

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04716

研究課題名(和文)北海道における雪下ろしによる事故ゼロを目指した雪庇推定手法の確立

研究課題名(英文) Establish of estimating method for snow cornice aimed to reduce accident caused by snow removal on roofs

研究代表者

千葉 隆弘 (Takahiro, Chiba)

北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号：40423983

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、北海道における屋根雪に起因する人身事故ゼロを目指した屋根雪対策を検討することを目的に、雪下ろしの動機となっている建築物軒先における雪庇の形成メカニズムを明らかにするための吹雪風洞実験および屋外観測を行った。吹雪風洞実験では、雪庇の再現実験を行い、雪庇の風速依存性を明らかにし、軒部の風速から軒部の積雪率を推定する経験式を導出した。屋外観測では、2階建ておよび3階建て建築物を対象に空撮画像を撮影して屋根上積雪深の写真測量を行った。その結果、風速が小さいほど雪庇が形成されることを確認した。吹雪風洞実験と屋外観測の結果を用いて気象データから屋根上積雪深を推定する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、雪庇形成の風速依存性を明らかにし、気象データを用いて屋根上積雪深を推定して雪庇の形成箇所を明らかにすることを可能にしたことである。これは、雪庇の危険性を明確にし、危険な雪庇のみを処理することで雪下ろしによる事故を低減することが可能となる。また、市街地では屋根面の気流が乱れ、冬期主風向の風下側に雪庇が形成されるとは限らないが、本研究で得られた成果によって雪庇の形成箇所を適正に予測することが可能になり、雪庇の危険性を適正に評価することが可能になる。以上のことから、本研究の成果は、北海道における安心・安全な冬期の生活に資するものであり、社会的意義は大きいものであると考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, the purpose of this study is to study measures against roof snow that aims to eliminate accidents resulting in injury or death due to roof snow in Hokkaido. Experiments and outdoor observations were conducted. In the snowstorm wind tunnel experiment, a cornice reproduction experiment was conducted to clarify the wind speed dependence of the cornice, and an empirical formula for estimating the snow accumulation rate of the eaves from the wind speed of the eaves was derived. In outdoor observation, aerial images were taken of two-story and three-story buildings, and photogrammetry of the snow depth on the roof was performed. As a result, it was confirmed that the smaller the wind speed, the more the cornice was formed. We constructed a method to estimate the snow depth on the roof from meteorological data using the results of snowstorm wind tunnel experiments and outdoor observations.

研究分野：建築構造

キーワード：陸屋根建築物 雪庇 冬期の人身事故 北海道

1. 研究開始当初の背景

北海道における雪による人身事故は、毎年のように発生している。大雪となった冬期は事故件数が増加するが、平年並み、あるいはそれよりも少ない積雪となった冬期においても、雪による死傷者はゼロになっていない。こうした北海道における雪による人身事故の内訳をみると、屋根の雪下ろしに起因する事故が全体の約6割を占めている。しかし、北海道では、建築基準法施行令第86条第6項の「雪下ろしの習慣のある地方」と認めていない。すなわち、雪下ろしによる積雪荷重の低減を考慮せずに設計しているにも関わらず雪下ろしが行われているのが実態である。既往の研究では、北海道における雪下ろしの実態を把握することを目的に北海道岩見沢市とその周辺で調査を行っており、屋根の軒先に形成された雪庇を除去するために屋根に上がっている実態が報告されている。このように、屋根の積雪荷重だけでなく、雪庇の形成が雪下ろしの動機に繋がっている。

一般的に、雪庇の形成箇所は風下側の軒先であり、札幌市のような冬期の主風向が北西の場合、雪庇は南東側の軒先に形成される。しかし、低層から中層、高層建築物が立ち並ぶ市街地においては屋根面の高さが異なっており、気流の乱れによって雪庇の形成箇所が必ずしも冬期主風向の風下側とは限らない。雪庇の形成メカニズムを明らかにするとともに、雪庇の形成箇所を適正に予測することによって落雪リスクを可能な限り低減する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、北海道における屋根雪に起因する事故ゼロを目指すことを目的としている。具体的には、吹雪風洞実験や屋外観測を通じて雪庇の形成メカニズムを明らかにするとともに雪庇の形成箇所を適正に推定する方法を構築し、雪庇による事故リスクを可能な限り低減することを目的としている。

