

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：80122

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25871085

研究課題名(和文) 建物の屋根積雪性状の予測・評価手法構築に向けた屋根積雪多層熱収支モデルの高度化

研究課題名(英文) Improvement of Multi-layer Heat Balance Model of Snow on Roofs for the Predicting and Evaluating Roof Snow

研究代表者

阿部 佑平 (Abe, Yuhei)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部北方建築総合研究所・研究員

研究者番号：70614147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、屋根雪の融雪実験を行い、積雪内部における融雪水の発生や移動を明らかにした。また、勾配屋根を有する実建物を対象に屋根雪観測を行い、屋根上積雪深、積雪重量などの基礎データを得た。得られたデータをもとに、積雪内部における水分移動を考慮し、勾配屋根においても屋根積雪性状(積雪深、重量など)を予測することが可能な数値モデルの開発を行い、そのモデルの妥当性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted snowmelt experiments, and we clarified occurrence and transport of snowmelt water in the snow. Moreover, we conducted a survey of roof snow on an actual building with a pitched roof, and we obtained basic data necessary for developing a numerical model. Considering water transport in the snow, we developed a numerical model that can predict roof snow on a pitched roof, and we clarified the validity of it.

研究分野：工学

キーワード：屋根雪 数値モデル 水分移動モデル

1. 研究開始当初の背景

近年、北海道では空き家、倉庫、廃校となった学校の体育館などで屋根雪荷重による建物の倒壊被害が相次いでいる。また、建築物の荷重設計や屋根雪処理計画を行う上では、時系列で変化する屋根雪の重量や密度を適正に予測する必要がある。

研究代表者らは、この現象を予測する数値モデル(屋根積雪多層熱収支モデル)の開発に取り組んでいるが、屋根雪荷重を予測する場合、屋根雪内部における融雪水の発生と移動を把握する必要がある。しかし、これらの現象については、未だに分からないことが多くあり、特に勾配屋根では現象が複雑になることが考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、積雪内部における融雪水の発生や移動を実験により明らかにしモデル化することで、勾配屋根においても屋根積雪性状(積雪深、重量など)を予測することが可能な数値モデルの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 屋根面融雪水の発生とその挙動解明のための屋根雪実験

建物を模擬した試験体を作成し、定常状態における屋根雪の変質過程の観察や屋根面における融雪水量の測定などを行う。

(2) 実建物を対象とした屋根雪観測

勾配屋根を有する実建物において屋根雪観測を行う。

(3) 屋根積雪多層熱収支モデルの高度化

主に雪崩分野で開発されている積雪内部の水分移動モデルに係る既往研究を参考に、融雪水の移動を考慮した数値モデルを作成し、これまで研究代表者が開発してきた屋根積雪多層熱収支モデルに組み込むことで、数値モデルを高度化する。

(4) 屋根積雪多層熱収支モデルの構築

モデル係数などのチューニングを行うことで数値モデルの精緻化を行い、モデルを構築するとともに、開発した数値モデルの実建物への適用可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) 屋根面融雪水の発生とその挙動解明のための屋根雪実験

勾配を考慮した屋根雪実験

勾配の違いによる融雪水の出水と融雪水量を比較するため、北方建築総合研究所の外部環境シミュレータ室において温度一定の条件で屋根雪の融雪実験を行った(写真1)。建物の屋根を模擬した1.8m×0.9m×0.45mの試験体を耐水合板で作成し、試験体の上に雪(積雪深20cm、雪重量103kg、雪密度307kg/m³)を載せた。実験室温度は札幌にお

ける融雪期の気温を想定し3℃、試験体内部温度は6℃に設定した。試験体勾配を1寸、2寸、3寸、4寸とした場合の融雪水量を電子はかりで41時間測定した。

図1に実験中における累積融雪水量を示す。融雪水の出水は1寸勾配で最も遅く、実験開始から12時間後であった。他の勾配における融雪水の出水は、ほとんど同じであり、実験開始から約10時間後であった。

