

# 単純形状をした建築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 - Experimental study on snow accretion characteristics for simple-shaped members of buildings - Collision and accretion probability of snow particle -

千葉隆弘, 苫米地司 (北海道工業大学), 田畑侑一, 大塚清敏 ((株)大林組技術研究所)  
 佐藤研吾, 佐藤威, 望月重人 ((独)防災科学技術研究雪氷防災研究センター)  
 Takahiro Chiba, Tsukasa Tomabechi, Yuichi Tabata, Kiyotoshi Otsuka,  
 Kengo Sato, Takeshi Sato and Shigeto Mochizuki

## 1. はじめに

吹雪が頻発する積雪寒冷地域の建築物では、その外壁面や露出している部材の一部などに着雪が発生する。高所で着雪が発生した場合は、雪氷塊の落下による危険が懸念される。このような危険性は、降積雪が少ないものの高層建築物が数多く存在している関東地方でも見受けられ、設計段階から着雪箇所を予測し、雪氷塊落下のリスクを回避しようとするのが求められるようになってきた。しかし、着雪に関する知見の蓄積は進んでおらず、その予測手法の構築には至っていないのが現状である。

筆者らは、風洞施設を用いた着雪実験を行い、単純形状をした部材への着雪特性に関する基礎データを蓄積してきた<sup>1), 2)</sup>。本研究では、建築物における着雪状況の定量的な予測手法を構築することを目的に、着雪実験により雪粒子の部材への衝突状況を撮影し、その映像から雪粒子の衝突率および着雪率を検討した。

## 2. 実験方法

実験シリーズを表1に示す。表のように、本研究では、平板部材を対象に、着雪実験を行った。平板試験体は、厚さ9mmの合板に厚さ3mmのアルミ板を貼り付けて作製した。試験体の幅は、 $W=100\text{mm}$  および  $W=300\text{mm}$  の2種類とし、長さはいずれも800mmとした。 $W=100\text{mm}$  の場合は、傾斜角  $\theta=0^\circ$  とし、風速を  $V=5.0\text{m/s}$ ,  $7.0\text{m/s}$ , および  $9.0\text{m/s}$  と変化させ、風速と着雪状況との関係に着目した実験を行った。 $W=300\text{mm}$  の場合は、風速を  $V=9.0\text{m/s}$  と一定とし、傾斜角を  $\theta=0^\circ$ ,  $15^\circ$ , および  $30^\circ$  と変化させた。

着雪実験は、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所が所有する風洞施設で行った。実験方法を図1に示す。図のように、実験に用いた人工雪は、当施設の降雪装置A(樹枝状結晶)で作成したものとし、風路風上側の上部に設置した回転ブラシによって風路内部に供給した。同時に、風路内部で水道

表1 実験シリーズ

風速	V=5m/s	V=7m/s	V=9m/s	V=9m/s	V=9m/s	V=9m/s
傾斜角	$\theta=0^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=0^\circ$	$\theta=15^\circ$	$\theta=30^\circ$
試験体	W=100mm	W=100mm	W=100mm	W=300mm	W=300mm	W=300mm

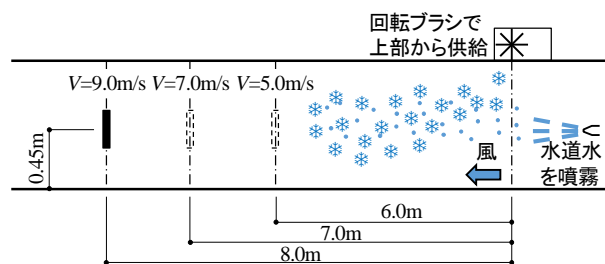


図1 実験方法

水を噴霧し、試験体へ着雪しやすい条件を再現した。なお、風路内部の温度は-3℃とした。試験体の設置位置は、風速によって雪粒子の流線が異なり、風速の低下に伴い流線の傾斜が大きくなることから、試験体の傾斜角  $\theta=0^\circ$  の場合において雪粒子の流線が試験体と垂直になるような位置とした。その結果、 $V=9.0\text{m/s}$  が人工雪の供給位置から風下側に 8.0m、 $V=7.0\text{m/s}$  の場合が 7.0m、 $V=5.0\text{m/s}$  の場合が 6.0m となった。なお、試験体の設置高さは、いずれの風速においても、風路底面から試験体中央高さまでを 0.45m とした。実験時間は 10 分間とし、着雪初期における雪粒子の衝突状況をデジタルカメラ (1/1200 秒モード) で撮影するとともに、10 分後の着雪深さを測定した。また、実験前に試験体の中央高さの位置において 1 分間、ネット式吹雪計を用いて風速ごとに飛雪流量を測定した。その結果を図 2 に示す。図のように、風速の増加に伴い飛雪流量が増加する関係がみられた。一方、飛雪流量を風速で除した飛雪空間濃度をみると、いずれの風速においても概ね同様の値となり、人工雪の供給状況は、安定していたと言える。

