

建築物における構造部材の着雪・落雪に関する研究

Study on snow accretion and its falling with structural members on buildings

佐藤 雄輝* 千葉 隆弘** 苫米地 司***
大塚 清敏† 田畑 侑一†Yuki Sato, Takahiro Chiba, Tsukasa Tomabechi,
Kiyotoshi Otsuka, Yuichi Tabata,

Abstract

In this study, we conducted field observation and experiment using small model wall for snow accretion on buildings. The field observation was conducted in 2 types of member's section which shape is square and circular. The depth of snow accretion was measured by photogrammetry using digital images. At the same time, water content of snow was observed. As the results, depth of snow accretion in each type depended on the water content and snowfall amount. For high speed of wind, the depth on the small member was small compared to the large member. This means that the depth decreased with collision speed of snow particles increase. In addition, the accretion shape on square member depended on wind direction.

The snow falling experiment was conducted using small model wall a freeze snow. The water content between snow and the model surface was set 10 to 60%. The temperature behind the model was measured using Infrared camera. As the results, the falling condition was affected by distribution reached above 0°C. The ratio of its distribution increased with the water content increase. This means that the area adhered water increased with the water content increase. As stated above, it was found that both of snow accretion and its falling are affected by the water content.

1. はじめに

近年, 建築物の高層化やデザインの多様化に伴い, 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。構造部材が屋外へ露出した塔状の建築物の場合, 構造部材一つ一つに着雪が発生し, それが落雪することによって人的・物的被害が発生している。このようなことから, 関東地方においても雪に対する備えの重要性が指摘されたとともに, 高層建築物への着雪対策が必要不可欠であるといえる。建築物への着雪対策は, 電気ヒーターやネットを用いて着雪量を制御する方法や, 落雪が発生する場合は巡回警備を行い周囲へ注意を呼び掛けなどが挙げられる。しかし, これらの対策では不十分であり, 人的被害は防げても, 建物への被害は防ぐのが難しいのが現状である。そのため, 構造部材の着雪箇所および着雪量の推定や, 着雪の落下条件の検討などの, 着雪対策の基礎的研究を行う必

要がある。

着雪対策に関する既往の研究をみると, 道路標識の着雪対策を対象とし, その傾斜角度で着雪量を制御する研究や⁽¹⁾, 着雪面の粗面粗さおよび撥水性・親水性⁽²⁾など, 材料の表面性状と着雪状況との関係についての研究が進められている。しかし, 着雪時の雪質やその発達メカニズムなどの基本特性に関する研究は少ないのが現状である。このようなことから筆者らは, 単純形状をした構造部材を対象に吹雪風洞施設を用いた着雪実験を行った⁽³⁾。その結果, 雪粒子の部材への衝突率および着雪率は, 雪粒子の衝突速度および角度に依存すること, さらに, 湿った雪ほど着雪量が増加することを明らかにした。一方, 構造部材を対象とした屋外観測については, 事例が少なく, 苫米地ら⁽⁴⁾が行った研究のみである。従って, 筆者らの着雪実験で得られた結果は, 屋外観測のデータに基づいて検証する必要がある。一方,

* 北海道科学大学大学院建築工学専攻 大学院生

** 北海道科学大学工学部建築学科

*** 北海道科学大学

† 株式会社大林組技術研究所

落雪に関する既往の研究をみると、勾配屋根からの落雪、すなわち、傾斜面を対象とした研究が中心であり⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾、垂直面にある着雪の落下を対象とした研究は、十分に行われていない。

このようなことから本研究では、構造部材における着雪とその落下に関する基本性状を把握することを目的に、先ず、単純形状をした構造部材を対象とした屋外観測を行った。次に、垂直面の着雪を対象とした落雪実験を行った。

