

緩勾配大型折板屋根の 散水融雪装置仕様の一検討

柳 裕一郎*, 鈴木 良介*, 平田 信行**, 谷澤 克治***
山下 克也****

Determination of Snow-Melting Sprinkler Specifications for Low-Gradient Large Folded-Plate Roof

by

YANAGI Yuichiro, SUZUKI Ryosuke, HIRATA Nobuyuki,
TANIZAWA Katsuji, and YAMASHITA Katsuya

Abstract

Several studies have been conducted on the characteristics of snow-melting devices for roofs on standard houses. However, few studies have focused on the characteristics of such devices for buildings with large roofs. Following the collapse of a building with a low-gradient large folded-plate roof in 2014 in the Tokyo metropolitan area due to heavy snow, snow-melting experiments using a 3-m roof model were conducted to specify the requirements for a snow-melting sprinkler for such buildings as a countermeasure against collapse. From these experiments, information about the preferred watering method, flow rate, and water temperature was collected. Using the results of the experiments, a heat transfer analysis was conducted to verify the applicability of the results for an actual 25-m low-gradient large folded-plate roof. Subsequently, a method to specify the requirements for a snow-melting sprinkler was formulated. The proposed method can be applied to determine the specifications of snow-melting devices for large roofs of different sizes.

* 流体性能評価系, ** 海上技術安全研究所, *** 今治造船（研究当時：海上技術安全研究所）, **** 防災科学技術研究所

原稿受付 令和2年10月26日

審査日 令和2年12月9日

目 次

1. 序論	66
2. 実験内容	66
2.1 散水融雪方法の検討	66
2.2 屋根模型	67
2.3 散水融雪装置	67
2.4 実験パラメーター	68
2.4.1 降雪強度	68
2.4.2 室温	68
2.4.3 流量	68
2.5 実験条件	68
2.6 計測装置	68
3. 実験結果	69
3.1 山への散水	69
3.2 水温と流量による散水融雪の違い	69
3.3 積雪後の散水	70
3.4 温度低下	70
3.5 屋根に加わった荷重による散水融雪効果の判定	71
4. 実験結果を用いた散水融雪装置仕様の検討	72
4.1 実験結果と計算値の比較	73
4.2 長さ 25m の屋根の散水融雪装置仕様検討	73
5. 結論	74
謝辞	75
参考文献	75

1. 序論

2014 年 2 月の大雪によって首都圏で多くの建築物が倒壊した。東京にある海上技術安全研究所の実海域再現水槽もこの大雪によって倒壊した。水槽自体は同等の大雪に耐えられるよう再建されたものの、温暖化による異常気象の増加が懸念される今日ではさらなる大雪が降る可能性は否めない。屋根の雪荷重を軽減する方法として散水融雪装置は有効であると考えられる。一般住宅屋根の散水融雪装置仕様の検討^{1),2),3)}は多くみられるが、大型屋根を有する建築物の散水融雪装置仕様の検討はほとんどない。そこで水槽の緩勾配の大型折板屋根を一例に、防災科学技術研究所の雪氷防災実験棟で屋根模型と人工降雪装置を用いた散水融雪実験⁴⁾を行い、大雪に対応可能な散水融雪装置の仕様検討を行った。

2. 実験内容

2.1 散水融雪方法の検討

克雪住宅の屋根形状の種類と特徴として、以下のものがある⁵⁾。

- ① 落雪式：屋根勾配又は滑りやすい屋根材によって雪を落とす。
- ② 融雪式：熱で屋根雪を溶かす。
- ③ 耐雪式：住宅構造の強化により積雪荷重に耐える。

建設時に雪処理を意識する首都圏の建築物は少ないため、建設後でも適用できる融雪式の一つである散水融雪式を検討した。また、融雪式システムの種類と特徴としては以下のものがある。

- ① 電熱式：電気で発熱させる。
- ② 温水式：温水循環、温水散水、不凍液循環、ソーラー温水器等で融雪させる。
- ③ ヒートパイプ式：ヒートパイプを伝熱面に使用して熱交換を行う。
- ④ 温風式：小屋裏温風吹込、屋根面設置パネル、ダクト又はパイプにより送風する。

省電力と後付加工の簡便さを勘案して温水散水式を検討することとした。

2.2 屋根模型

実海域再現水槽の屋根は、長さ 25m、幅 100m の折板屋根 2 つで構成されている。実験ではこの屋根の構造を模した長さ 3m、幅 2m の屋根模型を使用した (図 1)。この模型には底が 4 つあり、底と底の間に山が計 3 つある。この屋根模型を水槽の屋根と同じ勾配 5 度で設置した。折板屋根の断面図を図 2 に示す。本図に示すように、底の表面には高さ 3mm の凹凸がある。