3. 研究の方法

3.1 雪庇の形成メカニズムに関する吹雪風洞実験

本研究では、雪庇の形成メカニズムを明らかにすることを目的に、吹雪風洞装置を用いた雪庇の再現実験を行った。雪庇の再現実験は、写真3.1に示すように、北海道科学大学が所有する自然雪風洞実験装置を用いた。本風洞実験装置は、エッフェル式の風洞装置であり、測定洞の長さが7m、測定洞の断面が1m×1mである。このような測定洞に $W = 1.0$ m× $D = 1.0$ m× $H = 0.3$ mの木製の陸屋根試験体を設置し、雪庇の再現実験を行った。陸屋根試験体にはあらかじめ深さ0.2mの新雪を堆積させ、測定洞風上側上面から新雪を測定洞に供給することによって吹雪現象を再現した。実験風速は、 $U = 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 7.0$ m/sとし、試験体軒部における雪粒子の挙動をハイスピードカメラで撮影するとともに、実験時間3分、5分、および10分で形成された雪庇の形状を写真測量した。さらに、実験後において、雪庇の積雪密度を測定した。このような実験で得られた結果に基づいて、軒部の風速と雪粒子の挙動、雪庇の大きさ、および積雪率との関係について分析した。

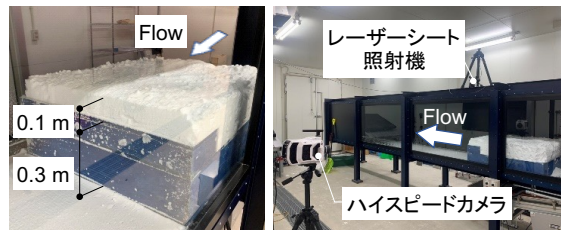


写真3.1 吹雪風洞実験の実施状況



3.2 雪庇の屋外観測

本研究では、前述の吹雪風洞実験で得られた雪庇の形成状況を検証することを目的に、雪庇の屋外観測を行った。観測の対象とした陸屋根建築物は、写真3.2に示すように、北海道科学大学7号館および8号館とした。7号館および8号館東棟は3階建てであり、これらの間に2階建ての8号館西棟が配置されている。このように、8号館西棟の屋根面は周囲



写真3.2 吹雪風洞実験の実施状況

に比べて1層低い状態にあり、例年、軒先に雪庇が形成されている。本観測では、8号館西棟および東棟のそれぞれの屋根面に設置した風向風速計により測定を行うとともに、地上に監視カメラを設置して雪庇の形成状況を観測した。また、降積雪あるいは吹雪が発生した後の晴れの日、小型UAVにより7号館、8号館西棟、および8号館東棟における積雪した屋根面を空撮し、屋根上積雪の写真測量を行った。このような屋外観測で得られた結果に基づいて、雪庇および屋根上積雪深の風速依存性を検討した。

4. 研究成果

4.1 試験体軒部の風速と雪粒子の挙動との関係

吹雪風洞実験では、実験風速ごとに、試験体軒部における雪粒子の挙動をハイスピードカメラで1秒間撮影し、その映像をPTV解析して雪粒子のベクトルを求めた。なお、風速計を用いて試験体軒部の風速をあらかじめ測定した。

軒先における雪面から高さ0.1mの鉛直面を通過する雪粒子の水平方向の流速と試験体軒部の風速とを比較すると、概ね近似しており、実験風速ともほぼ同様であった。次に、実験風速と軒先における雪面から高さ0.1mの鉛直面を通過する水平方向の雪粒子の個数との関係をみると、実験風速3.5m/s以上になると通過した雪粒子の個数が急増し、雪面から雪粒子が飛び出す地吹雪の発生と対応していた。これに対し、実験風速と雪面から高さ0.05mにおける軒先から風上側に0.1mの水平面を通過する鉛直方向の雪粒子の個数との関係をみると、実験風速2.5m/sおよび3.0m/sの場合では、当該水平面を通過する雪粒子の個数が多いものの、実験風速3.5m/s以上になると、実験風速の増加に伴い水平面を通過する雪粒子の個数が減少した。

以上の結果をみると、実験風速の増加に伴い鉛直面を通過する雪粒子の個数が減少する関係がみられることから、風速が大きいほど軒部の積雪深が小さくなり雪庇が形成され難くなることを示唆しているものと考えられる。