図2に1時間当たりの融雪水量を示す。実験開始から20時間を経過すると、いずれの勾配でも出水量はほぼ同じになり定常となった。定常状態における1時間当たりの融雪水の出水は約1.2kg/hであった。

実験より、勾配が緩いと融雪水の出水時間は遅くなったが、2寸勾配以上ではほとんど変わらないことを明らかにした。また、融雪水の出水が定常状態になると、1時間当たりの融雪水量には勾配による違いが見られなかった。

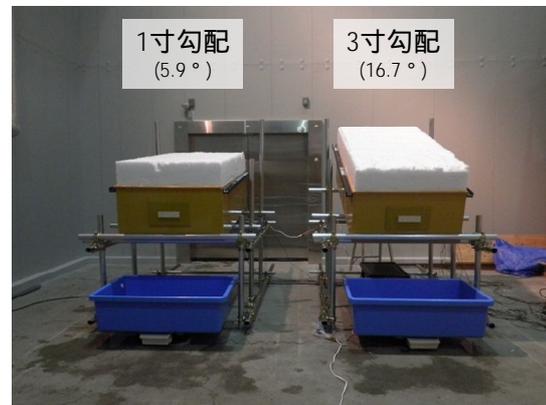


写真1 実験の様子(1寸、3寸勾配)

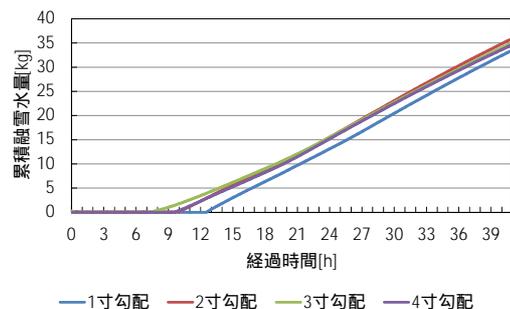


図1 累積融雪水量

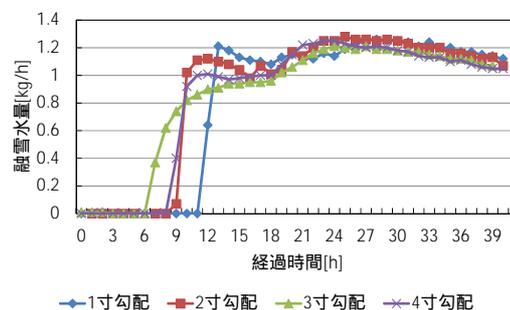


図2 1時間当たりの融雪水量

雪質を考慮した屋根雪実験

雪質の違いによる融雪水の出水と融雪水量を比較するため、北方建築総合研究所の外部環境シミュレータ室において温度一定の条件で屋根雪の融雪実験を行った(写真2)。

表1に実験条件を示す。実験では、内寸300mm×300mm×300mmの断熱材(厚さ100mm、熱伝導率0.040 W/mK)で作成した枠体に試験体となる雪を入れ、6°傾けた耐水合板の上に設置し、電子はかりを用いて融雪水量を測定した。雪質は3種類(氷板2cm+ざらめ雪28cm、ざらめ雪15cm+しまり雪15cm、しまり雪30cm)とし、雪は屋外から自然積雪を採取した。試験体の氷板は、試験体の下部に予めしまり雪を敷き詰め、そのしまり雪に氷板2cmに相当する水を含ませた後、-10の冷凍庫内で凍らせて作成している。雪質が異なるため各試験体の総重量は異なるが、試験体への伝熱の条件を同じにするため、試験体の大きさを揃えて実験を行った。また、試験体内部は加熱せず、実験室温度は札幌における融雪期の気温を想定して3、5とし、実験時間は144時間とした。なお、温度の違いによる融雪水量を測定するため、試験体に日射は当てずに実験を行った。