試験体の設置状況を写真 1 に示す。写真のように、風路上面からレーザーシートを照射して雪粒子の試験体への衝突状況を撮影した。このように撮影した映像を用い、試験体の高さ方向で 5 等分した区間のそれぞれで 5 秒間雪粒子の衝突個数を集計し、それらの衝突個数を用いて衝突率および着雪率を検討した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 雪粒子の衝突個数と衝突率

区間ごとに集計した各試験体における雪粒子の 1 秒間あたりの衝突個数を図 3 に示す。なお、 $W=100\text{mm}$  の区間幅は 20mm、 $W=300\text{mm}$  の区間幅は 60mm である。図のように、 $W=100\text{mm}$  の場合をみると、いずれの風速においても、試験体高さ中央付近の衝突個数が多く、試験体両端が少なくなる傾向を示した。 $W=300\text{mm}$  の場合をみると、 $\theta=0^\circ$  は  $W=100\text{mm}$  と同様の傾向を示

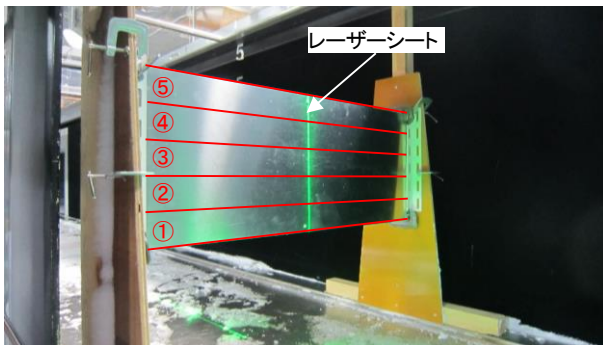


写真 1 試験体の設置状況

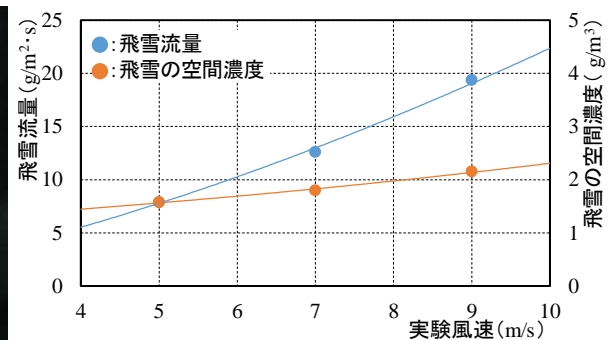


図 2 飛雪流量と飛雪空間濃度

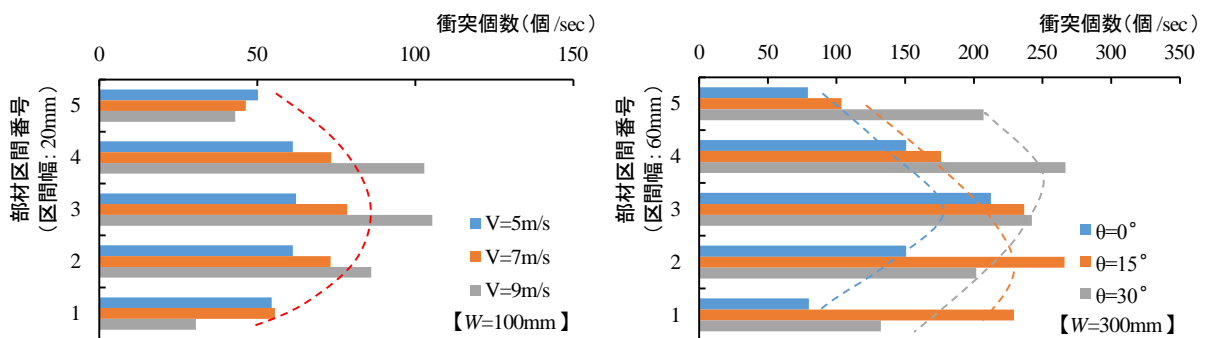


図 3 各試験体における雪粒子の衝突個数

すが、 $\theta$  の増加に伴い衝突個数が増加する傾向を示した。傾斜角ごとにみると、 $\theta=15^\circ$  の場合は試験体下方の衝突個数が多くなり、 $\theta=30^\circ$  の場合は試験体上方の衝突個数が多くなる傾向を示す。このように、 $\theta=0^\circ$  の場合は、試験体両端で衝突個数が減少し、 $\theta$  の増加に伴い衝突個数が増える区間が変化するようになる。

