

II-26

底面から加熱される積雪層の融解過程のモデル化

(株)本間組 正会員 小柳 徹
 長岡技術科学大学 正会員 河原 能久
 長岡技術科学大学 正会員 後藤 巖

1. はじめに

積雪層の融解過程を表現出来る数理モデルを構築することは、合理的な融雪システムを開発する上で重要である。紫竹ら¹⁾は、下流端からの融雪水の流出が発生する以前の初期の融解過程について実験およびモデル化を行った。しかし、流出開始以降については実験的にも検討されておらず、その融解過程は明らかでない。本研究は、斜面上積雪層をその底面より一様に加熱した場合の融解過程について特に融雪水の挙動に着目し、室内実験を行うとともに、数理モデルを作成して数値計算を行いモデルの妥当性を検討したものである。

2. 実験概要

実験装置の概略を図-1に示す。装置は、透明なアクリル板製であり、側面は断熱効果を高めるため、アクリル板による中空2重層とした。また、下流端より融雪水の排水が可能である。底面加熱部は、ラバーヒーターの電圧調整により所定の熱流束に設定した。積雪層は長さ880mm、幅69mm、高さ100mmの直方体である。

実験条件を表-1に示す。実験は、底面加熱部の一部が露出するまで続けた。積雪層表面の沈下、融雪水の浸透前面の位置および融雪水の下流端からの流出量を30分毎に記録した。また、下流端からの融雪水の流出開始時の下流端付近の飽和度の測定も行った。

3. 実験結果

図-2は積雪層の沈下状況を表している。実験開始時に積雪上面、上面から3cm、6cmの深さにマーカを設置し時間的な変化を追跡した結果である。いずれの位置においても積雪上面に平行に沈下している。このことは、沈下が積雪層底面の融解によってのみ生じ、底面部分をのぞいて積雪層厚は変化していないことを示している。図-3は、粒径の異なる積雪層（間隙率60%の場合）の沈下量および累積流出量の経時変化を表したものである。累積沈下量の変化は直線的であり、融雪水の流出開始後においても積雪層の沈下速度は一定とみなしうる。融雪水の流出開始時刻は粒径の大きいものほど早い。

積雪層下流端よりサンプルを取り出し、結合熱量計法を用いて融雪水の流出開始時の下流端の飽和度を測定した結果、その値は実験範囲内ではいずれも約0.5であった。

表-1 実験条件

	粒径 (mm)	間隙率 (%)
1	~0.42	60
2	0.42~0.84	60
3	0.84~1.20	60
4	1.20~2.40	60
5	0.42~0.84	53
6	0.84~1.20	55
7	1.20~2.40	55

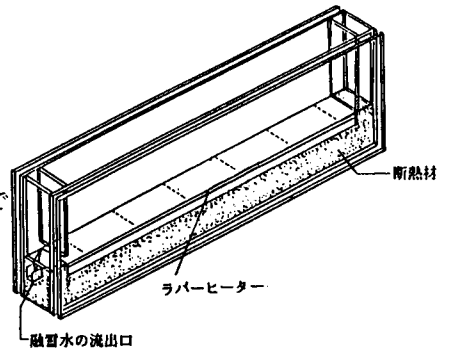


図-1 実験装置概要

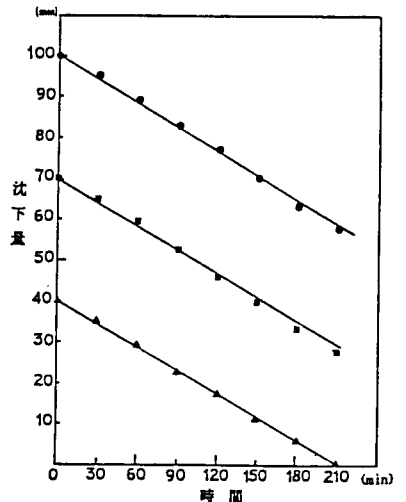


図-2 積雪層の沈下

4. 実験結果と数値計算結果との比較

数値モデルでは、融雪が底面のみで発生すること、また、それに伴って積雪層厚が減少すること、積雪層が均質等方的であり融雪中に変化しないこと、積雪層下流端からの融雪水の流出は下流端の飽和度によって決定されるものとし、その飽和度は0.5であるとした。表-2にモデル化された積雪層内の水分の輸送方程式を示す。数値計算ではこの方程式を差分法で解いた。