図3に各試験体における1時間毎の融雪水量の変化を示す。雪質毎に融雪状況を見ると、底面に氷板がある試験体は、他の試験体に比べて融雪水の出水時間が最も早く、次いで試験体、試験体の順になった。これは、氷よりも雪の方が、滞水効果が大きいことが影響していると考えられる。実験室温度別に融雪状況を見ると、試験体とでは、実験室を5にした方が融雪水の出水時間は早かったが、一方、試験体では3の方が早かった。これは、初期雪温の影響によるものである。融雪水の出水が定常となった84時間以降における融雪水量を比較すると、試験体の実験室3では0.38 kg/m²、5では0.57 kg/m²、試験体の3では0.37 kg/m²、5では0.63 kg/m²、試験体の3では0.43 kg/m²、5では0.70 kg/m²となった。なお、いずれの試験体も実験中にすべて融けてなくなることはなかった。

図4に積算暖度と融雪水量の関係を示す。積算暖度とは、温度が0以上の値を積算したものである。積算暖度と融雪水量は24時間毎に算出した値をプロットした。融雪水量は、試験体<試験体<試験体の順に大きくなる傾向が見られた。また、融雪水量と積算暖度の関係から図4の直線の傾きは融雪係数となる。これより、各試験体の融雪係数を算出すると、試験体は3.27 kg/(m² day)、試験体は3.66 kg/(m² day)、試験体は4.05 kg/(m² day)となった。融雪係数が大きくなると融雪速度も大きくなることから、試験体<試験体<試験体の順に融雪速度が大きくなることを把握し、雪質が融雪速度に与える影響を定量化した。

実験より、雪質の違いによる融雪水の出水



写真2 実験の様子

表1 実験条件

室温	3、5	
実験時間	144時間	
雪質密度	試験体	総重量:12.5kg ・下層:氷板2cm(1.8kg) ・上層:ざらめ雪28cm(10.7kg、426kg/m ³)
	試験体	総重量:11.9kg ・下層:ざらめ雪15cm(6.3kg、465kg/m ³) ・上層:しまり雪15cm(5.7kg、420kg/m ³)
	試験体	総重量:11.3kg ・全層:しまり雪30cm(11.3kg、418kg/m ³)

