

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04346

研究課題名（和文）火山噴火による降下火山灰の荷重評価 - 降雨と積雪の影響について

研究課題名（英文）Effect of rainfall and snowfall on ash load after volcanic eruption

研究代表者

堤 拓哉（Tsutsumi, Takuya）

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・課長

研究者番号：40462345

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は火山噴火に伴い建築物に作用する積灰荷重を評価するため、積灰荷重に及ぼす雨と雪の影響に関する知見を得ることを目的としている。積灰荷重に及ぼす雨の影響に関するモデル実験では、火山灰と屋根試験体を用いて降灰後の降雨を模擬したモデル実験を行い、降雨による積灰荷重の変化に関するデータを取得した。また、モデル実験を対象とした飽和/不飽和浸透流解析を行い、数値モデルによる実験結果の再現が可能であることが分かった。積灰荷重に及ぼす雪の影響に関するモデル実験では、火山灰と屋根試験体を用いて降灰後の降雪を模擬したモデル実験を行い、雪による積灰荷重の変化に関するデータを取得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内外において主要都市付近に活火山が多数存在するにも関わらず、積灰荷重に係る研究例は極めて少ない。本研究は火山噴火に伴い建築物に作用する積灰荷重を評価するため、積灰荷重に及ぼす雨と雪の影響に関する知見を得ることを目的とし、基礎的な知見を得ることができた。この研究は、火山活動による積灰荷重が建築物の安全性に与える影響を理解するための重要な先行研究である。

研究成果の概要（英文）：When a volcanic eruption occurs, buildings in the vicinity of the volcano are subjected to loading from the deposited volcanic ash. Rainfall can moisten the volcanic ash, increasing the ash loading acting on buildings. This study aims to evaluate the ash loading on buildings associated with volcanic eruptions and obtain insights into the effects of rain and snow on ash loading.

Model experiments on the effect of rain on ash loading involved simulating post-eruption rainfall using volcanic ash and roof test bodies, acquiring data on changes in ash loading due to rainfall. Additionally, saturated/unsaturated infiltration flow analysis was conducted on the model experiments, confirming the reproducibility of experimental results using numerical models. Model experiments on the effect of snow on ash loading involved simulating post-eruption snowfall using volcanic ash and roof test bodies, obtaining data on changes in ash loading due to snow.

研究分野：雪氷工学

キーワード：火山灰 建築物 積灰荷重

1. 研究開始当初の背景

火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山に選定されている火山は国内に 50 あり、そのうち 31 火山は積雪地域にある。降下火山灰に関する地質調査などにより富士山を始めとする、火山噴火による降灰量の推定やハザードマップの整備が行われており、積灰荷重に対する建築物の耐力不足が指摘されている。国内では、噴石による衝撃荷重に関する実験的検討が行われているものの、積灰荷重については、分担者が実施する研究など、僅かな事例しかない。イタリアやニュージーランドなど火山がある諸外国では、建築物に対する噴石や火山灰の影響に関する基礎的研究が進められているが、積灰荷重に及ぼす降雨と積雪の影響に関する研究は行われていない。

2. 研究の目的

本研究は、建築物の積灰荷重に関する基礎的知見を得るため、積灰荷重に及ぼす降雨と積雪の影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

3. 積灰後の降雨を想定したモデル実験

3. 1 実験の目的と実験概要

屋根に堆積した火山灰の降雨による湿潤化は積灰荷重を増大させ、建築物の倒壊を発生させることが知られているが、被害事例が少なく、屋根に堆積した火山灰の排水特性は明らかになっていない。火山灰の模擬降雨実験による積灰荷重に関しては、屋根勾配が小さいほど積灰荷重の最大値が大きくなること、積灰荷重は最大で降雨前の 1.3 倍になることが報告されているが、屋根に堆積した火山灰の粒径分布が降雨時の積灰荷重に及ぼす影響についての検討例は少ない。本実験では異なる粒径分布を持つ 4 種類の火山灰を 4 寸勾配の片流れ形状の屋根に堆積させて雨量強度が 5mm/h および 20mm/h の模擬降雨を与え、粒径分布が降雨時の積灰荷重に及ぼす影響を調べる。

