

人工降雪装置を用いた建物屋根上の雪庇の形成実験

堤 拓哉 (北海道立北方建築総合研究所), 根本征樹, 佐藤威((独)防災科学技術研究所)

1. はじめに

多雪地域では季節風など一定方向の風を伴う降雪により、屋根の風下側に雪庇が形成される建物が多く見られる(写真1)。雪庇は局所荷重の増加、落下による人身事故や建物の破損などに繋がることから対策の検討が必要とされている。雪庇に関する実験的検討については、小林(1969)¹⁾が野外において雪原に溝を掘り形成実験を行っている。室内実験では、内藤・小林(1985)²⁾、安達・尾関(2005)³⁾が雪粒子と低温風洞を用いて試みているが、いずれも平らな雪面での地吹雪による雪庇であるため、建物を対象とした検討に適用するには十分ではない。本報では、実建物を対象とした観測調査の結果を基に実施した人工降雪装置による建物屋根上の雪庇の形成実験について報告する。

2. 実建物を対象とした観測調査

2.1 調査概要

観測対象は、北海道旭川市にある北海道立北方建築総合研究所の敷地内に建つ実験棟(平面寸法 11.0 m×9.6 m, 高さ 10.3 m)とした(写真2)。建物のパラペットの高さは 53 cm である(図1)。タイムラプスビデオを用いて屋根の風下側に形成される雪庇を記録した。観測期間は 2001 年 12 月 6 日から 2002 年 1 月 22 日の 48 日間で、昼光利用による撮影が可能な時間帯(06:00~18:00)の撮影とした。雪庇形成時の風速を把握するため、観測対象に近接する建物の屋根上(高さ 10.3 m, 設置高 3.0 m)に風車型風向風速計を設置し計測を行った⁴⁾。



写真1 建物の雪庇



写真2 観測対象

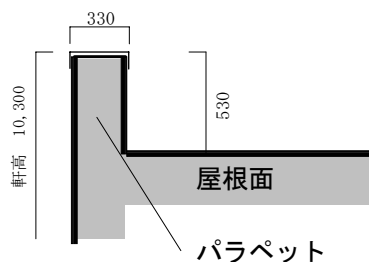


図1 屋根風下側の状況

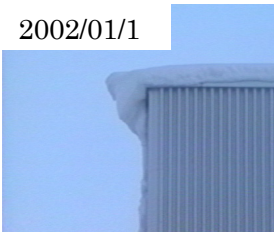
2.2 調査結果～雪庇の形成過程

タイムラプスビデオの記録による雪庇の形成時の状況とその際の気象状況を表1に示す。雪庇は 24~48 時間程度の比較的短期間で急激に大きくなる傾向にあり、以下のような過程を経て形成された。

- ① 降雪を伴う吹雪により屋根の風下側のパラペット近傍に吹きだまりが発生する。
- ② 吹きだまりがパラペットの高さを超えると、吹きだまりの発達と共に風下側へ積雪面が庇状に張り出す(表1: 2001/12/15~16)。
- ③ 庇部分が自重により垂れ下がった状態となる(表1: 2002/01/09)。
- ④ 再び降雪があると雪庇の上面に雪が堆積し、更に積雪面が張り出して垂れ下がる。

建物の雪庇はこのような過程を繰り返すことにより成長することが観測された。雪庇が成長する気象環境のおよその目安としては、日降雪量が 10 cm 以上で日平均風速 3 m/s 以上であった。

表 1 観測調査結果

雪庇の形成過程	日平均風速 (m/s)	日累積降雪量 (cm)
2001/12/1  2001/12/1 	2001/12/15 5.0m/s 2001/12/16 4.0m/s	2001/12/15 30cm 2001/12/16 17cm
2002/01/0  2002/01/1 	2002/01/09 3.1m/s 2002/01/10 4.7m/s	2002/01/09 9cm 2002/01/10 13cm

