

株式会社 鴻池組 正員 紫竹 義雄
 長岡技術科学大学 正員 早川 典生
 長岡技術科学大学 正員 後藤 巖

1. はじめに

豪雪地帯において屋根雪処理は不可欠であり、その効率的な処理法の開発は急務である。本研究は、屋根上を一様加熱する融雪法に対象を絞り、底面を一様加熱した時の斜面上(二次元)積雪層の融解過程について現象を把握し、一次元積雪層の融解過程との差異を明らかにすると共に解析モデルの構築を目指すものである。

2. 実験概要

実験装置概略を図-1に示す。この装置は底面に一様な熱流束を供給しうるヒーターを設置した、内のり400×75×150mmの透明なアクリル製水路であり、積雪層の融解過程が観察可能である。底面には温度分布測定のために熱電対を斜面方向に設置した。また、融雪水の挙動は、底面で与えた染料の広がりから観察した。実験条件を表-1に示す。実験には雪温0°Cのかわき雪を用い、外気温は0°Cに設定し、雪試料の空隙率・粒径、供給熱流束を変化させた。なお、ヒーターからの供給熱量の約七割が融解に使用され、残りは実験装置から散逸した。

3. 斜面上積雪層の融解過程のモデル化

3・1 融解過程の概要 ①積雪層底面を加熱すると融解が生じ、積雪層厚は上流から下流にかけて一様に減少する。発生した融雪水は、毛管上昇力により積雪層内へ浸透する。なお、水分の存在する湿り雪層と水分の存在しない乾き雪層の境界を浸透前面と呼ぶ。②さらに融解が進行すると、上流からの融雪水が流下してくるため、下流ほど融雪水量・浸透前面上昇速度が大きくなる。③最下流端において、保水能力を上回った融雪水は流出する。

3・2 物理モデル 図-2に境界の記号と座標系をしめす。解析モデルは、非定常の二次元不飽和浸透流に関するものであり、融雪水が下流端から流出するまでを解析対象とした。基礎方程式は以下ようになる。なお、記号の意味を表-2に示す。

$$\varepsilon \cdot \rho_w \frac{\partial S}{\partial t} = - \frac{\partial W_x}{\partial X} - \frac{\partial W_y}{\partial Y} - \varepsilon \cdot \rho_w \cdot U_y \frac{\partial S}{\partial Y}$$

$$U_y = - \frac{Q_0}{L \cdot \rho_s}$$

また、水分移動量 W_x, W_y については、大谷ら¹⁾、関ら²⁾の関係式を用いる。

$$W_x = - \varepsilon \cdot \rho_w (D(s) \frac{\partial S}{\partial X} + K(s) \sin \theta)$$

$$W_y = - \varepsilon \cdot \rho_w (D(s) \frac{\partial S}{\partial Y} + K(s) \cos \theta)$$

$$D(s) = - \frac{\varepsilon}{2 \cdot \phi \cdot (1 - \varepsilon)} \frac{\sigma \cdot d}{\mu} \alpha(s) \left(\frac{dP}{dS} \right)$$

$$K(s) = \frac{\varepsilon^2}{2 \cdot \phi^2 \cdot (1 - \varepsilon)^2} \frac{d^2 \cdot \rho_w \cdot g}{\mu} \alpha(s)$$

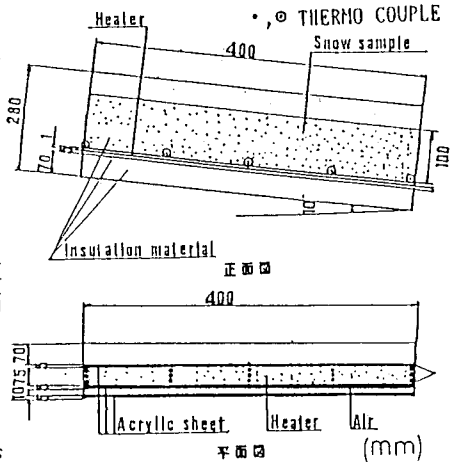


図-1 実験装置概略

表-1 実験条件

case	粒径 (mm)	空隙率	熱流束 (W/m ²)	適用
1	0.40~0.84	0.55	500	熱流束の変化
2	"	"	700	
3	"	"	1000	
4	"	0.60	500	熱流束の変化
5	"	"	700	
6	"	"	1000	
7	0.40~0.60	"	"	粒径の変化
8	0.60~0.84	"	"	
9	0.84~1.20	"	"	
10	0.40~0.84	0.50	"	空隙率の変化
3	"	0.55	"	
6	"	0.60	"	
11	"	0.65	"	