3. 2 火山灰試料の粒径分布

火山灰試料には 2011 年に発生した霧島山（新燃岳）噴火の際に宮崎県都城市の市街地に降下した火山灰（以下、新燃岳(2011)）と都城高専の敷地内に降下した火山灰（以下、新燃岳(2020)）および 2018 年の霧島山（新燃岳）噴火の際に都城高専に降下した火山灰（以下、新燃岳(2018)）というならびに 2014 年に桜島から噴出して鹿児島県垂水市の市街地に降下した火山灰（以下、垂水という）を用いた。

表 3-1 に火山灰試料の土粒子の密度と安息角を示し、図 3-1 に各試料の粒径分布を示す。安息角は水平面に火山灰を自然降下させて火山灰の砂山を形成し、砂山の斜面と水平面がなす角を測定して、その値を安息角とした。新燃岳(2011)は粒径分布の影響を調べるために、ふるい目が 0.6mm のふるいを用いて粒径が 0.6mm よりも大きな粒子で構成されるように粒度を調整している。

3. 3 実験装置および実験方法

実験装置を写真 3-1 に示す。実験装置は屋根面サイズが 800mm×1100mm であるガルバリウム鋼板平板葺の 4 寸勾配屋根に火山灰を堆積させて模擬降雨を与え、屋根重量と排出水の計量および火山灰の体積含水率を計測するためのものである。火山灰は自立しないので、火山灰の屋根への堆積を容易にするために屋根面の背面と側面にセパレータを取り付けている。排水方向は軒先からの 1 方向とし、軒面には開き目 0.24mm のステンレスメッシュが設置されている。容量が 100 リットルの給水タンクから圧送された水は屋根面の 2m 上方に設置されたスプレーノズル（(株) いけうち社製 J010, J030）から円状に散水され、火山灰から排出された水はステンレスメッシュを通過して軒下の集水桝に集水される。スプレーノズルには 0.2Mpa での散水量の規格値が 0.1l/min と 0.3l/min の 2 種類を採用している。火山灰の堆積範囲はスプレーノズルの散水範囲である直径 900mm および 1100mm の円内に収まるように、550mm×750mm の矩形に設定している。火山灰の堆積範囲の外側に散水される雨水は雨どいを介して、集水桝に排水される。体積含水率の計測には 3 個の土壌水分センサー（(株) ARP 社製 WD-3-WET-5Y）を火山灰層内の屋根面から 5cm 上方の位置に流れ方向に 25cm 間隔で埋め込んで使用する。容量 1.2l のスコップを用いて、100kg の火山灰試料を締固めないように堆積させた後、0.2Mpa の水圧で 5 時間の散水を行い、屋根重量、排出水の重量および体積含水率を 1 分間隔で 60 時間計測した。

表 3-1 土粒子の密度とせん断強度

試料名	土粒子の密度 (g/cm ³)	安息角(°)
新燃岳(2011)	2.54	34.1
新燃岳(2018)	2.76	32.1
垂水	2.72	30.3
新燃岳(2020)	2.66	40

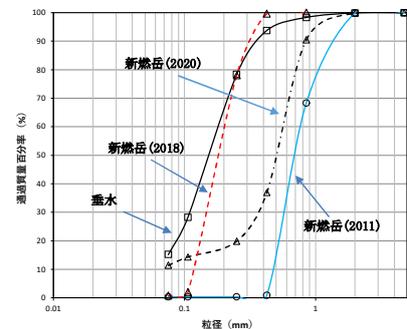


図 3-1 火山灰試料の粒径分布

3. 4 実験概要

実験項目と実験内容を表 3-2 に示し、使用した火山灰試料と実験実施時の雨量強度を表 3-3 に示す。2022 年 4 月 19 日以降の実験は新燃岳 2011, 新燃岳 2018 を用いた 2 回目と 3 回目の降雨実験の実施と垂水, 新燃岳 2020 を用いた 3 回の実験の実施および滑動の発生の有無の確認を目的とした軒先の堰板を取り外した状態での降雨実験の実施を目的としたものである。火山灰試料は新燃岳 2011, 新燃岳 2018, 垂水, 新燃岳 2020 の 4 種類を使用し、雨量強度が 5mm/h と 20mm/h の 2 パターンの降雨を与えた。実験は各パラメータにつき、3 回ずつ実施した。ただし、10 月 18 日と 10 月 28 日に実施した軒先の堰板を取り外した状態での降雨実験は、滑動の発生の有無を確認できたので、それぞれ 1 回しか実験を行っていない。