3. 雪庇の形成実験

3.1 実験概要

実験は、(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の雪氷防災実験棟の低温室で行った。低温室に備えられている降雪装置(降雪範囲：3 m×5 m)と横風発生装置(吹出口寸法:横 3 m×縦 0.1 m, 最大風速：10.0 m/s)を使用した。降雪テーブル(幅 3.0 m×長さ 5.0 m)を建物の模擬屋根とし、風下側端部に実物大のパラペットのモデル(断面 20 cm×20 cm, 板金仕上げ)を設置した。実験条件を表 2 に実験概要を図 2、写真 3 に示す。実験室内の温度は樹枝状結晶による人工降雪を行うため-10℃とした。なお、観測調査においても調査期間中の平均気温は氷点下であった。雪庇の形成と成長は降雪時に顕著であったことから、新雪を想定し、雪粒子は樹枝状結晶を持つ粒子とした。風速については、予備実験による検討を踏まえ、横風発生装置の吹き出し口位置で 6.0 m/s, 風下に設置したパラペットの位置(吹き出し口から 4.8 m)の位置で 2.0 m/s とした。横方向への風の拡散を抑制するため、降雪テーブルの両脇に誘導板を設置した。屋根上に少量の雪が積もった状況を想定し、降雪テーブル上には厚さ約 6 cm の積雪を一様に敷きつめた。また、パラペットの形状効果を調べるため、パラペットの片側半分に三角形の部材を取り付け比較した(図 3)。降雪を 8 時間続けた後、降雪を止め 16 時間放置するのを 2 回繰り返した。雪庇の形成状況をデジタルカメラにて 10 分間毎のインターバル撮影を行い記録した。

表 2 実験条件

室 温	-10℃
雪粒子	樹枝状結晶 (径 0.5～5mm, 密度 0.02～0.04)
降雪強度	平均 5.7cm/時 (20cm 角の箱を設置し毎時測定)
風 速	吹き出し口位置 6.0m/s, パラペット位置 2m/s
実験時間	48 時間 : (降雪 8 時間+16 時間放置) × 2 回

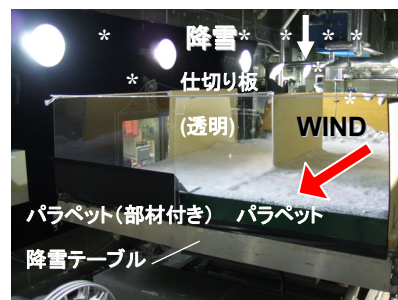


写真 3 実験の状況

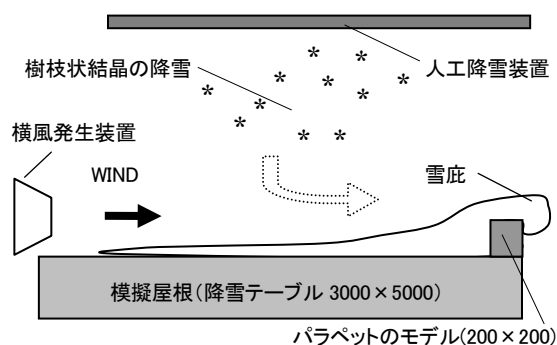


図 2 実験概要図

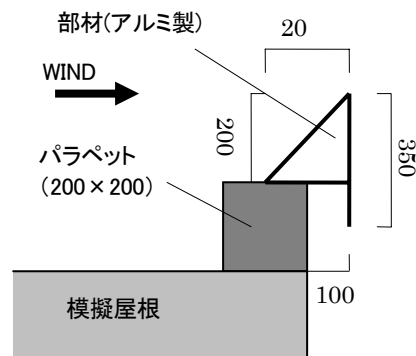


図 3 パラペットに取り付けた部材

3.2 実験結果～雪底の形成状況

部材が付いていないパラペットにおける雪底の形成状況について、降雪4時間後の状況を写真4、5に、降雪8時間後の状況を写真6に示す。降雪時間の経過に伴い風下側のパラペットに吹きだまりが発生し、パラペットの高さ付近まで堆積した後、積雪面が水平方向に張り出した(写真5)。降雪8時間後には、水平の張り出し長さが最大14 cm、パラペット上の積雪32 cm程度まで成長した(写真6)。これらの形成過程は、雪底の大きさや形成時間に違いがあるものの、実建物を対象とした観測と同様である。パラペット付近の雪の堆積は中央の間仕切り板付近で堆積が多く、降雪テーブル両脇では少ないなど、一様でない傾向にある。これは横風発生装置から出る風の分布が、噴出し口から離れるに従い両端の風速が低くなるためである。

降雪終了時、16時間経過後の状況を写真7、8に示す。樹枝状の雪粒子が堆積した空隙を多く含む積雪であることから、放置後まもなく積雪の沈降が始まり、16時間経過後にはパラペット上の積雪深が32 cmから18 cmまで減少した。雪底の水平方向への張り出しについても、雪底が鉛直方向に垂れ下がったため、張り出し長さは8.5 cmになった。