2. 屋外観測

2.1 観測方法

本研究で対象とした構造部材を表1に示す。表のように、観測の対象とした構造部材は、北海道札幌市手稲区の北海道科学大学構内にある円柱（鋼材）、円柱（RC）、および角柱（鋼材）の3種類である。これらの構造部材は、その周辺に他の建物が存在するものの、冬期の主風向となる西北西から北北西にかけて30m以上開けた場所にある。各構造物の表面仕上げは、円柱（鋼材）が塗装仕上げ、円柱（RC）はコンクリート素地、角柱（鋼材）は溶融亜鉛メッキである。観測期間は、2014年12月～2015年2月の間に行い、日射による影響を少なくするため降雪が開始した時間から翌日の7:00～8:00の間に行った。本観測では、各構造部材の着雪状況を写真撮影するとともに、Autodesk製の123D Catchを用いて着雪表面の3Dメッシュをモデル化し、そのメッシュから着雪深さを測定した。また、着雪時の含水率を河島ら⁽⁷⁾の熱量式による方法にもとづいて測定した。観測期間中の気象特性は、最寄りの気象観測点である山口アメダスの観測データを用いて分析した。なお、山口アメダスでは積雪の観測を行っていないため、降水量のデータを用いて降雪状況を判断した。

2.2 観測結果

2.2.1 着雪状況の観測結果

本研究では18回の観測を実施し、そのうち9回は3種類の構造部材いずれかが着雪したのを確認した。図1に、着雪の有無ごとに観測時の平均風速と平均気温の関係を示す。なお、図中の平均気温および平均風速は、その日の降雪が始まった時間から観測を行った時間までの平均値とした。図のように、観測時における平均気温の上昇にともない平均風速が増加する関係を示し、平均気温が0℃以上で着雪

表1 観測の対象とした構造部材

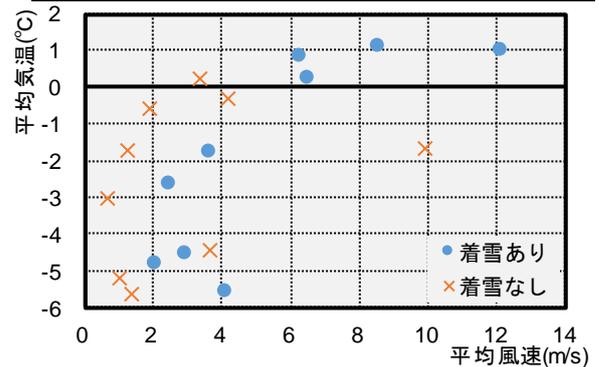
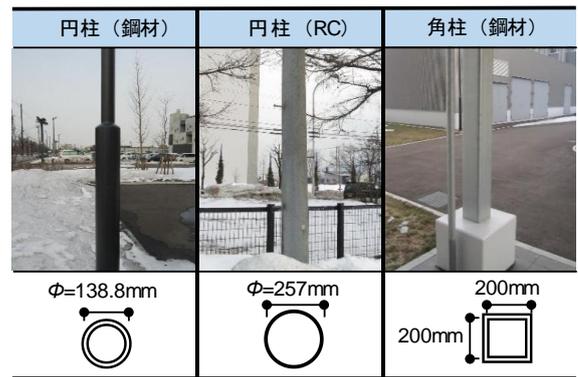


図1 観測時の風速と気温の関係

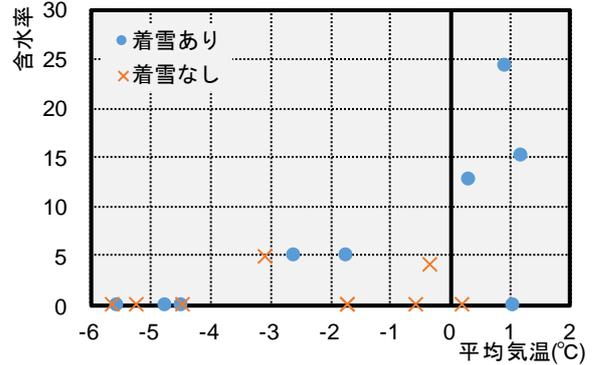


図2 平均気温と含水率の関係

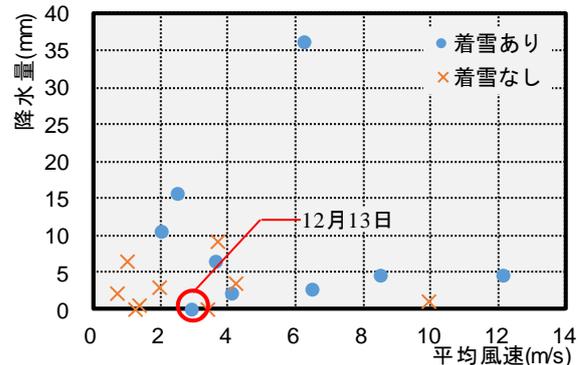


図3 平均風速と降水量の関係

が発生しやすい傾向を示している。

図2に、平均気温と含水率との関係を示す。図のように、平均気温の上昇にともない含水率が増加する関係を示している。このことから、平均気温と含水率は比例関係にあり、平均気温が高いほど湿った雪が降ることが予想できる。

図3に平均風速と降水量との関係を示す。図中の降水量は、その日の降雪が始まった時間から観測を行った時間までの合計値とした。なお、2014年12月13日の降水量が0mmとなっているものの、積雪の観測を行っている札幌管区気象台では3cmの降雪量を記録していた。このことから、この日においては山口アメダスにおいても同様の降雪があったとした。図のように、両者に明瞭な相関関係が見られないものの、降水量が10mm以上になると風速が2m/sと小さい場合においても着雪が発生しやすくなる傾向にある。以上の結果をみると、含水率が大きいほど着雪しやすく、気温に加えて降水量の影響も大きいことがわかる。

2.2.2 着雪深さと気象特性の関係

図4に、123D Catchを用いてモデル化された3Dメッシュの各構造部材の着雪断面形状を示す。なお、図中のY軸は冬期間の主風向である北西—南東軸とした。また、各着雪断面に着雪日を示すとともに、円柱部材の場合はその日の平均風速を、角柱部材の場合はその日の降雪が発生した時の最多風向を括弧書き示した。図のように、円柱（鋼材）をみると、いずれの着雪日においても丸みを帯びた三角形の断面形状を成しているものの、その着雪深さは観測日ごとに異なっている。円柱（RC）の場合をみると、着雪の断面形状は円柱（鋼材）に比べて大きい場合、着雪深さが小さい傾向を示す。着雪対象物が小さい場合、着雪形状は丸みを帯びた三角形を成しているが、これに対し、着雪対象物が大きい場合、着雪形状は着雪表面に広がるような形状を成している。これは、着雪の初期段階においては着雪幅から発達し、その後着雪深さが増加するため、部材幅が小さい円柱（鋼材）の場合、円柱（RC）に比べ着雪幅が先に発達し、着雪深さが増加したと思われる。また、同じ形状の円柱部材でも着雪日にそれぞれ違いがみられる。例えば、円柱（鋼材）の着雪が観測された日の風速をみると、5.0m/sを下回る日が多く、着雪が確認された6日分の着雪日の平均風速は3.6m/sとなっている。これに対し、円柱（RC）の場合、風速が6.0m/sを上回る日が多く、6日分の着雪日の平均風速は6.5m/sと、円柱（鋼材）よりも大きい値となった。これは、着雪対象物が小さい場合、強風の伴った降雪が発生すると、雪粒子が着雪面に衝突する際の速度が大きくなり、着雪面で雪粒子が弾かれるまたは碎かれるため、着雪日の平均風速が小さい日において着雪が観測されたと推測される。これに

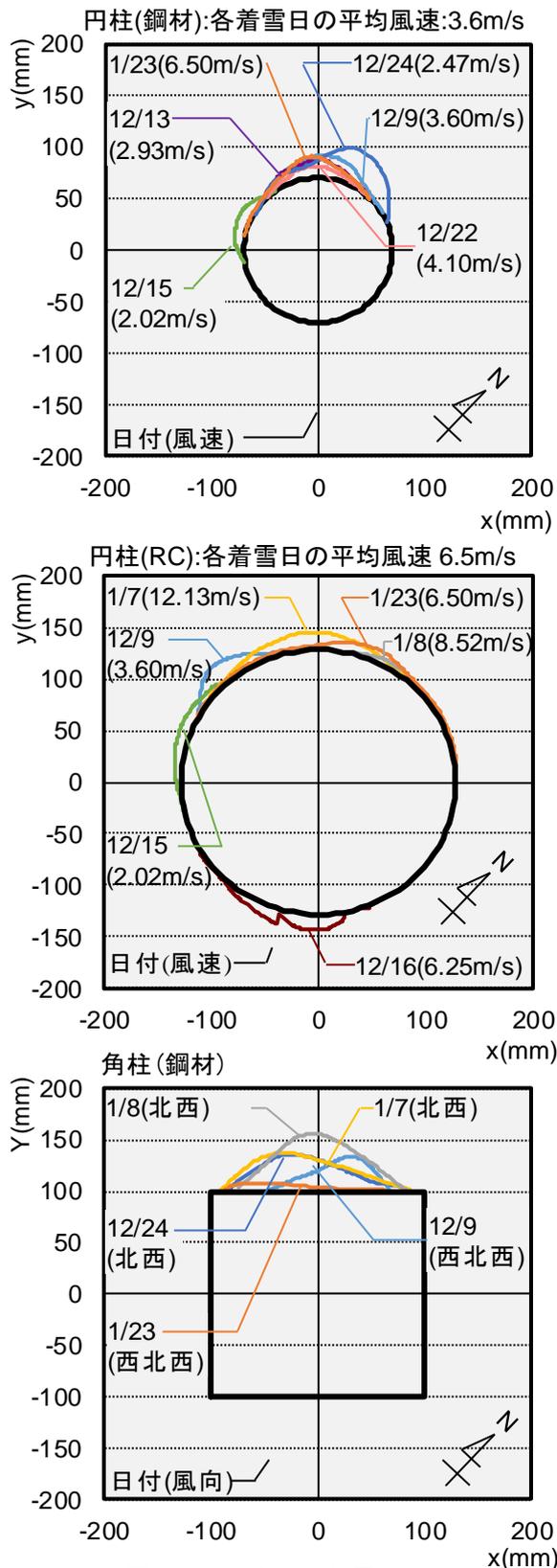


図4 各構造物の着雪断面形状

対し、着雪対象物が大きい場合、着雪面近傍の淀み領域が大きくなり、雪粒子が着雪面に到達するにはそれなりの速度が必要であるため、降雪にともない平均風速が大きい日に着雪が観測された。一方、角柱（鋼材）の場合をみると、着雪深さは風向に影響

され、着雪面に対して斜め方向からの風向であったと思われる。そのため、着雪日ごとに着雪断面の頂点部の方向が異なっており、着雪量にも違いがみられる。これらのことから、同じ部材形状でも大きさが異なる場合、着雪日は風速の影響を受けることがわかる。また、角柱などの着雪面が平らな場合、風向により着雪形状や着雪深さに影響がみられる。

図5に、着雪日の気象条件と着雪深さとの関係を示す。なお、着雪深さは、着雪形状の頂点から部材着雪面までの最大値とした。また、着雪が観測された日の中で着雪が観測されなかった構造部材の着雪深さを0mmとして図に表記している。含水率と着雪深さの関係を見ると、角柱（鋼材）の1月23日を除けば、いずれの構造部材においても、概ね含水率の増加にともない着雪深さが増加する関係にある。また、降水量と着雪深さとの関係を見ると、円柱（鋼材）および円柱（RC）の場合は、降水量の増加にともない着雪深さが増加する傾向にある。これに対し、角材（鋼材）の場合をみると、明瞭な相関関係がみられない。これは、着雪深さが風向に依存しているためであると考えられる。しかし、角柱の1月23日の降水量は、他の角柱が着雪した日と比べ降水量は2.50mmであり少ないのが分かる。このことから、角柱の着雪深さは、風向による影響の他に降水量による影響も考えられる。次に、平均風速と着雪深さの関係を見ると、円柱（鋼材）の場合、平均風速の上昇とともに着雪深さが減少する傾向にある。また、平均風速が6m/s以上では着雪が発生していないのが確認できる。さらに、円柱（RC）の場合をみると、平均風速と着雪量に明瞭な関係がみられないが、平均風速が6m/sを上回った場合は、着雪深さが0mmの日が確認されていないのがわかる。角柱（鋼材）においては、降水量の少ない1月23日のデータを除いた場合、概ね平均風速が上昇するにともない着雪深さが増加する傾向にある。以上の結果から、角柱（鋼材）では風向の影響が大きいと考えられ、円柱部材においては、含水率および降水量が着雪量に及ぼす影響が大きい傾向にある。すなわち、気温が高く湿った雪であればあるほど、さらには、飛雪の空間濃度が高く、まとまった降雪ほど着雪量が増加すると言える。

3 落雪実験

3.1 実験方法

落雪実験は、北海道札幌市手稲区にある北海道科

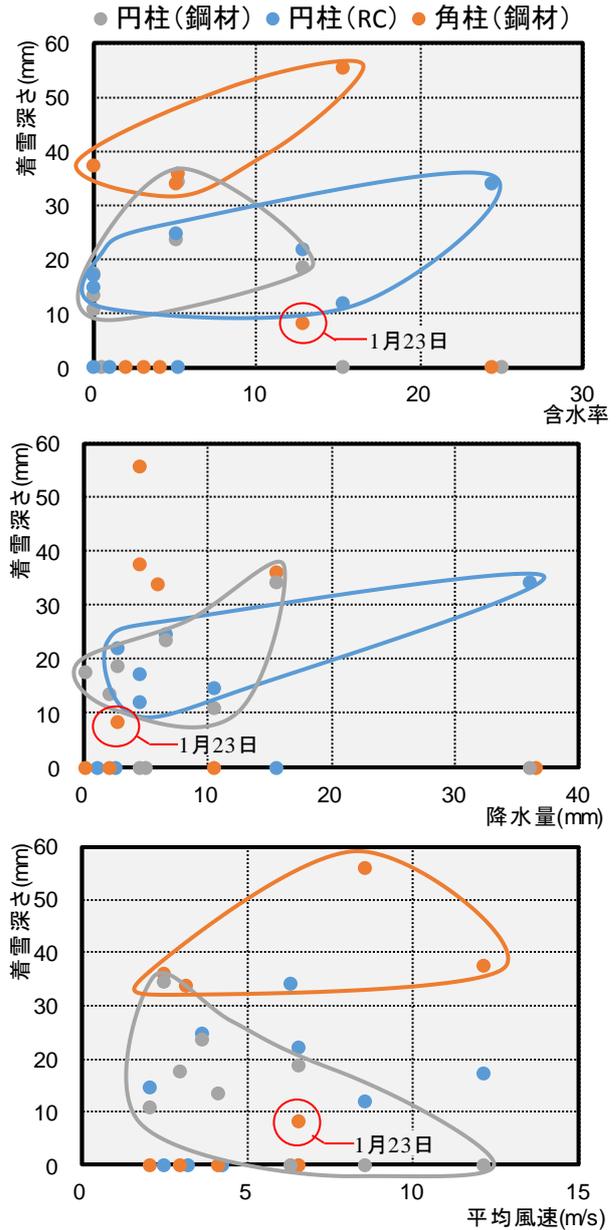


図5 各気象条件と着雪深さの関係

学大学が所有する低温実験室および、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実験室を用いて実施した。試験体および着雪方法の概要を図6に、実験シリーズの概要を表2に示す。図のように、試験体には、300×300mmの亚克力板を用い、その着雪面は、やや撥水性が高くなるように塗装した。このような試験体に大きさ150×150mm、深さ30mmの自然雪（新庄市で行った実験では人工雪）を凍結付着させた。着雪方法は、まず、試験体と雪の界面（厚さ3mm程度）に10～60%の範囲で含水率を変化させた凍着部を設け、その上に含水率0%の雪をふるいで載せて試験体に着雪させた。なお、着雪させる際の実験室温度は-5℃とし、その温度条件で12時間以上放置して十

分に凍結付着させた。写真1に、カメラ位置および実験状況を示す。図のように、試験体を5℃の実験室で垂直に固定し、落雪状況をデジタルカメラおよびサーモカメラを用いて観察した。デジタルカメラは、試験体の真横に設置し、着雪が落下するまでの様子を撮影した。サーモカメラは2台用い、着雪表面および試験体裏側のそれぞれの温度分布を20秒インターバルで連続的に撮影した。

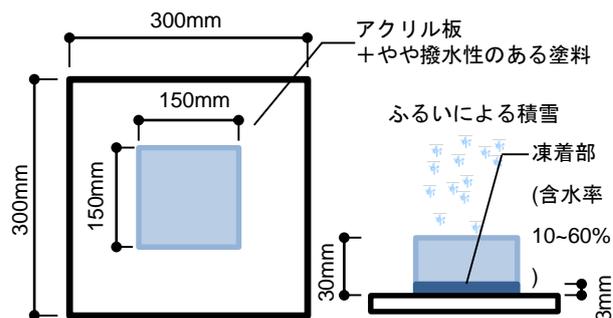


図6 試験体および着雪方法の概要

表2 実験シリーズの概要

含水率 (%)	実験回数 (回)	着雪深さ (mm)	凍着時間	凍着温度 (°C)	室温 (°C)
10	1	30	12h以上	-5	5
20	6				
30	1				
40	13				
60	3				

3.2 実験結果

3.2.1 含水率と落雪時間

図7に、含水率と落雪時間との関係を示す。なお、落雪時間は、試験体を垂直に固定してから着雪が完全に落下するまでの時間とした。落雪実験は、含水率10%が1回、20%が6回、30%が1回、40%が6回、60%が3回、合計19回を行った。図のように、含水率と落雪時間との関係を見ると、含水率の増加にともない落雪時間が増加する傾向がある。含水率20%の落雪時間は400~650secであり、これに対し、含水率60%の落雪時間は1100~1600secとなり、両者の差は明瞭である。雪の凍結付着は、着雪界面の水分が凍ったものであり、含水率が大きい雪ほど着雪界面での付着面積が増加したため、落雪時間が増加したものと考えられる。

3.2.2 含水率ごとの界面温度の推移

サーモカメラを用いて撮影した試験体裏側の熱画像を時間履歴で表すと図8になる。図のように、試験体および着雪は、時間の経過に伴い周辺部から温度が上昇しているのがわかる。着雪範囲における中心部の温度に着目すると、160秒で-1.0℃まで急上昇し、340秒で0℃近傍まで上昇した。その後、温度の上昇は緩やかになり500秒の0.4℃で落雪に至った。340秒~500秒の間は試験体と着雪界面の雪が融雪しているため、0℃近傍で温度の上昇が緩やかになったと思われる。

図9に、熱画像を用いて整理した着雪範囲内における温度分布の時系列を示す。含水率10%の場合をみると、実験開始から270秒後に落雪し、そのときの温度分布をみると、全体の2割が0℃以上の状態であった。含水率20%の場合をみると、全体の8~10割が0℃以上になった際に落雪した。これに対し、含水率40%および60%の場合をみると、全体が0℃以上に到達しても落雪に至っておらず、しばらくその状態を維持したまま1℃以上で分布し始めた際に落雪が発生する傾向にある。以上の結果をみると、

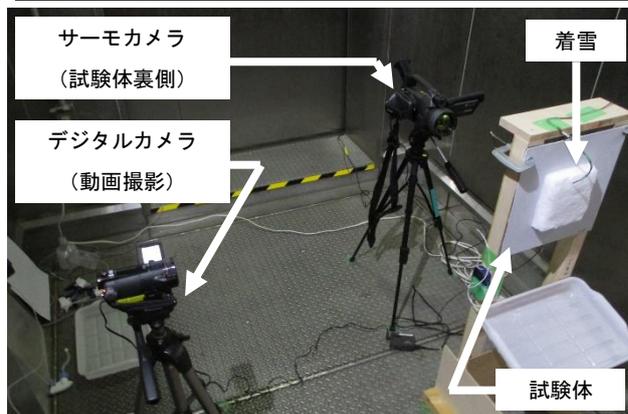


写真1 カメラ位置および実験状況

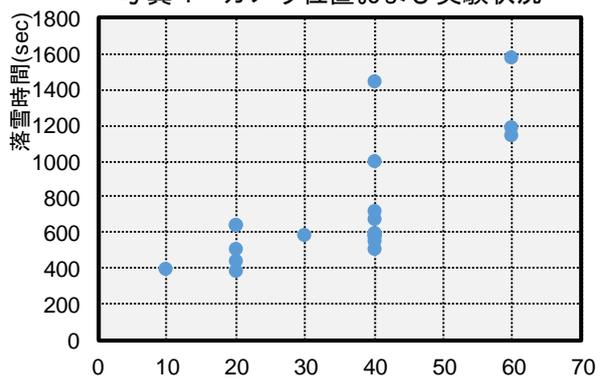


図7 含水率と落雪時間の関係

着雪の落下条件は、着雪界面の0℃以上の温度分布に影響を受け、含水率が低い雪が着雪した場合、着雪界面の付着面積が小さくなり、その分着雪界面の落雪にいたるまでの融雪量も少なくなるため、0℃の温度分布が少ない場合でも落雪にいたると思われる。これに対し、含水率が高い雪が着雪した場合、付着面積が大きいためその分0℃以上の温度分布も

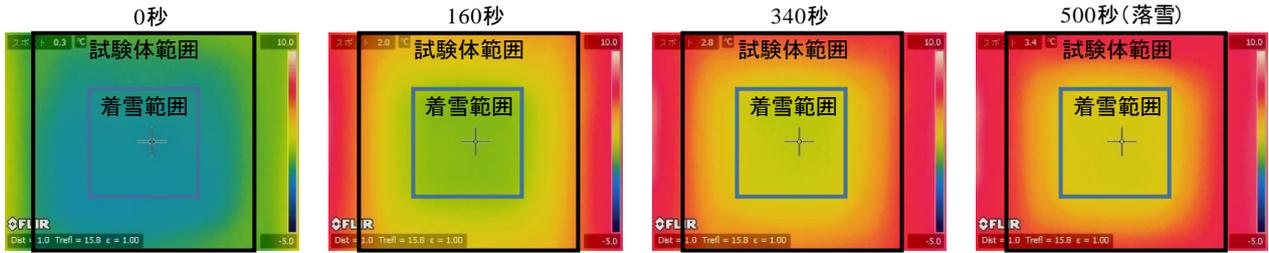


図8 熱画像の時間推移

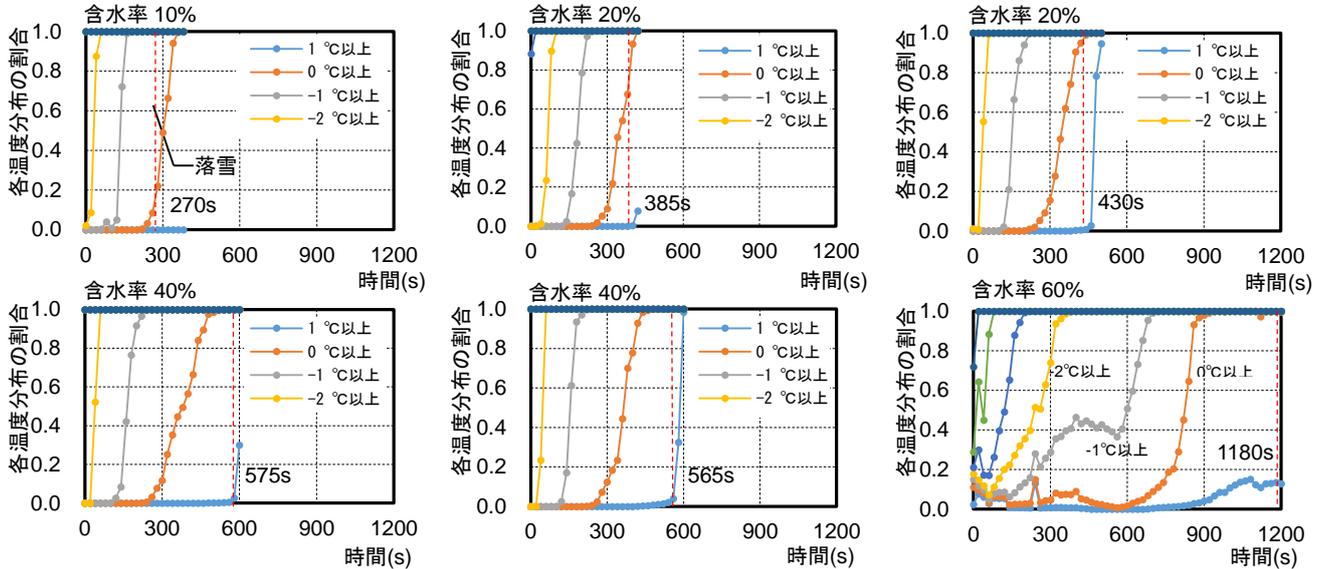


図9 着雪範囲内における温度分布の時系列

多くなる傾向にある。

面性状ごとの落雪条件を検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、構造部材における着雪とその落下に関する基本性状を把握することを目的に、屋外観測および、落雪実験を行った。

その結果、屋外観測の場合、含水率が大きいほど着雪が発生しやすく、また、同じ部材形状でも大きさが異なる場合、着雪の有無は風速が影響する傾向にある。着雪量は、部材形状により影響する気象条件に違いがみられ、円柱部材においては、含水率および降水量が大きく影響を及ぼす。角柱部材などの着雪面が平らな場合、風向に依存する傾向にあることが明らかになった。これらの結果は、建築部材への着雪箇所や着雪量を推定するための重要な知見になると考えられる。

着雪界面の含水率を変化させた落雪実験では、含水率が高いほど、落雪に至るまでの時間が増加するとともに、着雪界面が0°C以上で分布する割合が落雪に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。すなわち、気温が0°C以上になったことに加えて、0°C以上の継続時間を考慮して着雪の落下条件を捉える必要があることが分かった。今後は、材料の表面性状、特に、接触角と凍結付着面積との関係を検討し、表

【参考文献】

- (1) 竹内政夫, "道路標識への着雪とその防止", "雪氷", 40巻, 3号, 1978, pp.15-25
- (2) 吉田光則, 金野克美, 山岡勝, 近藤考, 浅井規夫, 佐竹正治, 藤野和夫, 堀口薫, 水野悠紀子, "着雪氷防止技術に関する研究(1)-各種材料の着氷力について-", "北海道の雪氷", 第12号, 1993, pp.24-26
- (3) 田畑侑一, 大塚清敏, 千葉隆弘, 佐藤研吾, 佐藤雄輝, 苫米地司, "異なる雪質に対する単純形状部材への着雪実験", "日本建築学会大会学術講演会梗概集", 2015, pp.103-104
- (4) 苫米地司, 千葉隆弘, 佐藤威, 堤拓哉, 高橋徹, 伊東敏幸 "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", 第76巻, 第659号, 2011, pp.45-52
- (5) 苫米地司, 高倉政寛, 伊東敏幸, "屋根葺材の表面粗さが滑雪現象に及ぼす影響", "日本雪工学会誌", Vol.12, No.3, 1996, pp.205-211
- (6) 西村清志, 苫米地司, 伊藤敏幸, 千葉隆弘, 高倉政寛, "多雪地域における屋根雪障害の実態とその対策手法について", "日本建築学会北海道支部研究報告集", No.82, 2009, pp.365-368
- (7) 河島克久, 遠藤徹, 竹内由香里, "熱量式による簡易積雪含水率計の試作", "防災科学技術研究所研究報告", 第57号, 1996, pp.71-75