写真 3-1 実験装置の構成

表 3-2 実験項目と実験内容

項目	内容
火山灰試料	新燃岳2011, 新燃岳2018, 垂水, 新燃岳2020
雨量強度	5mm/h, 20mm/h
屋根	ガルバリウム鋼板平置き, 4寸勾配
散水方法	屋根上2mからフルコンノズルで噴霧(0.2Mpa)
散水時間	5時間
排水方法	軒先からの自然排水(一方向排水)
測定項目	積灰荷重, 排水水の重量, 体積含水率
計測時間	72時間

3. 5 実験結果

散水開始から 60 時間の積灰荷重と排水水の重量および体積含水率を図 3-2 に示す。積灰荷重の最大値は降雨前の約 1.2 倍であり、散水開始から 60 時間後の減少量は 10%未満であった。また、排水量は総雨量の 70~85%であり、散水開始から 6 時間後の排水量は総排水量の 95%を超えていた。

体積含水率は細粒粒子の含有率の高い新燃岳(2018)や垂水への散水時の方が高い。10kg の火山灰試料を 72 時間水没させて飽和状態にしたときの体積含水率は新燃岳(2018)が 69%、垂水が 68%、新燃岳(2020)と新燃岳(2011)が 72%であったが、新燃岳(2018)と垂水への降雨では一部の火山灰が飽和に近い状態であったと推測され、粒径分布の違いによる雨水の排水経路や排水速度の違いは火山灰の湿潤度に大きく影響を及ぼすと思われる。粒径分布の違いが積灰荷重の変化に及ぼす影響が明瞭でないのは、火山灰層の全体が飽和状態になっていないためであり、5 時間後にノズルからの散水をストップさせたことと、散水開始から 4 時間後または 5 時間後の 1 時間あたりの排水量が降雨強度と同程度であることが影響している。積灰荷重の増加量と排水水の総重量の合計値から推定した降雨強度は J010 からの散水では 27mm/h および 28mm/h、J030 からの散水では 55mm/h および 56mm/h であり、5 時間の排水量から算出した 1 時間あたりの排水量と降雨強度の差から算出した 1 時間あたりの積灰荷重の増加量は 0.08~0.14kN/m²であった。本実験の降雨に比べ降雨強度が大きいのか、降雨時間が長い場合の積灰荷重は、流動化による火山灰の落下が発生しなければ飽和時の荷重に達すると思われる。降雨時の滑動の発生状況を写真 3-2 に示す。垂水を堆積させた場合は雨量強度 5mm/h の散水で軒先部分に滑動が発生したが、新燃岳(2020)へ雨量強度が 5mm/h の降雨を与えた場合は滑動の発生は見られなかった。降雨時の滑動の発生の有無は雨量強度と火山灰の粒径分布に影響を受けるが、滑動が発生する箇所は軒先部分のみであり、滑動による積灰荷重の低減効果は小さいと思われる。

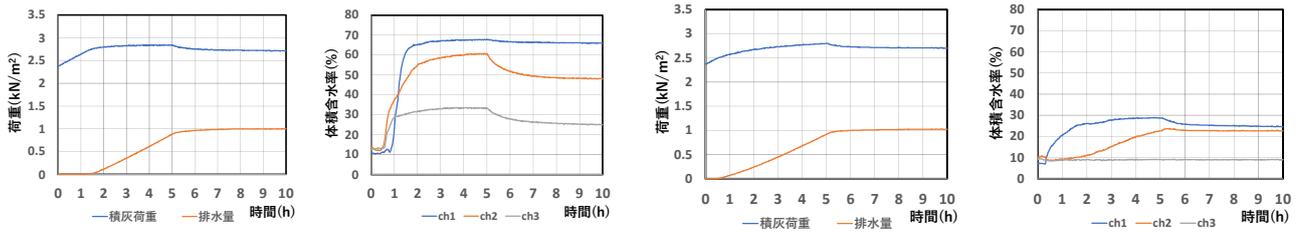
3. 6 まとめ

粒径分布の異なる 4 種類の火山灰を屋根に堆積させて 5 時間の模擬降雨を与え、積灰荷重、排水量、体積含水率の経時変化を調べ、以下のことを明らかにした。

- 1) 降雨による積灰荷重の増加量は 20%程度であり、火山灰からの排水総量は降雨量の 70~80%程度であり、火山灰の粒径分布による違いは見られなかった。
- 2) 細粒粒子の含有率が高い火山灰の方が体積含水率は 30%程度高く、最大値は飽和時の体積含水率と同程度であった。
- 3) 細粒粒子の含有率が高い火山灰の方が排水開始時刻は遅く、積灰荷重は早期に最大値と同程度に達した。
- 4) 積灰荷重の設定や除灰計画の立案においては、1 時間雨量が 20mm を超える降雨強度を想定する場合、積灰荷重は飽和状態の荷重に達すること、細粒粒子の含有率が高い火山灰の場合は湿潤化の影響を受けやすいことを考慮した方がよいであろう。