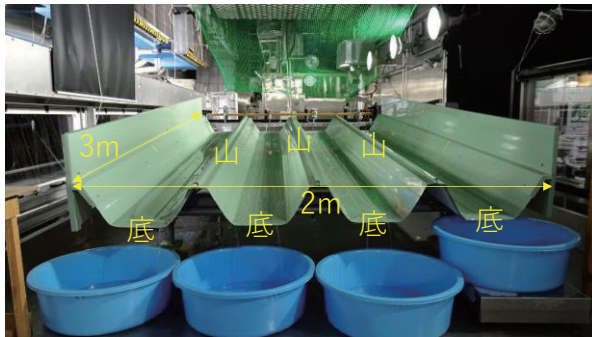


図 1 製作した屋根模型

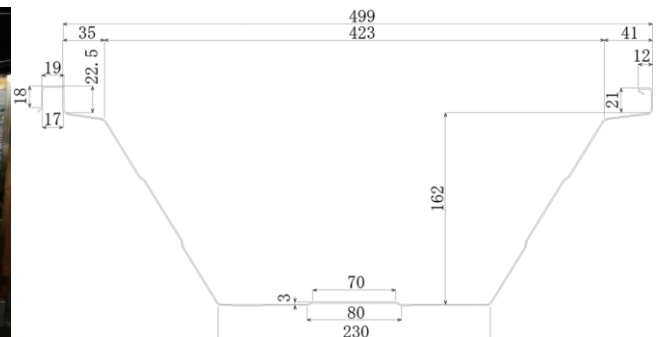


図 2 折板屋根の断面図 (単位: mm)

2.3 散水融雪装置

図 3 に装置の概念図を示す。屋根模型に散水する水温の水を貯め、ポンプで水を揚げて 4 箇所の流量計 (日本フローセル SCO-4-20W2, 流量範囲 0.4L/min-5L/min) のニードルバルブで流量を調節してから屋根模型に散水した。屋根模型の底と流量計の間のクリアランスは 0.27m とした。

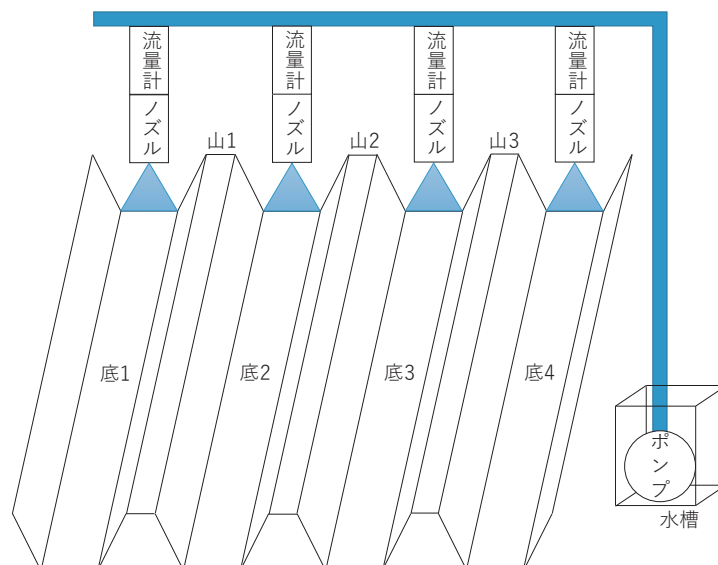


図 3 実験概念図

2.4 実験パラメーター

2.4.1 降雪強度

東京の過去の気象データ⁶⁾によると、実海域再現水槽が積雪によって倒壊した2014年2月14日から15日にかけての時間降雪深の最大値は、15日1時台の8cmであった。当日の雪密度は 150kg/m^3 - 200kg/m^3 という報告⁷⁾があったので、前述の降雪強度は水換算で 12mm/h - 16mm/h になる。雪氷防災実験棟ではこの降雪強度は設定できなかったため、実験は設定できる上限の 5mm/h （水換算）で行った。

2.4.2 室温

2014年2月14日から15日にかけて東京で最も降雪した時間帯の気温は 0.0°C だった。しかし雪を作る関係で室温は -2°C 以下にする必要があったため、実験は室温約 -2°C で行った。