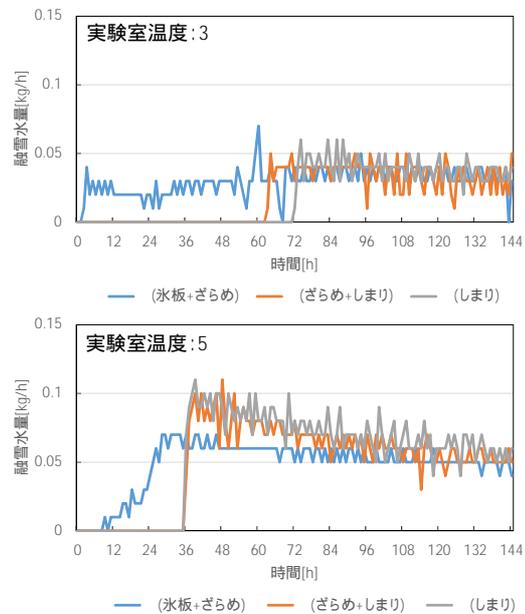


図3 融雪水量の変化

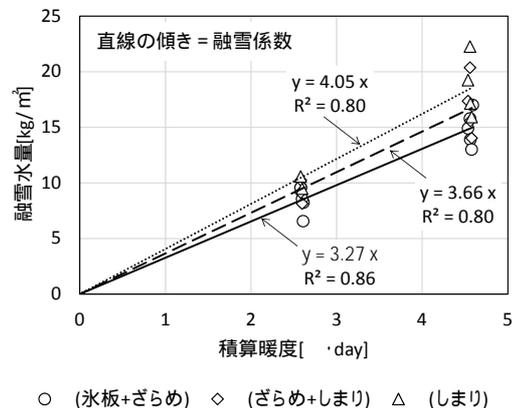


図4 積算暖度と融雪水量の関係

時間や融雪係数を算出した。底面に氷板がある場合、融雪水の出水時間は他の試験体よりも早い、融雪係数は他の試験体よりも小さくなることを明らかにした。

(2)実建物を対象とした屋根雪観測

観測概要

北方建築総合研究所の敷地内にある木造建物を対象に、屋根雪の断面観測を行った(写真3)。観測対象建物は、屋根勾配が2.5寸(14°)であり、冬期間は室内を暖房していない。屋根雪の断面観測は2014年2月24日に行い、棟から40cm毎に南面および北面の屋根における屋根上積雪深、積雪重量、積雪密度、積雪温度を測定した。ただし、南面の軒先(+240cm)では融雪が進んでいたため観測できなかった。観測時における平均外気温は-1.1、建物内の平均室温は1.4であった。地上積雪は2013年11月26日から根雪になり、屋根雪観測日における地上積雪は71cmであった。

観測結果

図5に屋根上積雪深、積雪重量を示す。屋根上積雪深は棟付近(±0cm)で最も小さく、棟から軒先に向かって積雪深は大きくなった。北面では60cm、南面では57cmでほぼ一定であったが、南面の軒先付近では融雪により積雪深がやや小さかった。なお、降雪時の卓越風向は西が多く南北軸の吹き溜まりの影響は小さく、雪止めがあるため屋根雪の滑動はない。屋根上積雪重量は積雪深と同様に棟付近(±0cm)で最も小さかった。北面では棟から離れると積雪重量が大きくなり軒先付近では小さくなったが、南面では各観測点における差は小さく、約134kg/m²であった。各観測点の積雪重量を平均すると136kg/m²となり、地上積雪重量(181kg/m²)の0.75倍であった。

図6に屋根上積雪温度の鉛直分布を示す。北面、南面ともに屋根面付近および積雪表面では約0、10~40cmでは-4~-3であった。また、40cm以上の高さでは、日射の影響により北面よりも南面の積雪温度の方が全体的にやや高い傾向にあった。

図7に屋根上積雪密度の鉛直分布を示す。北面、南面ともに屋根面付近では約300kg/m³であったが、積雪表面付近では、北面では100~200kg/m³、南面では200~300kg/m³であった。南面では日射により積雪表面が融雪し含水率が大きくなったため、積雪密度も大きくなったと考えられる。

(3)屋根積雪多層熱収支モデルの高度化

図8に数値モデルの概念図を示す。研究代表者がこれまでに開発した屋根積雪の数値モデルに、主に雪崩分野で開発されている積雪内部における融雪水の水分移動モデルを組み込み、数値モデルを作成した。数値計算は大きく分けて、1)降雪量等の計算、2)圧密の計算、3)温度の計算、4)熱収支の計算、

5)融雪量・再凍結量の計算、6)水分移動の計算の6つから構成される。水分移動はダルシー則に基づき計算を行い、飽和透水係数はShimizu(1970)の式を用い、不飽和透水係数はvan Genuchtenモデルを用いて与えた。