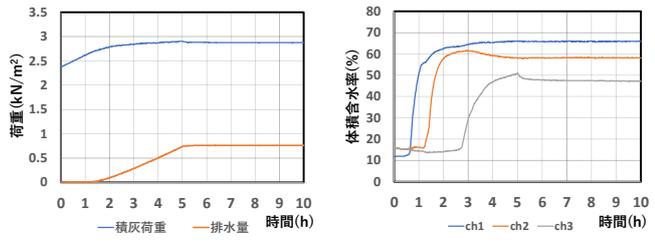
表 3-3 実験シリーズと主要測定値

実施日時	火山灰試料	雨量強度	積灰荷重の最大値(kN)	排水量(kN)	体積含水率の最大値(%)		
					ch1	ch2	ch3
2022年3月15日	新燃岳2018	5mm/h	1.11	0.37	56.9	16.84	14.39
2022年3月22日	新燃岳2018	20mm/h	1.22	0.7	63.88	62.16	58.28
2022年3月25日	新燃岳2011	20mm/h	1.23	0.62	29.43	30.08	26.63
2022年3月29日	新燃岳2011	5mm/h	1.15	0.42	33.35	31.32	15.19
2022年4月19日	新燃岳2018	20mm/h	1.24	0.63	67.41	62.07	59.36
2022年4月22日	新燃岳2011	20mm/h	1.25	0.95	32.34	31.14	30.34
2022年4月28日	新燃岳2018	5mm/h	1.17	0.42	67.8	60.72	33.61
2022年5月6日	新燃岳2011	5mm/h	1.15	0.43	28.98	23.73	9.85
2022年5月10日	新燃岳2018	20mm/h	1.23	0.95	67.65	61.55	58.01
2022年5月17日	新燃岳2011	20mm/h	1.25	0.95	29.95	37.09	30.98
2022年5月20日	新燃岳2018	5mm/h	1.18	0.39	65.25	64.29	48.44
2022年5月24日	新燃岳2011	5mm/h	1.23	0.36	31.31	33.9	30.08
2022年5月27日	垂水	5mm/h	1.19	0.3	67.25	64.52	57.73
2022年5月31日	新燃岳2020	5mm/h	1.23	0.33	45.79	44.09	39.96
2022年6月10日	垂水	20mm/h	1.26	0.83	70.06	61.68	63.58
2022年6月14日	新燃岳2020	20mm/h	1.26	0.91	60.85	58.23	48.02
2022年7月1日	垂水	5mm/h	1.19	0.28	64.44	66	47.94
2022年7月5日	新燃岳2020	5mm/h	1.24	0.33	61.24	50.64	45.15
2022年7月8日	垂水	20mm/h	1.25	0.7	70.67	64.82	66.83
2022年7月19日	新燃岳2020	20mm/h	1.28	1.06	65.15	57.72	62.6
2022年7月26日	垂水	5mm/h	1.2	0.31	67.16	61.7	50.89
2022年7月29日	新燃岳2020	5mm/h	1.22	0.33	58.28	47.54	40.33
2022年9月30日	垂水	20mm/h	1.23	0.5	65.64	65.27	57.67
2022年10月4日	新燃岳2020	20mm/h	1.25	0.7	54.69	53.1	44.75
2022年10月18日	垂水	5mm/h	1.23	0.25	50.36	67.25	59.34
2022年10月28日	新燃岳2020	5mm/h	1.22	0.25	60.61	49.42	59.34

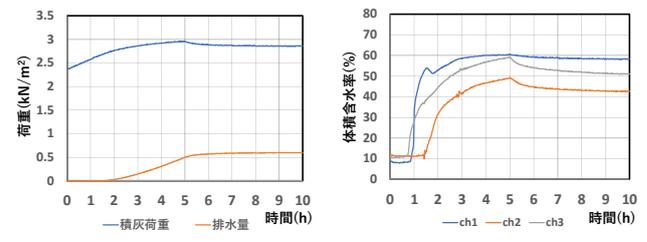


(a)新燃岳(2018), J010(5mm/h)