2回目の降雪終了後、16時間経過した状況を写真9に示す。2回目の降雪後、雪底の大きさは水平方向の張り出しの長さが27 cm、高さ方向が58 cmまで成長した。16時間放置後の水平方向の張り出しの長さは27 cm、高さ方向は32 cmとなり、雪底の垂れ下がりが見られたものの、水平方向の長さに変化は見られず、高さ方向にのみ沈降による減少が見られた。

パラペットに三角形の部材を取り付けたことによる効果については、パラペットの見付高さが増して堆雪容量が増加しているため、同一の降雪強度であっても部材の無いパラペットに比べ形成される雪底は小さくなるが、雪底の形成を防止する効果は認められなかった。



写真 4 降雪4時間後の状況



写真 5 降雪4時間後の状況

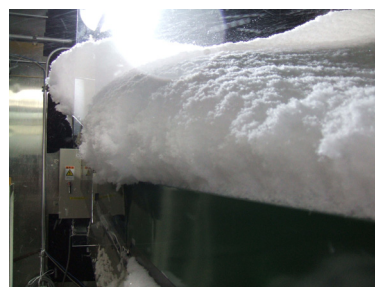


写真 6 降雪8時間後の状況



写真7 降雪8時間後

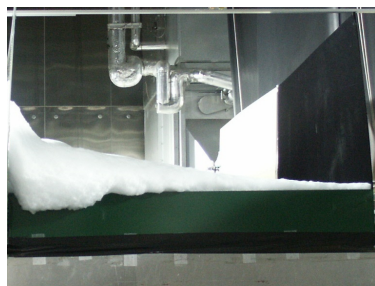


写真8 16時間経過後



写真9 降雪2回目16時間経過後

3.3 実験結果～雪庇の断面観察

雪庇を中央部で鉛直方向に切った断面を写真10に示す。断面観察では、降雪1回目の雪庇の垂れ下がりで積雪面が内側に巻き込む様に折れ込み、雪庇の先端が壁面側と接触する状況が見られる。また、パラペットの中央部付近で積雪層と斜交して走る幅約10mmクラックが認められた(写真11)。雪庇の積雪層の密度変化を調べるため、スノーサンプラーを用いて雪密度を測定した。分布状況を写真12に示す。降雪後の時間経過が短く実験室内の温度の変動がないため、雪の密度に大きな変化は見られなかった。



写真10 雪庇の断面

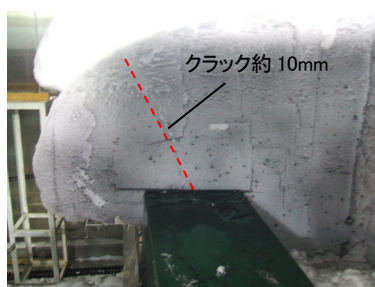


写真11 雪庇のクラック

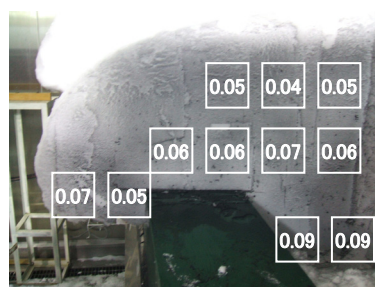


写真12 雪庇の密度分布

4. まとめ

低温室内の人工降雪装置を用いて、建物屋根の雪庇の形成実験を行った。形成過程については、実建物を対象とした観測調査と同様な傾向を示し、本実験手法は建物の雪庇対策を検討する上で有用な手法であると言える。一方で、実験が比較的短時間であったため、雪の密度変化の状況やそれらが雪庇に及ぼす影響については把握できなかった。また、雪質の変化、気温の変動、日照の影響については、野外観測も含め今後の課題である。

参考文献

- 1) 小林大二：みぞの縁にできる小雪庇，低温科学，物理編，27，pp.405-407，北海道大学，1969
- 2) 内藤明男，小林大二：雪庇の発生に関する実験的研究，低温科学，物理編，44，pp.91-101，北海道大学，1985
- 3) 安達聖，尾関俊浩，小杉健二：雪庇の成長機構と抑制法について，寒地技術論文・報告集，Vol.21，pp.483-490，2005.12
- 4) 堤拓哉，高倉政寛，苫米地司：陸屋根に形成される雪庇と気象要素との関係について，日本建築学会技術報告集，No.19，pp.113-116，2004.6