2.4.3 流量

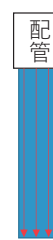
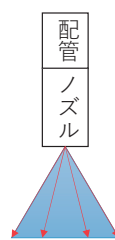
勾配約5度の屋根全面に水を流すには流量 $0.9\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ は必要である⁸⁾。この計算式を用いると底1つの全面に水を流すには流量 $0.6\text{L}/\text{min}$ は必要である。そこで実験は流量 $0.6\text{L}/\text{min}$ から始め、最大 $10\text{L}/\text{min}$ まで増加させた条件で試験を実施した。なお、試験ごとの流量は一定にした。

2.5 実験条件

便宜上、底と山に図3のように番号を振った。表1に実験条件を示す。実験は11ケース行った。実験1は屋根模型が冷える前だったので、予備実験とした。散水は基本的に底4つに行ったが、実験2では山に散水したときの様子を確認するために底1と底3の代わりに山1と山2に散水した。また、流量計1つの最大流量が $5\text{L}/\text{min}$ だったので、実験11では流量を増やすために底1と底4の分をそれぞれ底2と底3に散水した。実験2を除き流量が $0.6\text{L}/\text{min}$ の場合は水が広く流路全体に流れるように、流量計の先の配管にノズルを設置して図4(a)のように水を底の幅方向に広げた。山に散水した実験2及び流量が $0.6\text{L}/\text{min}$ を超えてノズルが無くても水が流路全体に広がった場合は、図4(b)のようにノズルを設置せずに直接配管から散水した。水温は、水道水をそのまま用いた約 15°C 及び水温を低下させた約 7°C 、約 2°C の3通り行った。降雪強度は基本的に 5mm/h （水換算）であったが、実験7のみ降雪後に散水した際の状況確認のため、2時間降雪させてから実験を行った。1ケース当たり実験は20分-90分行った。

表1 実験条件

実験 番号	流量 (L/min)							水温 ($^\circ\text{C}$)	降雪強度 (水換算)
	底1	山1	底2	山2	底3	山3	底4		
1	0.6		0.6		0.6		0.6	15	5mm/h
2		0.6	0.6	0.6			0.6	15	5mm/h
3	0.6		0.6		0.6		0.6	2	5mm/h
4	1.8		1.8		1.8		1.8	2	5mm/h
5	0.6		0.6		0.6		0.6	7	5mm/h
6	1.8		1.8		1.8		1.8	7	5mm/h
7	0.6		0.6		1.8		5.0	15	$10\text{mm}+5\text{mm/h}$
8	5.0		5.0		5.0		5.0	7	5mm/h
9	5.0		5.0		5.0		5.0	2	5mm/h
10	1.8		1.8		1.8		1.8	7	5mm/h
11			10.0		10.0			2	5mm/h



(a) 流量 $0.6\text{L}/\text{min}$ の散水方法 (b) 流量 $0.6\text{L}/\text{min}$ を超えた時の散水方法

図4 流量による散水方法の違い

2.6 計測装置

計測装置を図5に示す。屋根模型の4隅の脚の下に荷重計（タニタ HA-650）を設置し、降雪と散水による屋根の重量変化を10分ごとに目視で値を読み記録した。また、屋根模型上の水温を棟から軒先まで1mごとに温度計（モノタロウ MWT-1）のセンサーを水につけて10分ごとに目視で値を読み記録した。さらに、実験終了後にあらかじめ設置しておいたサイドテーブル2脚で底面積 50cm^2 の円筒サンプラーを用いて積雪深を各サイドテーブル3か所及び雪重量を計測し、散水していない場合の屋根模型に加わる雪荷重を推定した。1分ごとの室温と湿度も温湿度センサー（チノーHN-P20）で記録した。