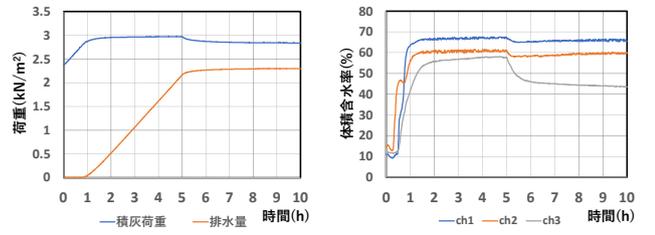
(b)新燃岳(2011), J010(5mm/h)



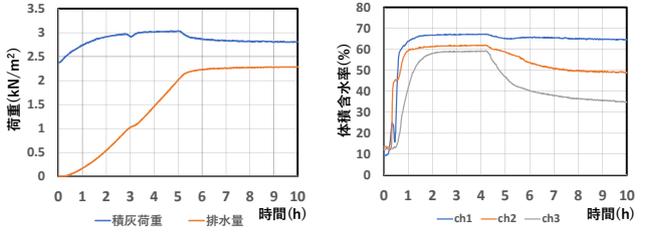
(c)垂水, J010(5mm/h)



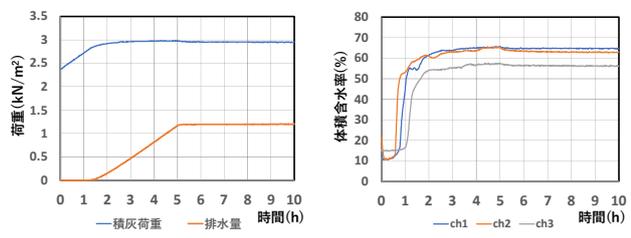
(d)新燃岳(2020), J010(5mm/h)



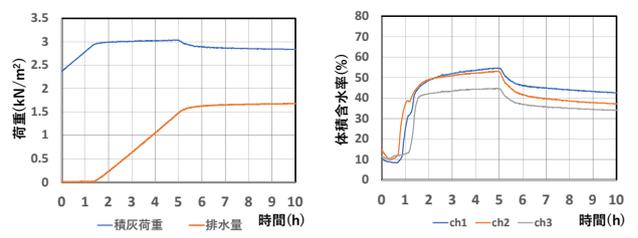
(e)新燃岳(2018), J030(20mm/h)



(f)新燃岳(2011), J030(20mm/h)



(g)垂水, J030(20mm/h)



(h)新燃岳(2020), J030(20mm/h)

図 3-2 積灰荷重と排水量および体積含水率の変化



(a)滑動あり (垂水, 5mm/h)



(b)滑動なし (新燃岳(2020), 5mm/h)

写真 3-2 滑動の発生状況

4. 降灰と積雪の組み合わせを想定したモデル実験

4. 1 実験の目的と実験概要

積雪地では、火山灰などの降下火砕物が堆積した後に雪が積もり積灰荷重と雪荷重が同時に作用することが想定される。また、融雪期には融雪水が火山灰に浸透し、火山灰が湿潤状態になり、積灰荷重が増加することが考えら

れる。ここでは、屋根試験体を用いて、火山灰と自然雪によるモデル実験を行い、降灰と積雪の組み合わせの影響について検討した。

4. 2 実験方法

実験には、新燃岳の 2011 年噴火時に収集し保管していた火山灰と積雪寒冷地の一般的な勾配屋根を想定した屋根試験体を用いた(写真 4-1)。火山灰の密度は 1.16g/m^3 、粒度は砂分(0.075-2mm)が 92.6%を占め、シルト・粘土分は 6.9%である。屋根試験体(屋根長さ 450mm×幅 225mm、軒高 300mm)の屋根材には塗装鋼板を用い、屋根勾配は 2/10 である。ここでは、火山灰が屋根雪に及ぼす影響を調べるため、火山灰を 5cm 堆積させた試験体と、火山灰を堆積させない試験体を実験に供した(写真 4-1)。屋根試験体の上部からふるい(φ5mm)を介して自然雪を屋根試験体の上に堆積させた(写真 4-2)。試験体の重量はロードセル(共和電業社製 LCN-A-5KN)を用いて 1 秒間隔で計測した。降雪量は約 58cm である(写真 4-3(b))。実験時の温度は $-3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 、降雪後、インターバルカメラを用いて 10 分間隔で融雪状況、落雪状況等を記録した。