4.2 実験風速と雪庇の形成状況との関係

吹雪風洞実験では、実験風速ごとに、実験時間3分、5分、および10分における雪庇の形成状況を写真測量した。各実験時間経過後に雪庇の形成状況を100枚程度写真撮影し、AgisoftのMetashapeにより3Dメッシュモデルを生成した。図4.1に、実験時間5分における各実験風速の3Dメッシュモデル生成状況を示す。実験風速2.5m/sをみると、雪庇は形成されずに軒部の積雪が急増する傾向を示した。実験風速3.0m/sをみると、軒先から0.05mほどオーバーハンクした明瞭な雪庇が形成された。実験風速3.5m/s以上においては、実験風速の増加に伴い雪庇の厚さが薄くなり、実験風速5.0m/sで雪庇が形成されなかった。

このように、実験風速の増加に伴い軒部の積雪量が減少し、実験風速5.0m/sに達すると軒部に積雪しなくなることによって雪庇が形成されないことがわかった。また、実験風速が小さいほど軒部に積雪し易くなることによって雪庇が形成されることも明らかとなった。

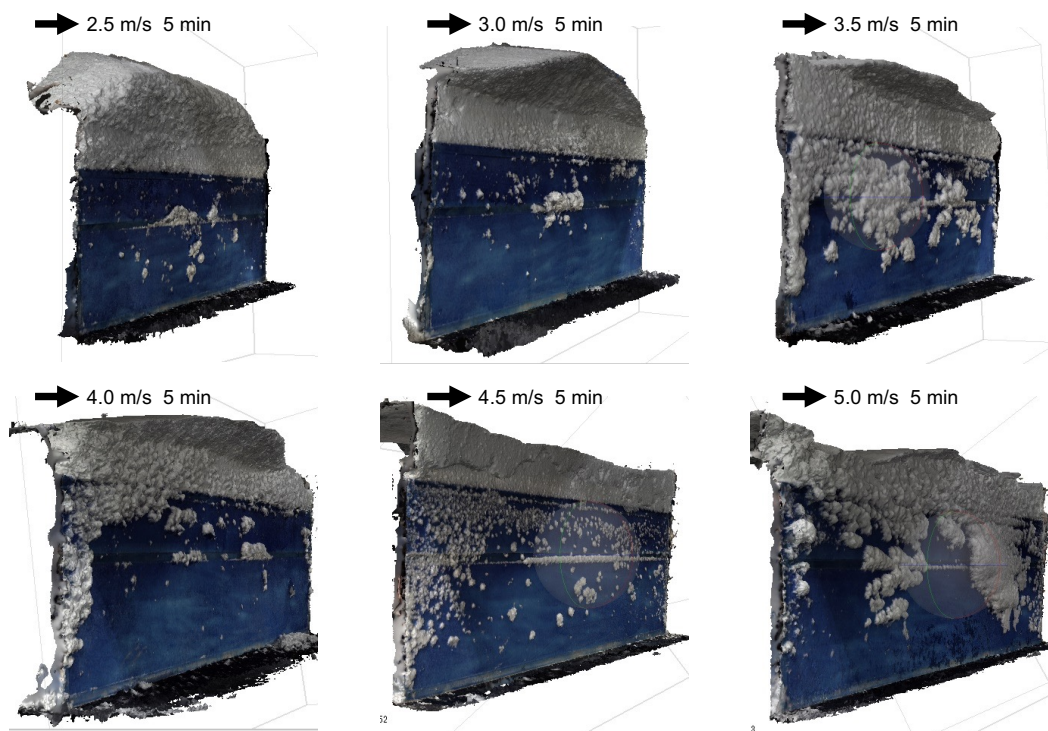


図4.1 吹雪風洞実験で得られた雪庇の形成状況

4.3 風速と軒部の積雪率との関係

事前に測定した実験風速ごとの水平方向および鉛直方向の飛雪流量、雪庇の再現実験における写真測量で測定した軒部の積雪深、および雪庇の積雪密度を用いて軒部の積雪率 S_e/S_0 を求めた。 S_0 は、事前に測定した鉛直方向の飛雪流量を降水量に換算した値である。 S_e は、測定した雪庇の積雪密度を写真測量で測定した軒部の積雪深で除して降水量に換算した値である。ここで、軒部の風速と軒部の積雪率 S_e/S_0 との関係を図 4.2 に示す。2019 年度および 2021 年度における雪庇の再現実験の結果から以下に示す積雪率 S_e/S_0 の算定式 (4.1) が得られた。