雪質を考慮した屋根雪実験の結果を用いて、数値モデルの妥当性を検証したところ、融雪水量の実験値と計算値は概ね一致することを確認した。



写真3 観測対象建物

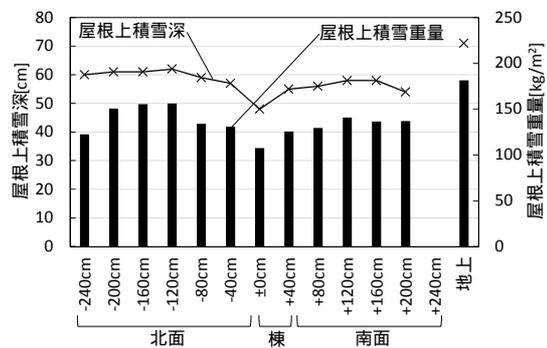


図5 屋根上積雪深、積雪重量

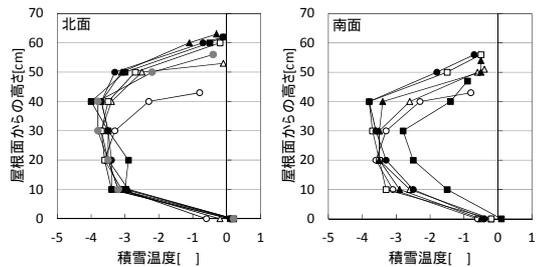


図6 屋根上積雪温度

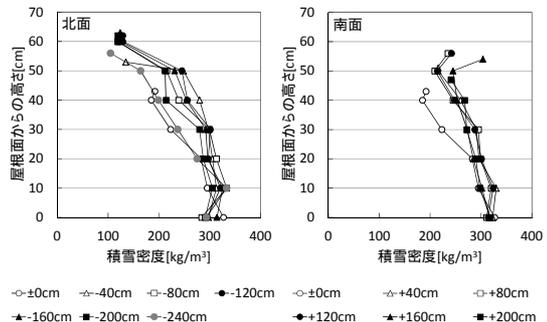


図7 屋根上積雪密度

(4) 屋根積雪多層熱収支モデルの構築

数値モデルの実建物への適用可能性を検証するため、旭川における実建物を対象に数値計算を行った。気象データには、気象庁観測によるデータを用いた。入力条件（降雪量の計算）をチューニングすることで、屋根上積雪深などの観測値と計算値は概ね一致することを確認した（図9）。これより、本研究で開発した数値モデルの実建物への適用可能性を明らかにした。

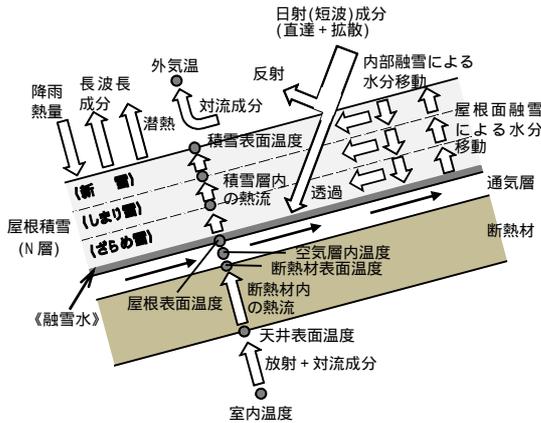


図8 数値モデルの概念図

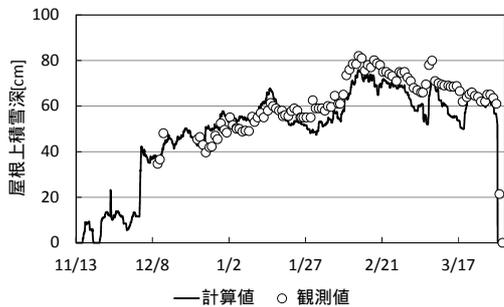


図9 屋根上積雪深の比較

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

阿部佑平, 高倉政寛: 雪質の違いを考慮した屋根雪の融雪係数, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015.9.16, 信州大学(長野県松本市)

阿部佑平, 堤拓哉: 建物の熱的影響と気象条件による雪質の変化を考慮した屋根積雪多層熱収支モデルの開発 その6 勾配屋根を有する実建物の屋根雪観測, 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014.9.21, 八戸工業大学(青森県八戸市)

〔その他〕

<http://www.hro.or.jp/list/building/research/nrb/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 佑平 (ABE, YUHEI)

地方独立行政法人北海道立総合研究機

構・建築研究本部北方建築総合研究所・研究職員

研究者番号: 70614147

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし