、フロントガラスを遮蔽する雪が風によって拡散し、飛散面積が狭まった可能性が考えられる。図 - 3 3 は密度、車速と飛散面積の関係である。

密度 $100 \sim 200 \text{kg/m}^3$ では、比較的飛散面積が小さ

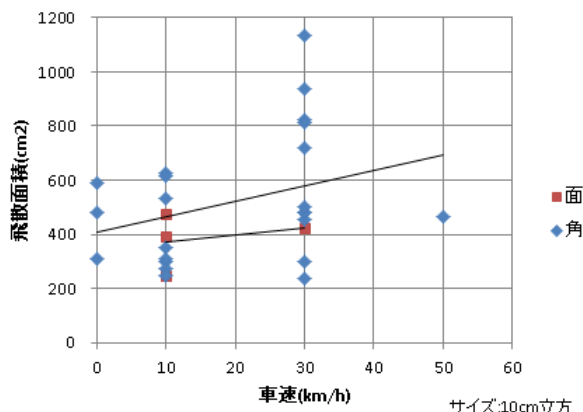


図 - 3 5 衝突状況、車速と飛散面積の関係

い傾向であり、密度 200 ~ 300kg/m³ では、ばらつきが大きいものの飛散面積が広い場合が見られる。

図 - 3 4 は雪質、車速と飛散面積の関係である。

ざらめ雪は飛散面積が大きく、しまり雪は比較的小さい傾向が見られる。これは、雪粒子の結合が弱いざらめ雪が、衝突により拡散しやすい可能性が考えられる。

図 - 3 5 は衝突状況、車速と飛散面積の関係であるが、面衝突の場合の飛散面積は、角衝突の場合と比べてばらつきが小さかった。しかし面衝突の事例が少なく明確な傾向は見られなかった。角衝突の場合は飛散面積にばらつきが見られる。衝突時の角度や当たっている場所（角や辺）などによって、飛散面積が大きく異なる可能性が考えられる。

次に雪塊とフロントガラスの破壊の関係性について分析した。

図 - 3 6 によると雪塊サイズと密度が大きいほどフロントガラスが破壊する可能性が高く、質量（雪塊サイズ³ × 密度）の影響が大きいと考えられ、図 - 3 7 では質量の影響の大きさが示された。

フロントガラス上に雪塊を落下させた実験の結果には、落水による破壊事例がなかったため、落水による破壊条件について検討する必要がある。

雪塊の運動量と硬度によるフロントガラスの破壊状況グラフに鋼球の落下によるフロントガラスの破壊条件と氷の硬度を載せ、破壊条件を示す近似線から氷の落下による破壊条件を推定した（図 - 3 8）。なお、鉄鋼の硬度を 3 × 10⁵ kN/m² とした。図 - 3 8 からの推定結果では、氷の硬度を 3 × 10³ kN/m² とした場合、破壊条件の運動量は 8 kg m/s となる。落下高さ 5 m、車速 50 km/h の場合、0.5 kg に相当する値である。