ここで、 $W=100\text{mm}$  の試験体における中央高さ付近の雪粒子の流線をみると、試験体近傍の流れ場に依存せず、風の進行方向に従って雪粒子が部材に対して垂直に衝突していた。本研究ではこのような状況を考慮し、 $W=100\text{mm}$  における中央高さ付近の雪粒子の衝突率が 100%であると仮定し、実験前に測定した各風速の飛雪流量を集計した衝突個数で除することによって雪粒子 1 個あたりの重量を算定した。算定した重量は約  $6.3 \times 10^{-6}\text{g}$  となり、雪粒子が密度  $900\text{kg/m}^3$  の氷の球体だとするとその直径は  $0.25\text{mm}$  となる。この重量に各区間で得られた衝突個数を乗じ、先に示した飛雪流量で除することによって、区間ごとに雪粒子の衝突率を算定した。その結果を図 4 に示す。図のように、 $W=100\text{mm}$  の場合をみると、試験体の中央高さ近傍を衝突率 1.0 とすると、試験体両端の衝突率は  $0.3 \sim 0.8$  であり、風速の増加に伴い衝突率が減少する関係がみられる。 $W=300\text{mm}$  で  $\theta=0^\circ$  の場合をみると、衝突率の分布は、 $W=100\text{mm}$  に近似するものの、その値は  $0.3 \sim 0.7$  であり、 $W=100\text{mm}$  に比べて小さくなる。これは、試験体風上側で雪粒子の流線が剥離するため、試験体へ衝突する雪粒子が減少したものと考えられる。一方、 $\theta=15^\circ$  の場合をみると、 $\theta=0^\circ$  に比べて衝突率が増加し、傾斜角の増加に伴い雪粒子が衝突し易くなることがわかる。

### 3.2 雪粒子の着雪率

先に示した雪粒子の衝突率と 10 分間の着雪実験後に得られた各試験体の着雪深さを用いて着雪率を算定した。具体的には、各部材区間で求めた衝突した雪粒子の重量を着雪の密度で除することによって着雪率 100% の深さを算定し、測定した着雪深さを着雪率 100% の深さで除す