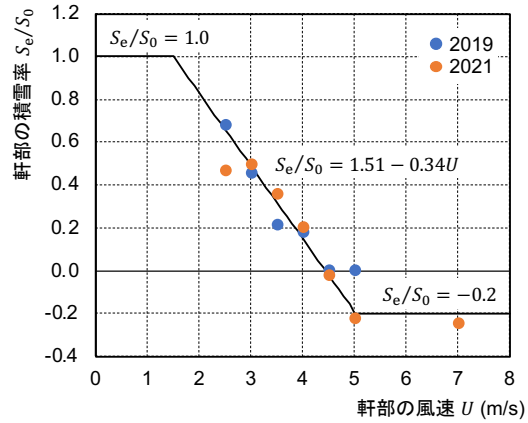


図4.2 軒部の風速と軒部の積雪率との関係

$$S_e/S_0 = \begin{cases} 1.0 & (0 \leq U < 1.5) \\ 1.51 - 0.34U & (1.5 \leq U < 5) \\ -0.2 & (5 \leq U) \end{cases} \quad (4.1)$$

4.4 雪庇の屋外観測

本研究では、吹雪風洞実験で得られた雪庇の形成状況を検証することを目的に、北海道科学大学7号館および8号館を対象として雪庇の屋外観測を行った。2階建ての8号館西棟および3階建ての8号館東棟の屋上に風向風速計を設置し、10分間隔で風向風速を測定した。また、降積雪後あるいは吹雪後の晴れの日には7号館、8号館西棟、および8号館東棟の屋根上積雪を空撮し、500枚程度の空撮画像を用いて Agisoft の Metashape により 3D メッシュモデルを生成した。

2021年2月28日の空撮画像を用いて生成した屋根上積雪の3Dメッシュモデルと2月26日に降に山口 AMeDAS、8号館西棟屋上、および8号館東棟屋上で測定した風向風速・気温の推移を図 4.3 に示す。雪庇の形成状況を見ると、7号館南西側と8号館東棟南東側の軒先に小さな雪庇が形成されているが、8号館西棟における北東側軒部の積雪量が多くなっており、雪庇へと発達した状況が確認できる。8号館西棟における屋上の風向風速をみると、風向は、7号館と8号館東棟の間を抜けるような南西となっており、風速は、1.5~2.0 m/s と8号館東棟の屋上に比べて弱い風速で推移している。このように、8号館西棟における北東側の軒先に雪庇が形成される要因としては、周辺の高さが高い建物が影響して風向が変化し、その変化に伴い風速が小さくなったことであると考えられる。また、風速が小さいほど雪庇が発達する傾向は、前述の吹雪風洞実験の結果と同様であることが明らかとなった。