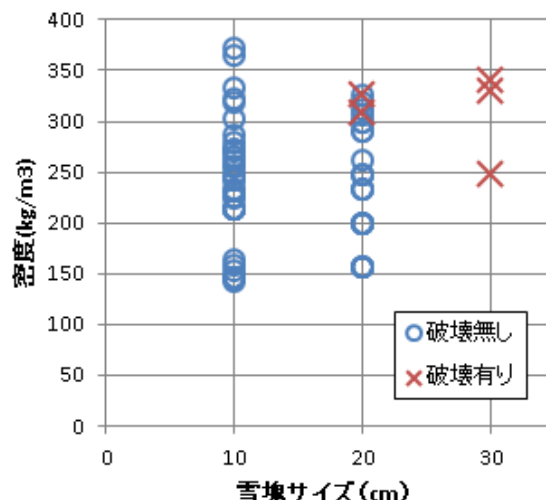


図 - 3 6 雪塊サイズと密度によるフロントガラスの破壊状況

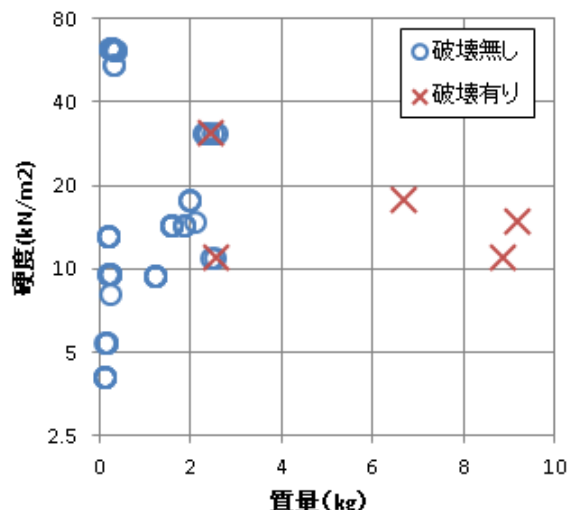


図 - 3 7 雪塊質量と硬度によるフロントガラスの破壊状況

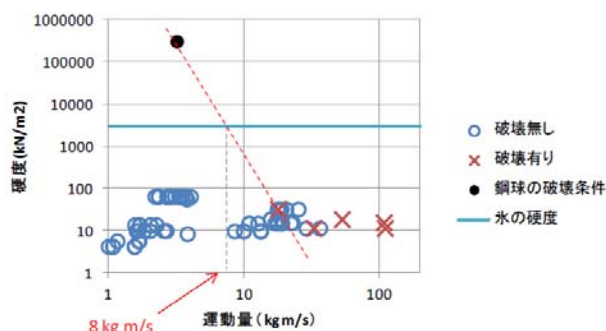


図 - 3 8 落水によるフロントガラスの破壊条件の求め方

道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2010.3.29】別添 37（窓ガラスの技術基準）

4 着氷雪の落下と衝撃荷重及び飛散状況との関係

落水雪が生じ、車両（特にフロントガラス）に衝突した場合、フロントガラスが割れる危険性と落雪がフロントガラス上で飛散し、運転者の視界を遮ることにより事故を誘発する危険性が考えられる。

落水雪によるフロントガラスによる破壊と飛散による運転者の視界の遮蔽による危険性について検討を行った。

4.1 落水雪が与える影響の評価手法

4.1.1 フロントガラス遮蔽サイズによる危険性

落雪がフロントガラスに衝突した場合、フロントガラスが破損する可能性のみではなく、落雪が飛散し、運転者の視界を遮蔽することで事故を誘発する危険性も考えられる。

落水雪飛散時に落下物が運転者の視界を遮蔽することによる危険性についての既往知見は少ないため、保安基準や運転時の目標物とのサイズとの関係性より、危険性を検討した。

(1) 道路運送車両の保安基準による遮蔽サイズの危険性検討

道路運送車両の保安基準の細目を定める告示2によると、図-39に示すように、フロントガラスの半分の範囲において、上部20%に位置に標識や刻印をつけることが許されている。逆に言えば、それ以外の部分で標識や刻印をつけることは禁じられていると言える。このことから、フロントガラスの高さ（縦方向の幅）を75cmと仮定すると、概ね幅、長さ60cm以上のもの場合、標識や刻印が禁じられている範囲を概ね覆うことになる。

以上のことから、長さ、幅（または直径）が60cm以上の遮蔽サイズは、遮蔽による危険性があると考えられる。



図-39 遮蔽領域の定義

(2) 目標物のサイズを基にした遮蔽サイズによる危険性検討

前方の車両や車道など、運転者が運転時の目標物が、落雪による遮蔽によって視認できなくなった場合、事故を誘発する可能性がある。

ここでは、運転者とフロントガラス、車間、また

目標物のサイズより、フロントガラスの位置で遮蔽物が存在した場合に、目標物が見えなくなる遮蔽物のサイズを推定することで、遮蔽サイズによる危険性を検討した。

図-40に推定方法の模式図を示した。



図-40 視界に影響がある遮蔽サイズ S の関係式と変数の定義

図に示されるように、運転者の視界を幾何学的に考え、遮蔽物のサイズ S の関係式を導くと以下のようになる。

$$S = d_1 + W \cdot d_2 / D \quad (5)$$

ここで、W：目標物の幅、 d_1 ：人間の両目の間隔（4cmと仮定）、 d_2 ：運転者の目からフロントガラスまでの距離（1mと仮定）、D：車間距離。

なお、算出にあたっては、目標物のサイズを表-4に示す値と仮定した。

表-4 目標物のサイズの設定

目標物	幅
前方車両	2m
走行車線	4m
車道全体	8m

遮蔽サイズと目標物サイズの関係式において、車間距離 W が必要となる。ここでは、冬期間の凍結した路面上での停止距離を車間距離 W と仮定し、車間距離 W を設定する。

停止距離の定義を図-41に示す。

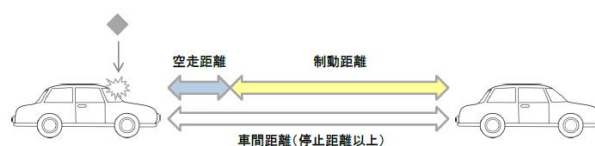


図-41 停止距離の定義

「道路構造令の解説と運用」(日本道路協会、平成

16年2月)では、停止距離は車速と摩擦係数の関係式

$$D = 0.694 V + 0.00394 V^2 / f$$

摩擦係数 $f = 0.15$

で表されるが、この式より停止距離を算出すると、図 - 4 2 の結果となる。この値より、遮蔽サイズを算出する。

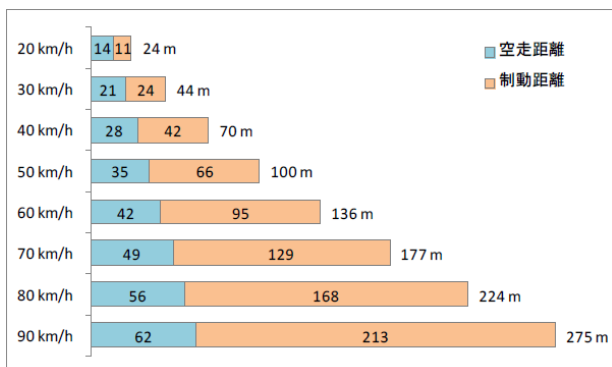


図 - 4 2 積雪寒冷地域で路面が凍結している場合の停止距離

(3) 遮蔽サイズによる危険性

ここでは、車速ごとの遮蔽サイズと遮蔽状況の関係を表 - 5 に整理した。表中に示されるサイズは、目標物が視認できない遮蔽サイズを示し、()内の数字はフロントガラスに対する遮蔽面積の比率を示す。なお、以降の検討では、遮蔽面積の比率は、フロントガラスに遮蔽物が衝突する場合の遮蔽する確率を表すものと仮定する。

表 - 5 車速ごとの遮蔽物のサイズと遮蔽状況

遮蔽状況	遮蔽サイズ (フロントガラス面積に対する比率) ※フロントガラス面積は 125 x 75 cm とした。遮蔽エリアは円形と推定。			
	車速 30 km/h (D = 44 m)	車速 40 km/h (D = 70 m)	車速 50 km/h (D = 100 m)	車速 60 km/h (D = 136 m)
危険性なし	~ 8 cm	~ 7 cm	~ 6 cm	~ 5 cm
前方車両が見えない	8 cm (0.6%) ~	7 cm (0.4%) ~	6 cm (0.3%) ~	5 cm (0.3%) ~
走行車線が見えない	13 cm (1.4%) ~	10 cm (0.8%) ~	8 cm (0.5%) ~	7 cm (0.4%) ~
車道全体が見えない	22 cm (4.1%) ~	15 cm (2.0%) ~	12 cm (1.2%) ~	10 cm (0.8%) ~
全体が見えない	60 cm (30%) ~			

(積雪寒冷地域で路面が凍結した場合の停止距離を使って計算した値)

4.1.2 着氷雪状況と運転に対する危険性

落氷雪の運転に対する危険性、フロントガラス遮蔽サイズによる危険性を基に、表 - 6 に落雪サイズ(着雪サイズ)とフロントガラスの遮蔽状況の関係、

表 - 7 に落雪サイズ(着雪サイズ)とフロントガラスの破壊の関係を示した。

表 - 6 に示されるように、累積降雪量が 2 cm 未満の場合、着雪のサイズは 2 cm 未満、遮蔽サイズは 6 cm 未満であり、ほとんど視界に対する障害はない。一方で累積降雪量 4 cm 以上となると車道全体が見えなくなったり、全体が見えない(前方をほとんど視認できない)状態となる。また、表 - 7 に示されるように、雪塊が 2 kg 以上、累積降雪量で 20 cm 以上の場合、また、つららで 60 x 6 cm 程度以上のサイズの場合、フロントガラスが破壊する条件となることがわかる。

表 - 6 落雪サイズとフロントガラスの遮蔽状況の関係 (車速 50km/h の場合)

遮蔽状況	遮蔽サイズとフロントガラスに対する面積比率	着雪のサイズ	部材形状・サイズ	累積降雪量	
障害なし	~ 6 cm	0.3%	~ 2 cm	全て	~ 2 cm
前方車両が見えない	6 cm ~ 8 cm	0.3%	2 cm ~ 3 cm	全て	2 cm ~
走行車線が見えない	8 cm ~ 12 cm	0.5%	3 cm ~ 5 cm	全て	3 cm ~
車道全体が見えない	12 cm ~ 60 cm	1.2%	5 cm ~ 25 cm	全て	5 cm ~
全体が見えない	60 cm ~	30%	25 cm ~	ひし形: 5 cm ~ 角形: 10 cm ~ 丸形: 15 cm ~	25 cm ~
推定方法:	フロントガラスのサイズ及び前の車までの距離より推定 →4.2.2 を参照	次の推定式から逆算 S(遮蔽) = 2.3 x S(雪塊) →3.2 を参照	部材の幅と着雪時間の割合から判断 →2.2 を参照	着雪量推定方法を使用(弱風を想定)。着雪率 1.0 →2.3 を参照	

表 - 7 落雪サイズとフロントガラスの破壊の関係

	フロントガラス破壊条件	着氷雪のサイズ	部材形状・サイズ	累積降雪量
雪塊	質量 2 kg ~ ※フロントガラス破壊条件を使用 →3.3.2 を参照	20 cm 四方 ~ ※雪密度 250 kg/m ³ ※着雪からの 10 日以上経過 →2.4 を参照	ひし形: 5 cm ~ 角形: 10 cm ~ 丸形: 15 cm ~ →2.2 を参照	20 cm ~ →2.3 を参照
つらら	運動量 8 kg m/s ~ ※落下高さ 5 m、車速 50 km/h の場合、質量 0.5 kg ~ →3.3.3 を参照	60 x 6 cm ~ ※円錐形を想定	本業務では発生しなかった	-

4.1.3 道路管理における落氷雪の影響評価

着雪状況、気象状況と落氷雪による危険性について検討を行った。(表 - 8)

表 - 8 に示す運転に対する危険性は、遮蔽サイズとフロントガラスの破壊、また着氷雪が落下した場合に視界障害になる(運転者の視界中央に落下する)可能性より判断した。遮蔽サイズが小さく、視界障害になる可能性も小さいものを危険性“なし”とし、段階的に危険性を区分した。特にフロントガラスが破壊する可能性があるものに関しては危険性が“極めて大きい”とした。但し、これらは限られた実験結果によって導き出された試案であり、実際の運用においては、更なるデータの蓄積と検証が必要である。

表 - 8 着雪状況に対する危険性

着雪厚	着雪質量	落下した場合の遮蔽サイズ	落下した場合に視界障害になる確率	遮蔽状況	フロントガラスの破壊	遮蔽状況のサイズ	遮蔽に対する危険性
~ 2 cm	~ 2 cm	~ 5 cm	1%未満	破壊なし	なし	全て	なし
2 cm ~ 3 cm	2 cm ~ 3 cm	5 cm ~ 8 cm		遮蔽面積が見えない			視界サイズが小さく、遮蔽する可能性は小さい
3 cm ~ 5 cm	3 cm ~ 5 cm	8 cm ~ 12 cm	1.2%	走行距離が見えない	なし	全て	小さい
5 cm ~ 10 cm	5 cm ~ 10 cm	12 cm ~ 20 cm		遮蔽が見えない			視界サイズが小さく、遮蔽する可能性はやや高い
10 cm ~ 25 cm	10 cm ~ 25 cm	25 cm ~ 40 cm	7.5%	遮蔽が見えない	可能性はある	全て	大きい
25 cm ~ 50 cm	25 cm ~ 50 cm	50 cm ~ 80 cm	30%	遮蔽が見えない	可能性が高い	全て	非常に大きい
50 cm ~ 100 cm	50 cm ~ 100 cm	100 cm ~ 150 cm	50%	遮蔽が見えない	可能性が非常に高い	全て	極めて大きい