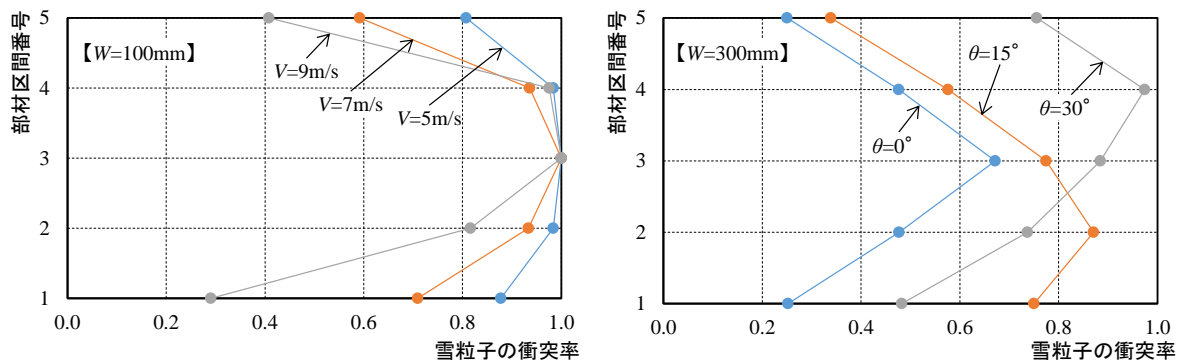


図 4 各試験体における雪粒子の衝突率

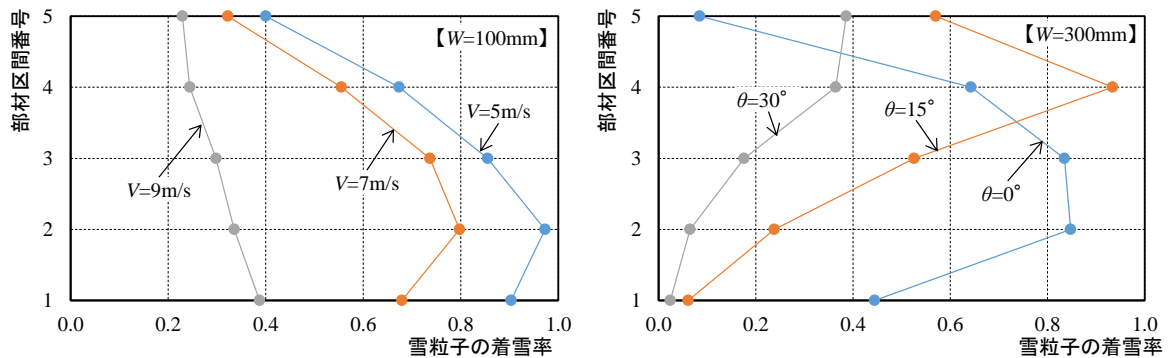


図 5 各試験体における雪粒子の着雪率

ると着雪率が得られる。なお、本実験では、着雪の密度を測定しなかったため、平成23年度の着雪実験で得られた密度 ( $W=100\text{mm}$  :  $310\text{kg/m}^3$ ,  $W=300\text{mm}$  :  $230\text{kg/m}^3$ ) を用いた。ここで、着雪率を算定した結果を図5に示す。図のように、 $W=100\text{mm}$  の場合をみると、重力の影響で試験体下側の着雪率が高い傾向を示すものの、風速の増加に伴い着雪率が低下する関係がみられる。 $W=300\text{mm}$  の場合をみると、 $\theta=0^\circ$  では、 $W=100\text{mm}$  に比べて着雪率が高くなる。また、傾斜角の増加に伴い気流のよどみ領域の着雪率が高くなる傾向を示すとともに、試験体下側の着雪率が極端に小さくなる。このような状況をみると、雪粒子の衝突速度と角度が着雪率に影響を及ぼしていると考えられる。

ここで、撮影した映像を用いてPIVにより雪粒子の速度  $V_s$  と角度  $\theta_s$  を求めた。なお、試験体近傍では、雪粒子が衝突した際の跳ね返り等が大きく影響し、 $V_s$  と  $\theta_s$  が適正に測定することが困難な状況であったことから、試験体表面から風上に向かって20~50mmの範囲で得られた  $V_s$  と  $\theta_s$  を雪粒子の衝突速度および角度として捉えた。ここで、雪粒子の衝突角度別に示した衝突速度  $V_s$  と着雪率  $P_s$  との関係を図6に示す。なお、 $V_s$  と  $\theta_s$  は各部材区間で値を平均した。また、 $\theta_s$  は試験体と垂直方向を  $0^\circ$  の軸とし、値を絶対値とした。図のように、 $V_s$  の増加に伴い着雪率が低下する関係がみられると同時に、 $\theta_s$  の増加に伴い着雪率が低下する関係がみられる。ここで、 $V_s$  および  $\theta_s$  を説明変数、着雪率を目的変数として重回帰分析を行った結果、 $P_s = -0.1326V_s - 0.0147\theta_s + 1.2475$  という重回帰式を得ることができた。決定係数は  $R^2=0.65$  であることから比較的相関が高く、標準偏回帰係数は  $V_s$  が  $-0.545$ 、 $\theta_s$  が  $-0.539$  であり、これらの指標が着雪率に及ぼす影響はほぼ均等である。このように、雪粒子の衝突速度および角度が着雪率に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

#### 4. まとめ

本研究では、建築物における単純形状をした部材の着雪性状に関する基礎資料を蓄積することを目的に、風洞施設を用いた着雪実験を行い、雪粒子の部材への衝突状況を撮影するとともに、着雪深さを測定した。実験で得られた結果を用いて雪粒子の部材への衝突率および着雪率を検討した。その結果、雪粒子の衝突率は、部材幅の増加に伴い低下するとともに、部材の傾斜角の増加に伴い増加することが明らかとなった。雪粒子の着雪率は、その速度と角度の増加に伴い低下することが明らかとなった。

今後は、部材の大きさと雪粒子の衝突率との関係、および雪粒子の含水率が着雪率に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 苫米地司, 千葉隆弘, 佐藤威, 堤拓哉, 高橋徹, 伊東敏幸, 2011: 構造部材への着雪性状に関する基礎的研究—屋外観測と風洞実験による部材形状と着雪性状との関係について—, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.659, 45-52.
- 2) 千葉隆弘, 苫米地司, 田畑侑一, 大塚清敏, 佐藤研吾, 佐藤威, 望月重人, 2012: 単純形状をした建築部材への着雪性状に関する実験的研究, 北海道の雪氷, No.31, 191-194.

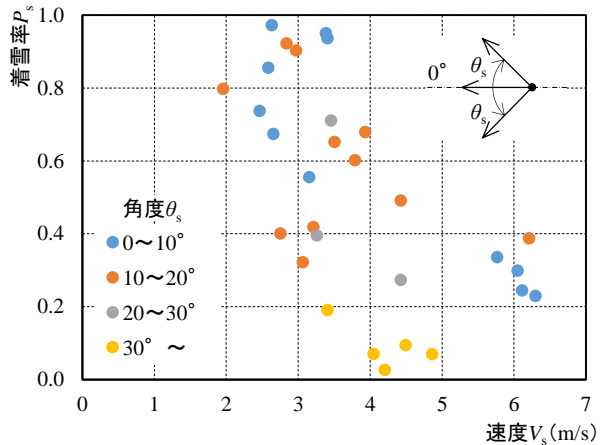


図6 雪粒子の速度と着雪率との関係