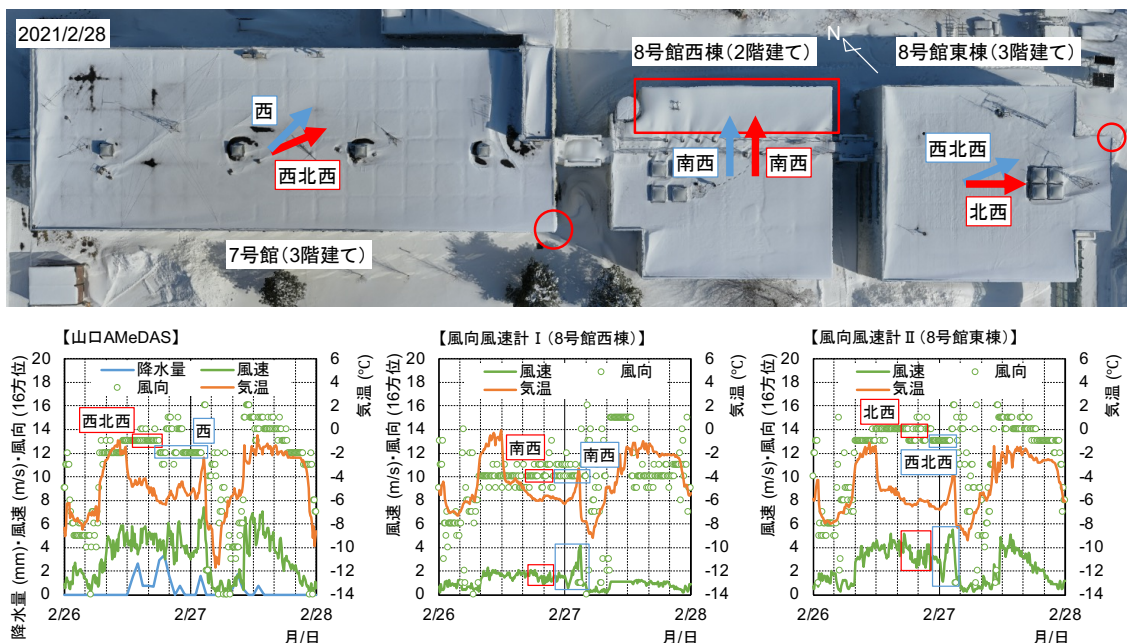


図4.3 雪庇の屋外観測の結果 (2021年2月28日)

4.5 気象データに基づく雪庇形成箇所の推定手法

以上に示すように、吹雪風洞実験では、風速が小さいほど軒部の積雪量が増加し、それに伴い雪庇が発達することが明らかとなり、風速から軒部の積雪率を求める経験式を導出することができた。また、北海道科学大学7号館および8号館を対象とした雪庇の屋外観測では、周辺の高さが高い建物が影響して風速が小さくなる屋上軒部の積雪が増加することによって雪庇へと発達しており、屋外観測においても吹雪風洞実験と同様の傾向となった。

本研究では、気象観測地点の風速および降水量を用いて陸屋根軒部の積雪深を推定する手法を構築することを目的に、8号館西棟および東棟で測定した風速と山口 AMeDAS の降水量を用いて、式(4.1)に基づいた積雪率に従って算定した屋根上積雪深を写真測量により測定した屋根上積雪深と比較した。

8号館西棟および東棟で測定した風速と山口 AMeDAS の降水量を用いて風速区間ごとの累積降水量を算定した結果を図4.4に示す。なお、対象期間は2020年12月1日～2021年3月31日であり、山口 AMeDAS の降水量は、気温2°C未満の降雪である降水量を累積することとし、降水量計の捕捉率を考慮して補正した。また、式(4.1)に基づいて積雪しなかった降水量と吹き払われた降水量を分類した。従って、積雪した累積降水量から吹き払われた累積降水量を減じた屋根の累積降水量 S_r を総累積降水量 S_0 で除すると地上積雪に対する積雪率、すなわち、屋根形状係数 μ_b を求めることができる。8号館西棟の場合をみると、風速が小さく2 m/s未滿の頻度が大半を占めている。屋根の累積降水量 S_r は241.2 mm、総累積降水量 S_0 は264.2 mmであり、屋根形状係数 μ_b は0.91となった。8号館東棟の場合をみると、8号館西棟に比べて風速が大きく、9 m/s程度まで広く分布しており、積もらなかった降水量が多く推定されている。屋根の累積降水量 S_r は112.6 mm、総累積降水量 S_0 は264.2 mmであり、屋根形状係数 μ_b は0.43となった。

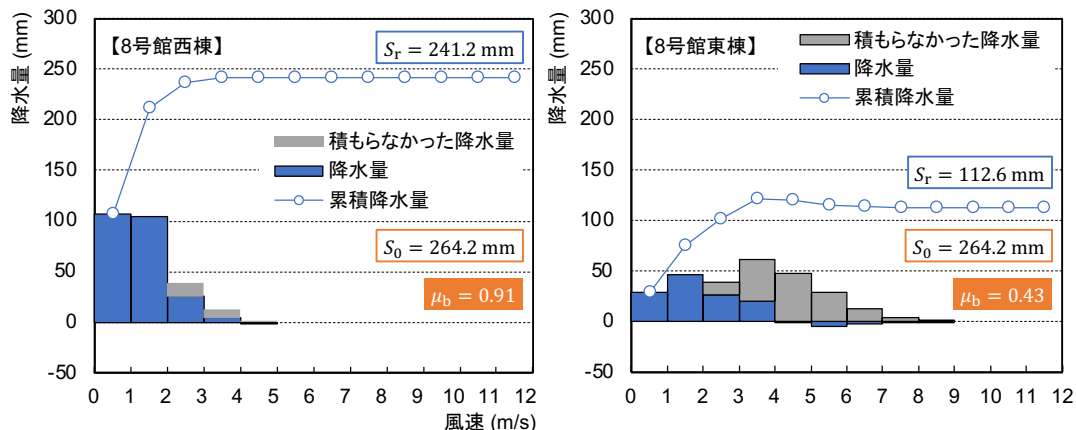


図4.4 風速と累積降水量に基づいて算定した屋根形状係数

2020年度における観測場所の年最大積雪深は94 cmであり、屋根形状係数を乗じて推定した屋根上積雪深と2021年3月4日の写真測量で得られた積雪深とを比較した。その結果を図4.5に示す。8号西棟および東棟のいずれにおいても、推定値と写真測量で得られた軒部の積雪深が近似しており、累積降水量と吹雪風洞実験の得られた積雪率に基づいて算定した屋根形状係数により、陸屋根軒部の積雪深を推定することが可能である。

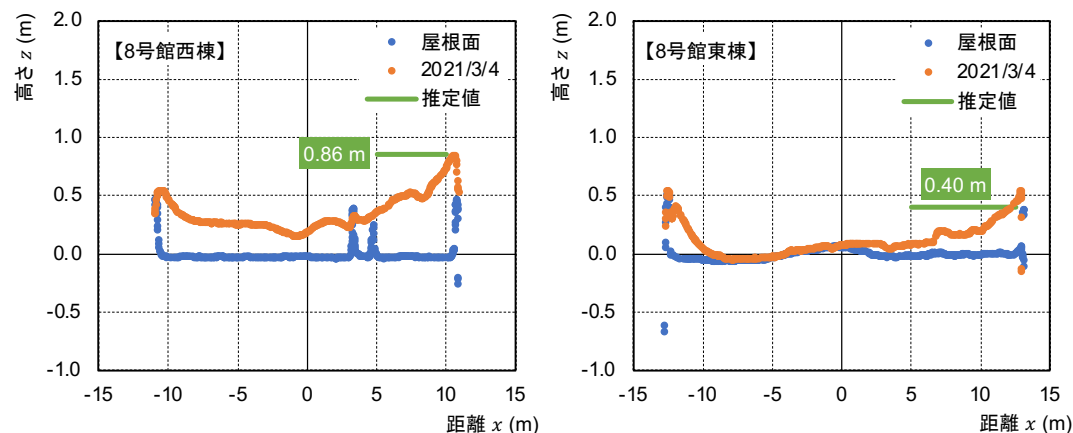


図4.5 屋根形状係数に基づいた屋根上積雪深と写真測量による屋根上積雪深との比較

<引用文献>

- 1) 千葉隆弘, 苫米地司, 高橋徹, 堤拓哉: 北海道で発生した雪による人身事故と雪害対策に関する研究—大雪時における除雪状況の実態と人的被害関数に基づく雪害対応能力の分析—, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 708, pp. 197-206, 2015. 2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 千葉隆弘, イセンコ・エフゲニー, 西田浩平, 齋藤佳彦, 大槻政哉	4. 巻 48
2. 論文標題 陸屋根建築物における雪庇形成時の風速特性に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 北海道科学大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 73-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 千葉隆弘, 堤拓哉, 高橋徹	4. 巻 85
2. 論文標題 北海道で発生した雪による人身事故と雪害対策に関する研究 - 人身事故および住宅損傷のリスク分析に基づいた屋根雪処理の判断基準について -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 331-341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 杉野宏樹, 高橋章夫, 千葉隆弘
2. 発表標題 パラペット高さによる陸屋根建築物の雪庇対策 ~ 古平町新庁舎を対象とした気象データおよび吹雪風洞実験に基づく雪庇対策の検討 ~
3. 学会等名 日本建築学会大会 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 イセンコ・エフゲニー
2. 発表標題 雪庇・着雪現象を考慮した吹雪数値シミュレーションの検討 - その1 風洞による雪庇実験と数値シミュレーションモデルの検討 -
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田浩平
2. 発表標題 雪庇・着雪現象を考慮した吹雪数値シミュレーションの検討 - その2 建築物に生じた雪庇事例の再現と検証 -
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉隆弘
2. 発表標題 陸屋根建築物における雪庇の形成メカニズムに関する基礎的研究
3. 学会等名 寒地技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者データベース「ラボサイト」 https://labs.hus.ac.jp/</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------