

構造部材の着雪性状に関する実験的研究
- 雪粒子の衝突率・着雪率について -
Experimental study on characteristics of snow accretion for structural
members with buildings
- Ratio of collision and accretion of snow particles -

佐藤雄輝，千葉隆弘，苫米地司（北海道科学大学）
 大塚清敏，田畑侑一（株式会社大林組技術研究所）
 佐藤研吾（独立行政法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター）
 Sato Yuki, Chiba Takahiro, Tomabechi Tsukasa,
 Otsuka Kiyotoshi, Tabata Yuichi,
 And Sato Kengo

1. はじめに

2014年2月，関東地方では記録的大雪に見舞われた。東京では，30cm弱の積雪が2度にわたり確認されたとともに，埼玉県熊谷市および山梨県甲府市では，過去最深積雪を記録した。このように，これまで雪が少ないといわれていた地域においても大雪に見舞われる事例が確認され，これらの地域の建築物においても降積雪に対する備えの重要性が確認されたと考える。

一方，建築物における構造部材への着雪は，以前から関東地方でも見受けられている。部材の着雪が地上へ落下することによって，人的・物的被害が発生している例も少なくない。特に，高層建築物の上空においては気温が氷点下となり，着雪が発生し易くなる可能性がある。しかし，着雪対策に関する技術資料の蓄積は少なく，十分な対策が行えないのが現状である。

このようなことから本研究では，構造部材への着雪発達過程を明らかにすることを目的に，風洞施設を利用した着雪実験を行い，雪粒子における部材への衝突率や着雪率を分析した。

2. 研究方法

着雪実験は，山形県新庄市にある防災科学技術研究所雪氷防災研究センターが所有する低温風洞施設を用いて実施した。図1に示すように，室温-2.0℃，風速9m/sとし，人工雪を風洞上部から供給した。なお，着雪現象の補助的役割として，始めの10分間は雪の供給と同時に，風上から水噴霧を行った。表1に試験体概要を示す。試験体の大きさは，幅を800mmと一定にし，高さを50mm，100mm，200mmの3種類とした。試験体の設置高さは，風洞中央付近とし，試験体の設置位置は，人口雪供給口から風下側に4mの位置とした。実験は，先ず，試験体を設置しない状態においてネット式吹雪計を用いて飛雪流量を計測し，次に，試験体を設置し，10分毎に着雪重量と着雪厚さを計測した。その厚さの測定にはトラバース装置を用い，試験体中

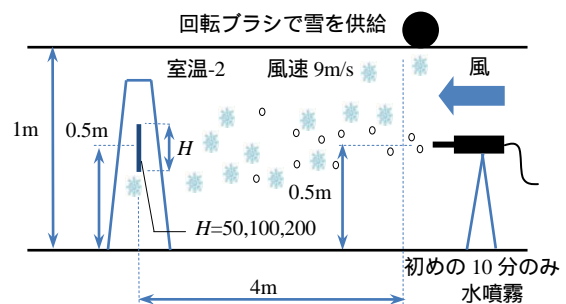


図1 実験方法

部材幅 H[mm]	傾斜角[度]	風速U[m/s]	実験時間 [min]
50	0	9	30
100			40
200			30

表1 試験体概要

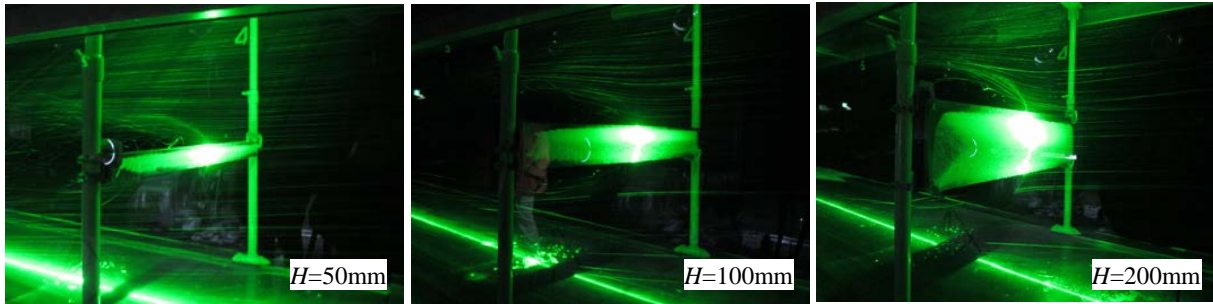


写真1 試験体の設置状況と飛雪の挙動

中央で高さ H 方向に 5mm 間隔で測定した。着雪状況は、風洞上部からレーザースクリーン装置を用いて試験体を照射するとともに、ハイスピードカメラ (1/1200 秒モードおよび 1/60 秒モード) を用いて撮影した。

実験時における試験体周辺の雪粒子の挙動をみると、 $H=50\text{mm}$ の場合は、飛雪が試験体へ直進し、その表面に強く衝突するのに対し、 $H=100\text{mm}$ の場合は、試験体中央付近においては、飛雪が直進する傾向を示すものの、上・下端部をみると、剥離流に追随しようとする傾向がみられた。その傾向は、試験体高さが大きいほど顕著であった。本研究では、このような飛雪の挙動を雪粒子が試験体へ衝突した回数をカウントすることによって分析することにした。

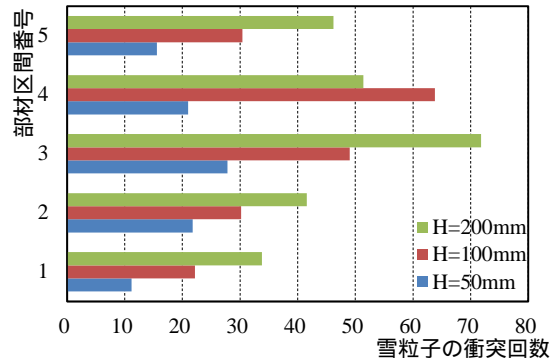


図2 衝突回数

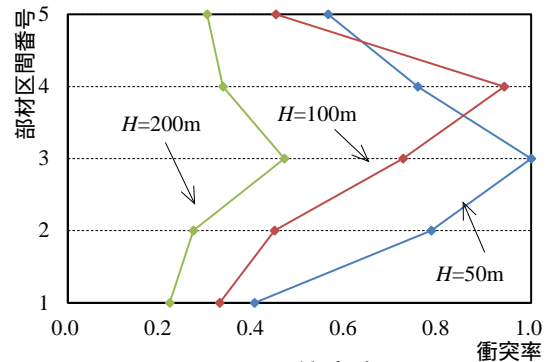


図3 衝突率

3. 実験結果

3.1 雪粒子の衝突率および着雪率

ハイスピードカメラで撮影した映像を用い、雪粒子が試験体へ衝突した回数を整理した。なお、試験体を高さ方向に 5 分割し、それらの領域ごとに雪粒子の衝突回数を整理した。その結果を図 2 に示す。図のように、いずれの試験体においても、試験体両端部の衝突回数は中央部に比べて少なく、着雪の断面形状に近似する傾向がみられる。次に、衝突回数から求めた雪粒子の衝突率を図 3 に示す。なお、衝突率は、 $H=50\text{mm}$ の試験体中央付近の雪粒子が直進していたことから、その中央付近の衝突率を 100% と仮定し、雪粒子 1 個当たりの重量を求めてから区間ごとの雪の総重量を飛雪流量で除した値とした。 $H=50\text{mm}$ の場合をみると、試験体中央から上端あるいは下端に向かうに従い衝突率が減少した。その傾向は、他の試験体においても同様であった。部材高さとの関係をみると、部材高さの増加に伴い衝突率が減少する関係がみられた。これは、部材の高さの増加に伴い、試験体風上側の剥離流が明瞭となり、風上側の飛雪が試験体を避けようとしたことが考えられる。

各試験体の実験時間 10 分ごとの雪粒子の着雪率を図 4 に示す。なお、着雪率は、衝突したすべての雪粒子の重量と着雪の密度から着雪率 100% の場合における深さを求め、さらに、測定した着雪深さを着雪率 100% の深さで除した値とした。図のように、実験時間ごとの着雪率をみると、いずれの試験体においても時間の経過に伴い着雪率が減少した。部位別にみると、試験体中央付近に比べて端部の着雪率が小さい傾向を示す。これは、雪粒子の衝突速度と角度が

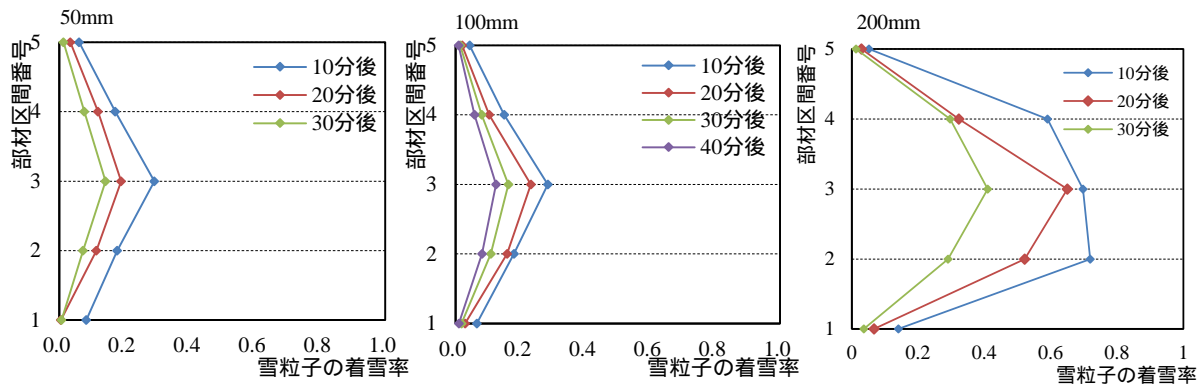


図4 雪粒子の着雪率

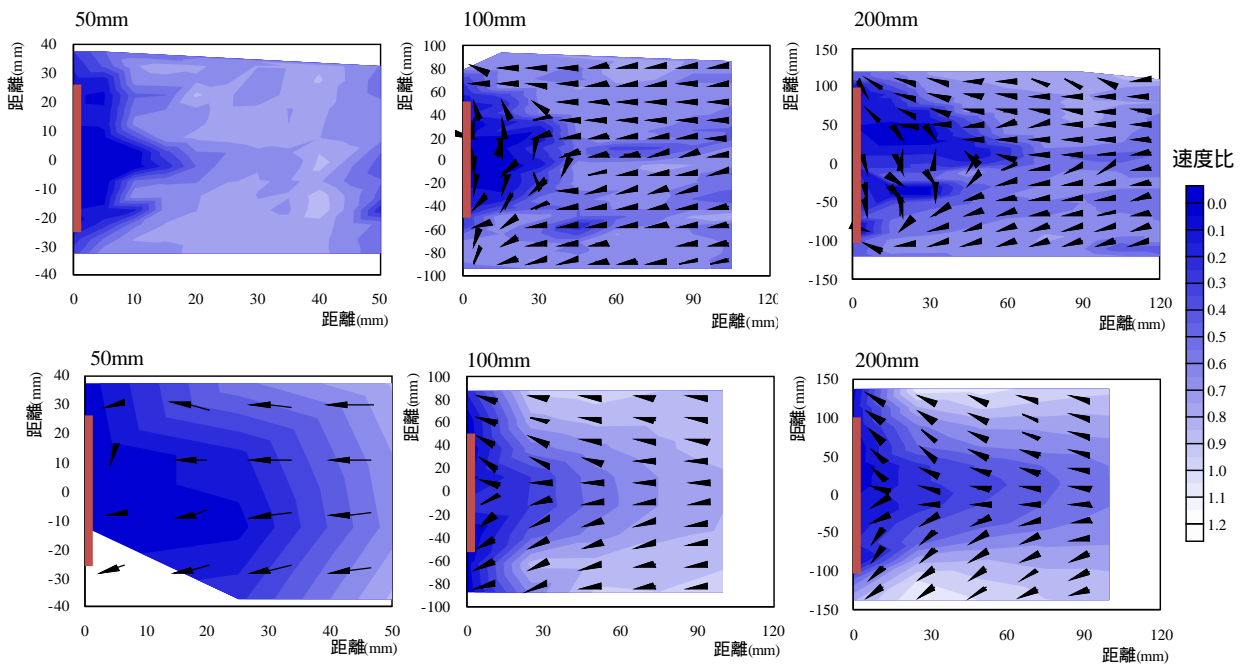


図5 雪粒子および気流の速度分布とベクトル図

着雪率に影響を及ぼしているためであると考えられる。

3.2 流速計測システムを用いた画像解析

以上の結果をみると、雪粒子における試験体への衝突角度と衝突速度が着雪率へ影響していると考えられる。ここで、流速計測システム (PIV/PTV システム) を用いて雪粒子の速度および角度を解析した。なお、雪粒子の挙動と気流とを比較するため、北海道科学大学が所有する風洞施設を用い、煙を用いた気流の可視化実験を行っている。