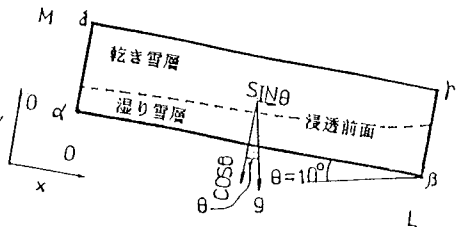


図-2 境界の記号と座標系

境界条件は次の様である。

$$t=0 \quad S=0, T=0$$

$$\alpha < X < \beta \quad W_y = \frac{Q_0}{L \cdot \rho_s} (\rho_s + \epsilon \cdot \rho_w \cdot S)$$

$$\beta < Y < \gamma \quad W_x = 0$$

$$\gamma < X < \delta \quad W_y = 0$$

$$\alpha < Y < \delta \quad W_x = 0$$

3・3 数値計算法 基礎式を差分法しSOR法により解を求めた。

4. 実験結果及び、実験結果と数値解析結果との比較

図-3に底面温度分布を示す。このグラフは、CASE-1の実験におけるヒーター上の温度を、斜面に沿って熱電対により測定した結果である。この図より、時間経過に伴って温度は一定値に近ずき、上流から下流にかけて一様となることから、このことは、ヒーターから供給される熱流束が融雪水の流れに妨げられることなく積雪層に伝達することを意味する。

また、実験から次のことを得た。○粒径・空隙率の小さい雪試料ほど積雪層内への融雪水の浸透が速く、空隙率・供給熱流束が大きいほど積雪層厚の減少速度が大きい。○底面温度は、空隙率・供給熱流束の大きさに比例し、それらを一定とした場合には粒径の大きさには影響されない。○積雪層厚が上流から下流にかけて一様に減少することと底面の温度が一様であることから、融雪水による層内でのエンタルピー輸送は生じない。

図-4に積雪層厚と浸透前面の経時変化を示す。この図は、CASE-1について20分毎の積雪層厚と浸透前面の計算結果と実験結果を描いたものである。実線は計算による浸透前面、破線は実験による浸透前面を表す。また、一点鎖線は計算による積雪層厚、二点鎖線は実験による積雪層厚を表す。積雪層厚の減少は、計算結果と実験結果がほぼ一致し、また、上流から下流にかけて一様であることから一次的であることが確認された。浸透前面の上昇は、計算結果と実験結果がほぼ一致した。浸透前面の飽和度は、従来の一次元積雪層の融解に関する研究³⁾において、飽和度を0.2前後とすると計算結果と実験結果が良好な一致を示すことが報告されている。二次元問題を扱った本研究の計算においても、浸透前面飽和度を0.2とすることにより実験結果との良好な一致を得た。

5. おわりに

①積雪層厚が上流から下流にかけて一様に減少する事と底面の温度が一様であることから、融雪水による層内でのエンタルピー輸送は生ぜず、積雪層厚の減少は一次的である。②浸透前面の計算結果と実験結果の良好な一致から、解析モデルの妥当性を確認した。

以上のことをもとに、融雪水流出開始後の融解現象への拡張を行いたい。

参考文献 1)大谷、前田；化学工学, 28-5(1964) 362 2)関、福迫、田中；日機論, 43(1977)、1086 3)青木、千葉；A S M E, 81-WA/HT-26(1981)

表-2 記号一覧

T	温度 (C°)	d	粒径 (m)
L	潜熱 (J/Kg)	φ	形状係数
ρ	密度 (Kg/m ³)	ε	空隙率
S	水分飽和度	t	時間 (s)
Q	熱流束 (W/m ²)	P	無次元毛管力
μ	粘性係数 (Pa·s)		
σ	表面張力 (N/m)		
α	経路係数の逆数		
g	重力加速度 (9.8m/s ²)		
W	水分移動量 (Kg/m ² ·s)		
λ	熱伝導率 (W/mk)		
U _v	層厚減少速度 (m/s)		
C	比熱 (W/kg·°c)		
	添字		
s	雪	w	水分

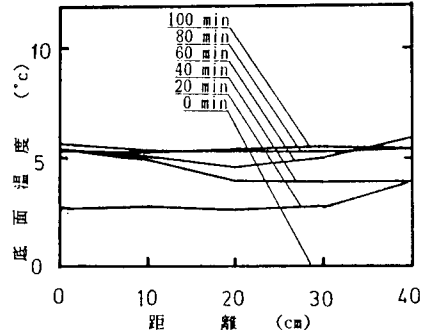


図-3 底面温度分布

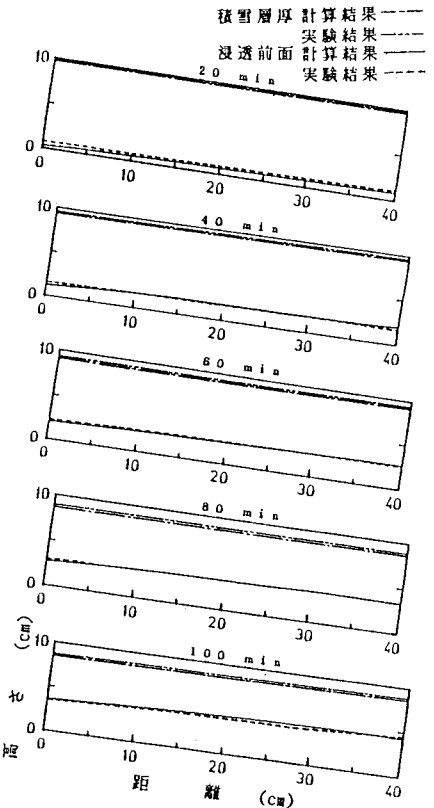


図-4 積雪層厚と浸透前面