4. 3 実験結果

図 4-1 に屋根試験体の重量の変化、写真 4-3 にインターバルカメラによる撮影画像を示す。屋根試験体の重量は降雪後に最大となり、その後、時間の経過と共に漸減している。試験体設置場所は屋内であるが、試験体の重量が軽いため除雪をする重機による振動の影響を受けたことにより、屋根試験体の重量が数回上昇する状況がみられた。試験体設置場所の温度は、平均 1.3°C 、最大 5.4°C 、最小 -8°C であった。試験体設置後、約 4 時間経過した段階で、火山灰の無い試験体で落雪が生じた。一方、火山灰を堆積させた試験体では落雪が生じず、火山灰の堆積が落雪を阻害することが分かった。融雪による積雪が消失した段階でも、融雪水が火山灰に浸透したことにより、降雨の影響と同様に火山灰の重量が増えることが分かった。



写真 4-1 屋根試験体

写真 4-2 実験装置

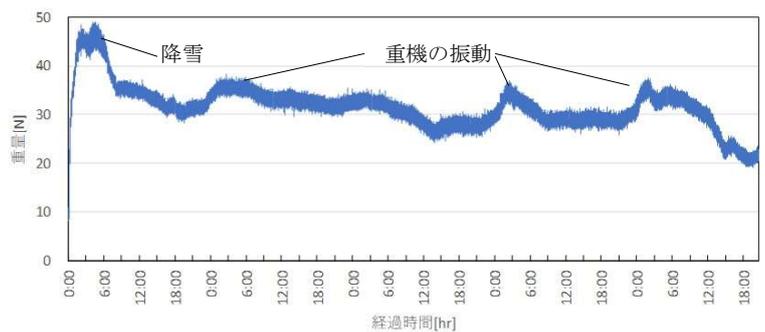
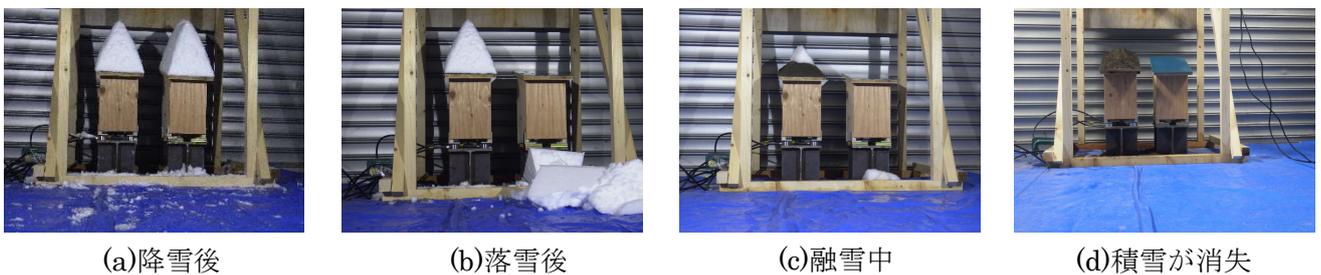


図 4-1 屋根試験体の重量の変化



(a)降雪後

(b)落雪後

(c)融雪中

(d)積雪が消失

写真 4-3 インターバルカメラの画像

5. 研究のまとめ

積灰荷重に及ぼす降雨と積雪の影響に関する知見を得るため、屋根試験体と火山灰を用いたモデル実験を行った。実験の結果、積灰荷重に及ぼす降雨強度ならびに火山灰の粒径等の影響に加え、降雪の影響についても一定の知見を得ることが出来た。今後は、積灰荷重の設定法についての検討に加え、屋根のスケール効果等についても検討を行う必要があると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本剛、堤拓哉、千葉隆弘
2. 発表標題 積灰の粒径分布が降雨時の積灰荷重に及ぼす影響
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	山本 剛 (Yamamoto Takeshi) (20240103)	都城工業高等専門学校・建築学科・准教授 (57601)	
研究分担者	千葉 隆弘 (Chiba Takahiro) (40423983)	北海道科学大学・工学部・教授 (30108)	

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
---------	---------