図5に 試験体ごとに示した雪粒子および気流のそれぞれの速度分布図とベクトル図を示す。なお、図中の速度比は、任意点の速度を風洞施設の設定速度で除した値である。試験体手前側では衝突した雪粒子が跳ね返った挙動も含まれているので、試験体風上側から 30~50mm 離れた領域における雪粒子の挙動を対象とした。試験体の高さ $H=50\text{mm}$ の場合をみると、雪粒子は試験体に向かって直進するような挙動を示すのに対し、気流の挙動をみると、試験体を避けるようにその中央付近から上下方向に向かって角度が増加している。このように、雪粒子は気流に依存せず慣性力の影響により直進する傾向が強い。試験体の高さ $H=100\text{mm}$ の場合をみると、雪粒子が試験体を避けるように角度が増加するものの、気流の挙動と比較すると、雪粒子の直進性が強いことがわかる。こうした傾向は $H=200\text{mm}$ の場合においても同様であった。また、雪粒子の速度をみると、いずれの試験体においても、試験体中央付近の速度が小さく、その上

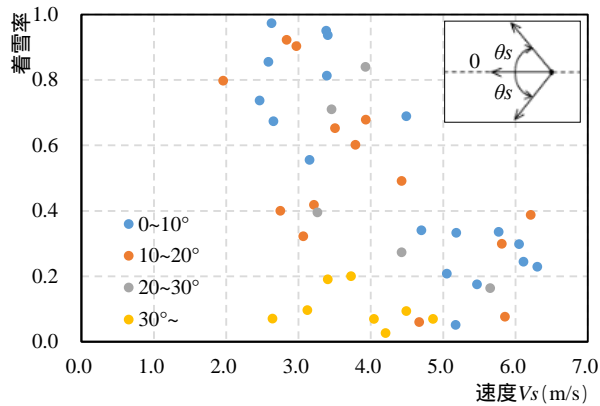


図6 角度ごとに分類した速度と着雪率の関係

下方向に向かうに従い速度が増加する関係がみられ、速度の小さいよどみ領域と着雪形状が対応していることがわかる。

以上の結果をみると、着雪率は、雪粒子の速度および衝突角度に依存するものと考えられる。ここで、衝突角度ごとに分類した雪粒子の速度と着雪率の関係を図6に示す。なお、衝突角度は、水平軸を0°とし、その軸から時計方向および半時計方向の角度とした。また、平成24年度に実施した着雪実験の結果も含めて検討した。図のよう

雪粒子の速度の増加に伴い着雪率が減少する関係がみられるとともに、衝突角度の増加に伴う着雪率の減少傾向もみられ、その角度が30°以上になると小さい速度の場合においても着雪率が小さい。ここで、着雪率 P_s を目的変数に、速度 V_s と衝突角度 θ_s を説明変数として重回帰分析を行った。得られた重回帰式は以下に示す通りである。

$$P_s = -0.160V_s - 0.014\theta_s + 1.308 \dots\dots\dots 1)$$

重回帰分析で得られた相関係数は $R = 0.77$ 、決定係数は $R^2 = 0.59$ であり、 V_s と θ_s から着雪率を十分に推定することが可能と考えられる。標準偏回帰係数は、速度 V_s が -0.633 、衝突角度 θ_s が -0.538 となり、いずれの説明変数においても着雪率に十分関与しているといえる。

以上の結果をみると、着雪現象は、雪粒子の衝突速度と角度に依存し、速度が大きいほど、あるいは角度が大きいほど着雪し難くなるといえる。

4. まとめ

本研究では、構造部材への着雪発達過程を明らかにすることを目的に、風洞施設を用いた着雪実験を行い、実験で得られたデータから雪粒子における部材への衝突率や着雪率を検討した。その結果、飛雪の挙動は、部材高さで変化しており、その高さが大きいほど部材の上・下端で飛雪が部材を避けようとする挙動を確認した。また、雪粒子における部材への衝突回数を整理し、その回数に基づいて衝突率および着雪率を分析した結果、着雪率は、雪粒子の速度および角度の影響を受けることを明らかにした。PIV システムを用いて雪粒子の速度および角度を算定し、着雪率との関係を分析した結果、速度と角度を説明変数とした着雪率を算定するための重回帰式を提案することができた。

今後は、数値シミュレーションに基づいた着雪量評価手法を構築することが重要であると考えられる。また、着雪の落下条件を導くことも重要となり、着雪箇所およびその落下状況を評価し、着雪の危険性を事前に把握するための設計手法を構築することが課題である。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会編：雪と建築，技法堂出版，2010.8
- 2) 千葉隆弘，苫米地司，田畑侑一，大塚清敏，佐藤健吾，佐藤威，望月重人：単純形状をした構造部材への着雪性状に関する実験的研究 雪粒子の部材への衝突率と着雪率について 日本雪氷学会北海道支部機関誌 北海道の雪氷 第32号 pp34-37