図-4は融雪水の浸透前面について実験結果と計算結果とを比較したものである。計算結果においては飽和度が0.15の位置を浸透前面としている。計算結果は実験結果と比べると、初期にやや差異が見られるもののかなり良好に一致している。

図-5は累積流出量の計算値(○印)と実験値(△印)を示したものである。同一条件で行った2つの実験値と比較すると、実験値と計算値はかなり良好な一致を示していると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 浸透前面は、初期において底面と平行であるが、やがて傾斜の影響を受けて下流端で最高となる。また、上昇高さは、粒径が細かい程高くなる。
- 2) 下流端からの流出開始は、粒径が細かい程遅くなる。
- 3) 計算結果より得られた積雪層内の飽和度のコンターラインと実験で観察された浸透前面は同様の傾向を示し、計算値0.10~0.15とした場合浸透前面と良く一致する。
- 4) 融雪水が下流端から流出開始する場合の飽和度を0.5として計算を行った結果、実験値と計算値は良好な一致を示した。

参考文献 1) 紫竹, 早川, 後藤: 第41回年講, II-4

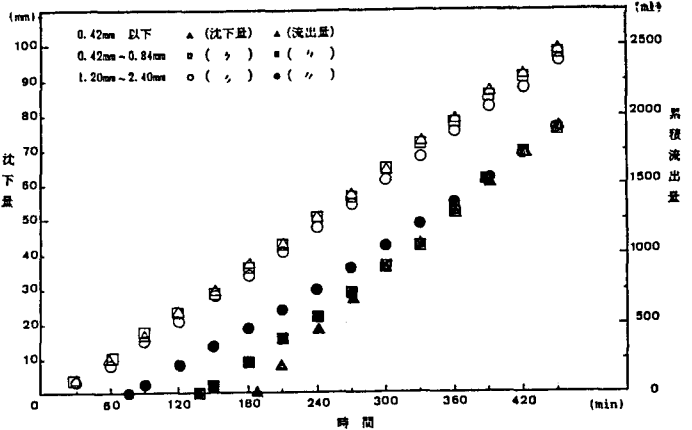


図-3 沈下量と累積流出量

表-1 基礎方程式

$$\epsilon \rho \frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} (W_x) - \frac{\partial}{\partial y} (W_y) - \epsilon \rho \left(\frac{\partial S}{\partial x} V_x + \frac{\partial S}{\partial y} V_y \right)$$

$$W_x = \epsilon \rho \left(D \frac{\partial S}{\partial x} + K \sin \theta \right), \quad W_y = \epsilon \rho \left(D \frac{\partial S}{\partial y} - K \cos \theta \right)$$

$$K = \frac{\epsilon}{2\phi(1-\epsilon)} \frac{d}{\mu} \rho g \alpha, \quad D = -\frac{\epsilon}{2\phi(1-\epsilon)} \frac{\sigma d}{\mu} \alpha \frac{\partial P}{\partial S}$$

$$\alpha = 0.67 \text{EXP} \{6(S-1)\}, \quad P = 0.77 + 0.3 / (S+0.28) - \text{EXP} \{30(S-1)\}$$

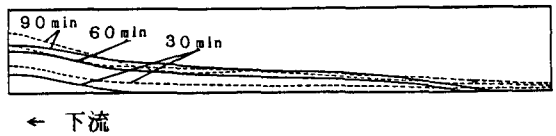


図-4 融雪水の浸透前面位置

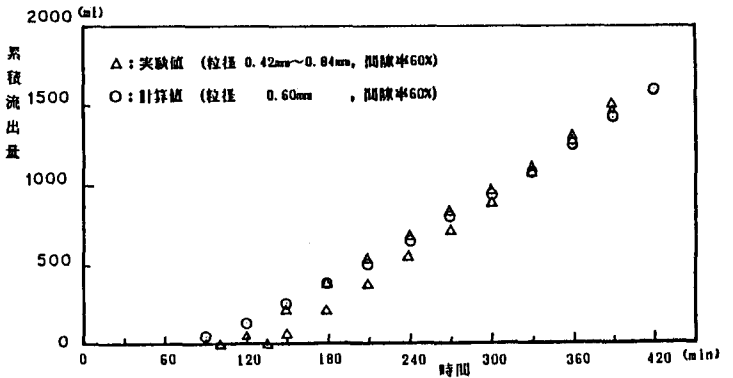


図-5 流出量の比較