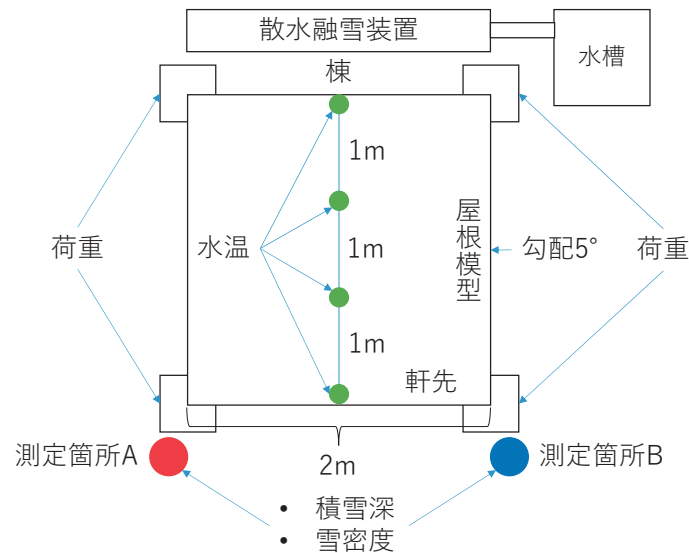


図5 計測装置

3. 実験結果

3.1 山への散水

実験2で山へ散水した時の降雪開始15分後の様子を図6に示す。山2の軒先から水が流れていることが確認できた。このことから、山2の棟から流した水は軒先まで山を流れたと言える。実際、山3と比べて山2の雪が溶けていることは明らかである。一方山1では棟から流した水がすぐ底に落ちてしまった。このため、山1の雪は大部分残った。山1と2で流れ方が違ったのは、屋根模型設置時に幅方向に勾配がわずかにでき、山1の方が山2より高かったためだと考えられる。この結果から、棟から水を流しても必ずしも軒先まで到達するか分からないので、散水は山ではなく底に集中させることとした。

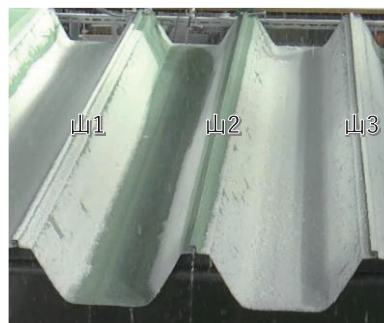


図6 山への散水結果

3.2 水温と流量による散水融雪の違い

先行研究の結果⁸⁾を用いて底全面に水を流すのに必要な流量は0.6L/minと算出されたが、これでは水が底の左右に分かれて全面には流れなかった。これは、図2で示したように底に凹凸があったためだと考えられる。そこで底全面に流れるまで流量を段階的に上げるとともに水温も変え、散水融雪の違いを調べた。

図7に降雪開始45分後の水温と流量による散水融雪の違いを示す。図7(a)は約2°Cの水を5L/minで散水した時の様子である。5L/minの時は、底全面には流れず、左右の凹部のみに流れた。それゆえ、図から凸部に雪が残っていることが確認できる。図7(b)は約7°Cの水を5L/minで散水した時の様子である。図7(a)と比べて凸部の雪が溶けていることが分かる。これは凸部に水が流れなくても水温が高い分、熱で溶けたためだと考えられる。図7(c)

に約 2°C の水を 10L/min で散水した時の様子を示す。水温は低かったものの底全面に流れたため、凸部を含めて雪は無くなった。

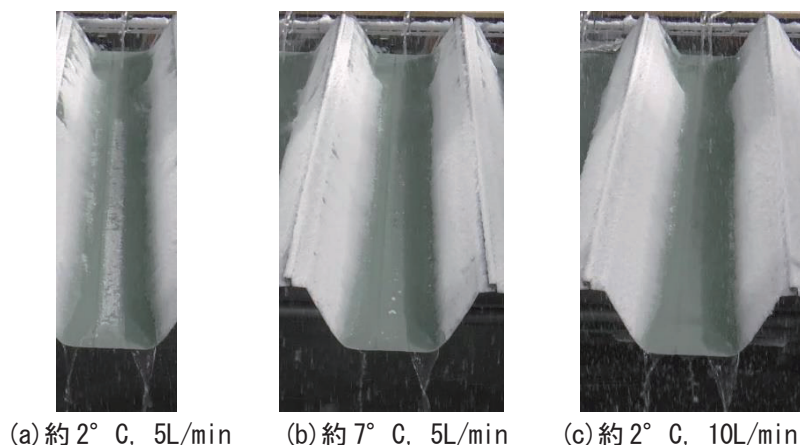


図 7 水温と流量による散水融雪の違い

以上より、凹凸のある面では平面に比べて全面に流すのに要する流量が多いこと、屋根の全面に水が流れれば低温でも雪を取り除くこと可能であることと屋根の全面に水が流れなければ流量を補う十分な熱量が散水融雪には必要であることが確認できた。

3.3 積雪後の散水

水換算 10mm 積雪後に約 15°C の水を 5L/min で散水開始してから 2 分半経過後の様子を図 8 に示す。2 分半経過時点では軒先から水が流出していないことが分かる。軒先から水の流出が確認できたのは散水開始から約 3 分後であった。長さ 3m の屋根模型で棟から散水して軒先で流出するまで約 3 分かかったので、長さ 25m の屋根であれば単純計算で約 25 分かかることになる。その間は散水量がそのまま屋根の荷重になり逆効果なので、効果を最大限発揮するには降雪前から散水する必要があることが分かった。



図 8 水換算 10mm 積雪後に散水してから 2 分半後の様子

3.4 温度低下

流量 0.6L/min, 1.8L/min, 5L/min, 10L/min で散水時の棟から軒先までの 1m 間隔の水温をそれぞれ図 9(a), (b), (c), (d) に示す。小流量では急激な温度低下が確認できたが、流量が増えるにつれて、温度低下はなだらかになった。また、水温低下は約 1°C を境に傾きが変わり、融雪能力が変わることが分かった。さらに、流量が小さく、軒先で水温が 0°C 近くまで下がったケースでは、軒先から凍り始めた。しかし実験 11 において流量 10L/min で散水した際は、軒先で 2°C 前後あれば凍らないことが確認できた。

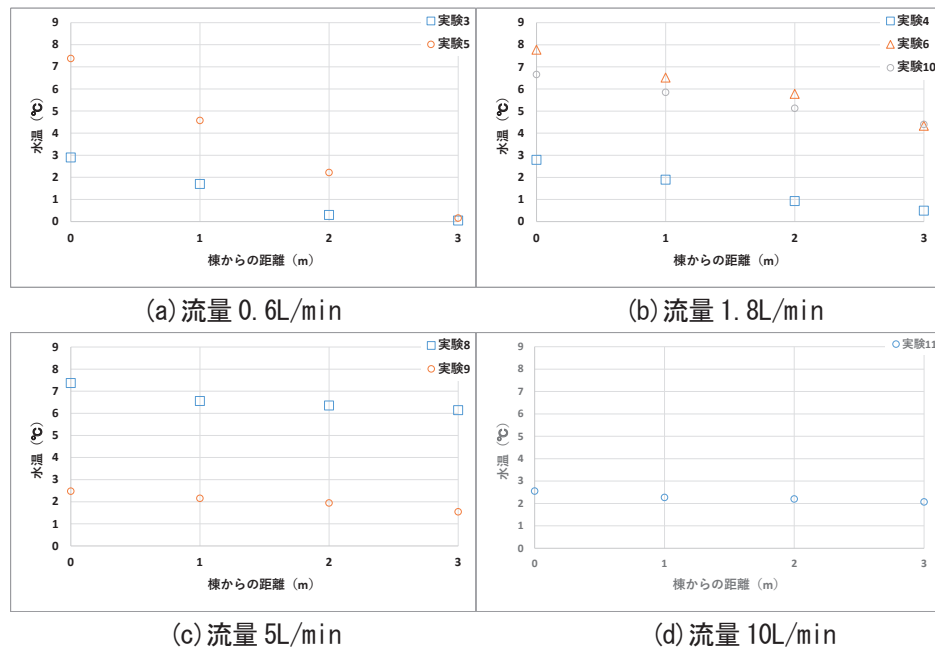


図9 棟から軒先までの水温変化

3.5 屋根に加わった荷重による散水融雪効果の判定

図10に流量0.6L/min散水時の屋根に加わった荷重(荷重計4台の合計値)の時間変化を示す。直線は散水をしなかった場合の雪のみの荷重を積雪深と雪密度から推定した値である。記号は散水時の雪と水の合計荷重である。図10から、水温2°Cでも7°Cでも散水時の荷重が非散水時より大きく、散水効果が無かったと判断できる。

図11に流量1.8L/min散水時の屋根に加わった荷重の時間変化を示す。水温2°Cの実験4では散水時の荷重が非散水時より大きく、散水効果が無かった。水温7°Cについては、2回行った。これは、1回目では効果の有無が判断できなかったためである。実験6の最初の20分では散水時の荷重が非散水時より小さく、30分から40分では散水時の荷重が非散水時より大きくなり、50分以降は散水時の荷重が非散水時より小さくなり、散水効果の有無が判断できなかった。そこで実験10として水温7°Cの2回目を行った。実験10では30分までは散水時の荷重が非散水時より小さかったが、40分以降は散水時の荷重の方が大きくなった。これにより、水温7°Cは散水効果が無かったと判断した。

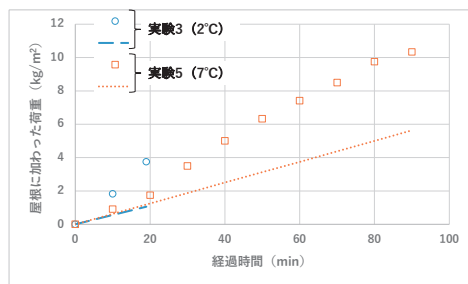


図10 流量0.6L/min散水時の屋根に加わった荷重

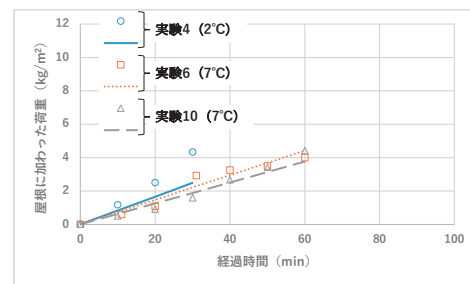


図11 流量1.8L/min散水時の屋根に加わった荷重

図12に流量5L/min散水時の屋根に加わった荷重の時間変化を示す。水温7°Cの実験8では、40分以降で散水時の荷重が非散水時より小さかったため、効果があった。水温2°Cの実験9では、20分以降で散水時の荷重が非散水時より大きく散水効果が無かった。

図13に約2°C、流量10L/min散水時の屋根に加わった荷重の時間変化を示す。流量10L/minでは流量の関係で底2か所にしか水を流してないので、散水時の雪と水の合計荷重は水を流していない底2か所の荷重をサンプラーによる積雪深計測結果より推定して取り除いた。常に散水時の荷重が非散水時より小さかったため、散水効果があったと言える。

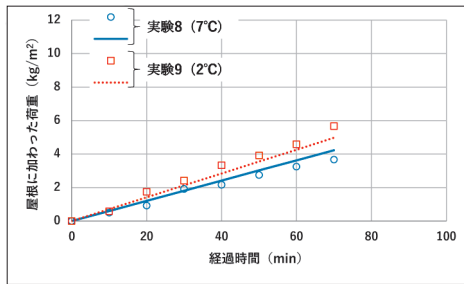


図 12 流量 5L/min 散水時の屋根に加わった荷重

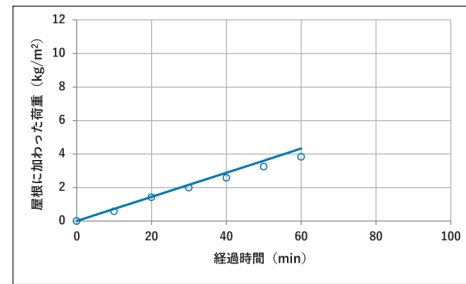


図 13 流量 10L/min (2°C) 散水時の屋根に加わった荷重

4. 実験結果を用いた散水融雪装置仕様の検討

実験は長さ 3m の屋根模型を用いて行ったが、実際の屋根は長さ 25m なので、実験結果を用いて散水融雪装置仕様の推定を試みる。そのために伝熱解析を行う。屋根散水システムの報告³⁾によると、散水した水温が低下する要因 4 つとそれらの計算式は以下の通りである。

- 空気への熱伝達
- 屋根への熱伝達
- 蒸発による熱損失
- 融雪に要する熱量

熱伝達量は以下の式で計算した。

$$Q_t = A \cdot h_t \cdot \Delta T \cdot t \quad (4.1)$$

$$h_t = \frac{N_u \cdot \lambda}{l} \quad (4.2)$$

ここで、

Q_t : 熱伝達により損失した熱量 (J)

A : 表面積 (m²)

h_t : 熱伝達率 (W/(m²·°C))

ΔT : 温度差 (°C)

t : 時間 (s)

N_u : ヌセルト数 (-)

λ : 屋根材 (ガルバリウム鋼板) の熱伝導率, 45 (W/(m²·°C))

l : 代表長さ (m)

である。蒸発による熱損失は以下の式で計算した。

$$Q_e = m_e \cdot h \quad (4.3)$$

$$m_e = A \cdot h_e \cdot \Delta w \cdot t \quad (4.4)$$

ここで、

Q_e : 蒸発により損失した熱量 (J)

m_e : 物質伝達量 (蒸発量) (kg)

h : 水の蒸発熱, 2.442×10^6 (J/kg)

A : 表面積 (m²)

h_e : 物質伝達率 (m/s)

Δw : 水付近と空気における水の質量分率の差 (-)

t : 時間 (s)

である。融雪に要する熱量は以下の式で計算した。

$$Q_m = A \cdot (|T_a|c_i + L_i + T_w c_w) \rho_i l_i \cdot t \quad (4.5)$$

ここで、

Q_m : 融雪による損失した熱量 (J)

A : 表面積 (m²)

T_a : 気温 (°C)

c_i : 氷の比熱, 2097 (J/(kg·°C))

L_i : 氷の融解顕熱, 3.336×10^5 (J/kg)

T_w : 返送水温 (°C)

c_w : 水の比熱, 4200 (J/(kg·°C))

ρ_i : 雪の密度 (kg/m³)

l_i : 降雪強度 (m/h)

t : 時間 (h)

である。まず3章の実験結果に対して前述の式を用いて各熱伝達および熱損失を計算し実験値との比較を行い、それを踏まえて長さ25mの屋根の散水融雪装置仕様の検討を行う。

4.1 実験結果と計算値の比較

予備実験とした実験1、山へ流すという特殊な流し方をした実験2及び2時間分の積雪により水温が計測できなかった実験7は解析対象から外した。

熱伝達と熱損失を計算するために、実験中計測しなかった項目について以下の仮定を設けた。

- 長さ3mの屋根模型を勾配5度で設置し、直径0.003, 0.005, 0.005mのチューブを通して棟から水を流したところ、軒先到達までに要した時間はそれぞれ7.42, 7.57, 7.74sとそれほど違いは無く、実験1の映像から確認できた時間もほぼ同じだったため、3回の平均である7.58sとする。
- 屋根温度は計測していなかったため、水温と同じと考え計測水温の平均値を屋根温度とする。なお、計測水温については有意水準5%でスミルノフ・グラブス検定を行い、外れ値と判定された値は除外した。外れ値は温度計の精度によるものと考えられる。
- 図2の左右の凹部に流量が分かれたときは、半分ずつ分かれる。
- 幅流量(散水流量/水の幅(m²/s))は映像から水の幅を推測して算出する。

解析結果を表2に示す。熱損失合計(実験)は棟から軒先間の水温低下量から算出した。計算値の誤差は、使用した温度計の精度や設けた仮定によるものと考えられる。水温約2°Cの実験は狭い範囲の水温での実験であるため、温度計の精度により比較的大きな誤差が出ていると思われる。

表2 実験の伝熱解析結果

実験番号	空気への熱伝達量 (kJ/h)	屋根への熱伝達量 (kJ/h)	蒸発による熱損失 (kJ/h)	融雪に要する熱量 (kJ/h)	熱損失合計(計算) (kJ/h)	熱損失合計(実験) (kJ/h)	誤差 (%)
3	13.7	316.9	0.0	163.8	494.5	430.9	14.7
4	32.0	606.8	0.1	650.2	1289.0	1043.3	23.6
5	26.4	740.0	0.0	213.3	979.8	1090.5	-10.2
6	64.0	824.0	0.1	604.4	1492.5	1560.4	-4.4
8	74.4	591.8	0.1	629.2	1295.5	1539.0	-15.8
9	35.8	339.0	0.1	697.3	1072.3	1176.0	-8.8
10	55.9	561.9	0.1	513.0	1130.9	1025.1	10.3
11	51.0	338.9	0.2	1032.2	1422.3	1218.0	16.8

4.2 長さ25mの屋根の散水融雪装置仕様検討

4.1節では、長さ3mの屋根模型実験の伝熱解析を行った。最大で23.6%の誤差はあったものの、伝熱解析が散

水融雪装置の散水水温検討に相当であると考えられるため、同様の手法で解析する。実験の結果を踏まえ、長さ 25m の屋根では以下の散水方法で検討する。

- 底にのみ散水する。
- 降雪開始前から散水する。
- 底全面に流れるように 10L/min 以上で流す。

また、以下の仮定で計算した。

- 等流とみなし、流速は長さ 3m の屋根と同じとする。
- 3.4 節から、水温低下は 2℃ 程度までは傾きが一定なので屋根温度は棟と軒先の水温の平均値とする。
- 風速 4m/s を超えると雪が飛ばされ積もらない⁸⁾ので、風速は 4m/s とする。

まず最低流量である 10L/min で流す場合を考える。3.2 節で述べた通り、流量 10L/min で散水した際は、軒先で 2℃ 前後あれば凍らないことが確認できたので、棟から散水しても軒先で 2℃ を下回らない散水温度を算出する。気温、湿度、飽和蒸気圧、降雪強度は 2014 年 2 月 15 日の最も降雪が多かった時間帯の値⁹⁾を用いる。雪密度は関東甲信の被災時の最大値 (200kg/m³)⁷⁾を用いて算出した。この結果、棟から 24.6℃ 以上で流せば 2℃ を下回らないと計算できた。

同様に 35L/min まで 5L/min ずつ流量を増やし、流量に対しての必要最低水温を図 14 に示す。このような図を作成すれば、散水融雪装置仕様の検討ができると考える。

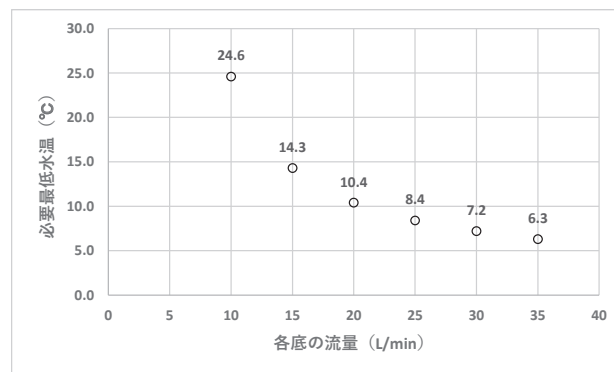


図 14 各底に流す流量と必要最低水温

5. 結論

2014 年 2 月の大雪によって首都圏にある緩勾配の大型折板屋根の建物が倒壊したので、倒壊対策としての散水融雪装置の仕様を検討するため長さ 3m の屋根模型を製作し散水融雪実験を行った。実験の結果、以下のことが分かった。

- ① 折板屋根の山に散水した場合、軒先到達前に底に落ちる事例も確認できた為、散水は底に集中させた方が効果的である。
- ② 平面に比べ、凹凸のある面では全面に流すのに要する流量が多い。
- ③ 屋根の全面に水が流れば低温でも面の散水融雪が可能であるが、流れなければ流量を補う十分な熱量が散水融雪には必要である。
- ④ 長さ 3m でも小流量では急激な温度低下が確認できたが、流量が増えるにつれて、温度低下はなだらかになった。
- ⑤ 長さ 3m の緩勾配折板屋根の本実験で効果が確認できたのは、約 7℃ の水を 5L/min で流したケースと約 2℃ の水を 10L/min で流したケースであった。

実験結果に対する伝熱解析を行った結果、長さ 25m の屋根にも適用可能と考えて伝熱解析を実施した。その結

果、散水融雪に必要な各底の流量と水温の関係を算出することができた。同様の手法を用いれば、他の大型屋根に散水融雪装置が必要になった場合の仕様検討に応用できると考える。

謝 辞

本研究は国立研究開発法人防災科学技術研究所との共同研究により実施した。実験に協力いただいた富樫数馬氏、鈴木紘一氏に深謝する。

参考文献

- 1) 上村靖司，梅村晃由：屋根融雪装置の能力設計に関する提案，日本雪工学会誌，第12巻第3号，pp.10-15.
- 2) 山崎三知朗，宮本重信，山端信也，永井二郎，前田博司：省エネで安価な屋根雪融雪装置の開発研究，「日本海地域の自然と環境」，第15巻，pp.123-138.
- 3) 童宇超，綿貫翔，山田正：屋根雪を防止する屋根散水システムにおける野外実験及び融雪仮定計算，土木学会論文集G（環境），第71巻第5号，pp.I_393-I_398.
- 4) 柳裕一郎，鈴木良介，平田信行，谷澤克治，山下克也：緩勾配の大型折板屋根における消雪装置のための調査研究，雪氷研究大会（2019・山形）講演要旨集，p.62.
- 5) 新潟県土木部都市局建築住宅課：屋根雪の処理方法の特徴や工夫に関する資料，12 pp.
- 6) 気象庁：過去の気象データ検索，1時間ごとの値，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/hourly_s1.php?prec_no=44&block_no=47662&year=2014&month=02&day=15&view=，（2020.10.26 閲覧）.
- 7) 喜々津仁密，石原直，大槻政哉：降雨の影響を考慮した雪荷重に関する基準整備について，2014年2月の大雪と積雪後の降雨を踏まえた建築物の対雪設計に関するシンポジウム，pp.11-17.
- 8) Higashiura Masao: Snow Melting on Roofs by Sprinkling Ground Water, Report of National Research Center for Disaster Prevention, No. 17, pp. 215-225.