落下した場合に視界障害になる確率とは、フロントガラスの面積に対する遮蔽サイズの比を示す。

5. まとめ

本研究では、着氷雪の除去作業の軽減による冬期道路管理のコスト縮減や積雪寒冷地の落氷雪災害予防に資する事を目的として、道路施設の部材の基本構造と着氷雪現象との関係、着氷雪の落下高や雪質と衝撃荷重及び飛散状況との関係に関する調査を行い、落氷雪が与える影響の評価手法について検討を行った。

部材形状・規格と着雪の関係性を示すことが出来た。また、着雪と気象条件との関係性では、最大風速による推定式を示すことが出来た。気温との関係性は低かったが、0 を越えた場合に密度と硬度が大きくなる傾向にあることから、落氷雪の危険度が大きくなる可能性を示した。

落氷雪の衝撃荷重に影響を与える要因について、質量と落下高が大きく作用する傾向が示され、落下高は密度に関係なく影響を与えることも示された。

落氷雪による飛散状況について、質量と雪塊サイズの影響が大きい傾向が見られ、道路巡回員が目視点検することに着目し、雪塊サイズと飛散サイズの関係性を示すことが出来た。

以上の分析結果を基に、フロントガラスの遮蔽サイズと破壊に着目し、落氷雪が与える影響の評価手法について検討を行った。道路付属物からの落氷雪を想定した時に、一辺 30 cm ではフロントガラスが破壊される可能性が高く、一辺 20 cm でも密度により破壊の可能性のあることがわかった。また、一辺 20 cm 以下の場合でも、飛散面積の大小はあるが、ドライバーの前方視界を遮蔽する可能性があり、運転への影響があることがわかった。このように着雪状況によって生じる危険性について表すことが出来たが、あくまでも危険性を確認する上での参考資料として用いることが望ましい。

参考文献

- 1) 小竹達也, 苫米地司, 西川薫: 「屋根上積雪の落雪による衝撃荷重に関する一考察」, 日本建築学会構造系論文集, 543, pp.31-36, 2001.
- 2) 上石勲, 佐藤威, 本吉弘岐, 平島寛行, 安達聖, 山口悟, 佐藤篤司, 石坂雅昭, 西田陽一, 橋立広隆, 大宮哲: 「雪氷塊の落下衝撃実験」, 寒地技術論文・報告集, 28, pp.188-191, 2012.
- 3) 川田邦夫: 「小さな円形受圧板に対する雪塊の衝撃力」, 日本雪氷学会誌雪氷, 45, 2, pp.65-72, 1983.
- 4) 笠村繁幸, 松下拓樹, 坂瀬修, 松澤勝, 中村浩: 「落雪の衝撃圧と飛散状況に関する実験」, 雪氷研究大会 (2012・福山) 講演要旨集, pp.254, 2012

METHOD FOR ASSESSING THE INFLUENCE OF FALLING ICE AND SNOW BLOCKS ON ROAD USERS

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Cold-Region Road Engineering

Research Group

(Snow and Ice Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru

UEDA Masayo

KONAKA Takanori

Abstract : This study examined a method for assessing the influence of falling ice and snow blocks on the road users, toward contributing to cost reduction in winter road management by reducing the work of removing snow and ice accretion on road facilities and toward preventing accidents caused by falling snow and ice in snowy cold regions. Surveys were done to clarify the relationship between the basic structure of road facility members and the accretion of snow and ice to them, and the relationship between the height and the quality of snow and ice that fall and the impact load and scattering conditions of falling snow and ice blocks. The surveys revealed that the wider are the members, the greater is the snow and ice accumulation, and that members with round cross-sections tend to accumulate less snow and ice than those with rectangular or triangular cross-sections. A falling snow block experiment revealed that the impact force tends to be great for a block of compacted snow and that the area of scattering tends to be great for blocks of granular snow. The factor that had the closest relationship with the impact force was the falling height. The factor that had the closest relationship with degree of scattering was block size. Based on the above findings, the authors proposed a method for assessing the influence of falling snow and ice on road users on the basis of size of visible snow and ice blocks.

Key words : snow and ice accretion, Snow and ice falling, Impact load, scattering conditions, assessment method