

金沢大学工学部

正会員 高瀬 信忠

石川工業高等専門学校

正会員 O 畑 時男

1. はじめに

著者らはこれまで盛土上の自然積雪について融雪および融雪水の浸透の観測を行なって来た。しかし自然積雪における層構造の存在のため融雪水の浸透に関する基本特性を十分検討するにいたらなかった。

本報告では均質なざらめ雪を対象に鉛直浸透の実験を行ない、積雪の浸透特性および Colbeck のモデル適用について検討した。

2. 実験方法

実験はその周囲を雪で覆われ、更に外部を断熱材で保護された円筒サンプラー（直径108mm、長さ500mm）内の雪柱に0°Cに保持された水を流入させることにより行なわれた。図-1に実験のフローを示す。実験継続中の恒温室の温度は0°Cに保たれる。¹⁾

また実験は流入条件により3つのシリーズに分けて行なわれた。シリーズAは一定流入強度を実験ごとに変化させ、シリーズBは流入時間を変化させた。シリーズCは三角波形を持つものである。

また積雪サンプルについては採取後恒温室内に1時間直立させ、更に実験の前後には積雪サンプルの密度、含水率、粒径を測定した。

3. 実験結果

(1) 積雪内における不飽和鉛直浸透

S. C. Colbeck は積雪内における融雪水の鉛直不飽和浸透流に Darcy 則の適用が可能とし、更に含水率が小さい時以外は圧力項を無視できるとして、次式で流下フラックス u の式を与えた。

$$u = \rho_w g \mu_w^{-1} k_w \quad (1)$$

$$k_w = k S_e^n \quad (2)$$

ここで、 ρ_w は水の密度、 μ_w は水の粘性係数、 k_w は水の不飽和透水係数、 S_e は有効飽和度、 k は水の固有透水係数である。Colbeck は式 (2) の指数 n を3とした。

式 (1) を連続方程式に代入して得られる基礎式の特性曲線の勾配は次式で得られる。

$$dz/dt|_u = n \alpha^{\frac{1}{n}} k^{\frac{1}{n}} \phi_e^{-\frac{1}{n}} u^{\frac{n-1}{n}} \quad (3)$$

z は鉛直下向きの座標であり、 α は $\rho_w g \mu_w^{-1}$ 、 ϕ_e 有効空隙率である。²⁾

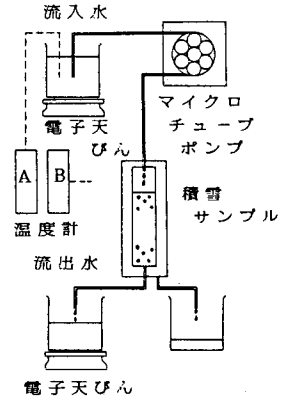


図-1 実験のフロー

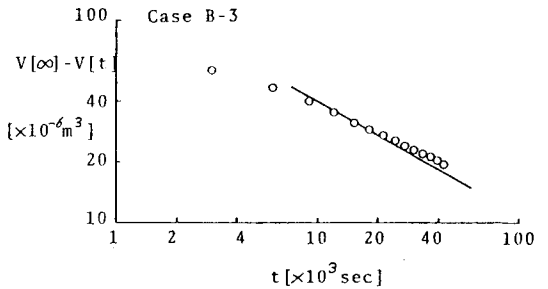


図-2 $V[\infty] - V[t]$ と t の関係

表-1 指数 n の値

実験番号	密度 (g/cm^3)	空隙率 (%)	粒径 (mm)	初期フラックス u ($\times 10^{-6} m/sec$)	n
A-1	0.623	734.7	2.5	1.04	3.7
A-2	0.572	740.8	2.0	2.28	2.8
A-3	0.496	749.7	1.8	3.74	4.0
A-5	0.515	747.5	2.0	5.78	1.9
B-3	0.530	745.7	1.8	3.68	3.2
B-5	0.509	748.2	1.8	3.75	3.0

一方, A. Denoth らは式(3)をもとに初期有効飽和度 S_0 が全体にわたって一様な長さ L の雪柱からの累加流出量 $V(t)$ と時間 t の関係式

$$\log[V(\infty) - V(t)] = [1/(1-n)] \cdot \log t - \log \left\{ A(n-1) \left[\frac{L \phi (1-S_i)}{n(\alpha k)^{1/n}} \right]^{\frac{n}{n-1}} \right\} \quad (3)$$

を与え, これより n を求めた。ここで t_0 は S_0 に対応する初期フラックス u_0 が長さ L の雪柱を伝播する時間, S_i は残留飽和度である。³⁾

(2) 指数 n の検討

図-2 はシリーズ A, B の実験結果をもとに $\log(V(t \rightarrow \infty) - V(t))$ と $\log t$ の関係をプロットしたものであり, 表-1 はこれをもとにして推定された n の値である。 n を求める際幾つかの仮定をもとに $V(t)$, $V(t \rightarrow \infty)$ が推定されている。それ故信頼度の問題があり, ばらつきがみられるが, 第一近似としてその平均をとると $n=3.1$ となる。

(3) フラックスの伝播速度と固有透水係数

図-3 はシリーズ C の実験結果より推定されたフラックスとフラックスの伝播速度との関係を示したものである。

図中の一点鎖線は式(3)の n を 3 と仮定した時の回帰式である。図-3 と式(3)の対応からシリーズ C の実験結果の 2 例について固有透水係数を求めると 19.5×10^{-9} , $17.0 \times 10^{-9} (\text{m}^2)$ となる。この値は黒岩の実験値と比較するとざらめ雪の上限値に相当する。図-4 は自然積雪と実験におけるピーク伝播速度の比較を示す

(4) 浸透流出の推定と実測値の比較

図-5 は不飽和鉛直浸透モデルにおいて n を 3 とし, 固有透水係数をシリーズ C の実験結果の平均値 $k = 18.3 \times 10^{-9} \text{m}^2$ を用いて計算値と実測値を比較したものである。なおこの際

積雪サンプルの初期含水率は残留飽和度 S_i に対応し, 一様であると仮定した。

実測値と計算値を比較すると, 図-5 も含め, 一般的傾向として浸透流出曲線の立ち上がり時刻が実測値の方が早くなっている。これに対して減衰部は実測値と計算値が比較的一致している。

[参考文献] 1) 河原, 他: 土木学会年次学術講演会講演概要集, 1983

2) Colbeck, S.C.: International Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology, 1972

3) A. Denoth, et al.: Proceedings of a Melting of Snowcover Runoff, 1978

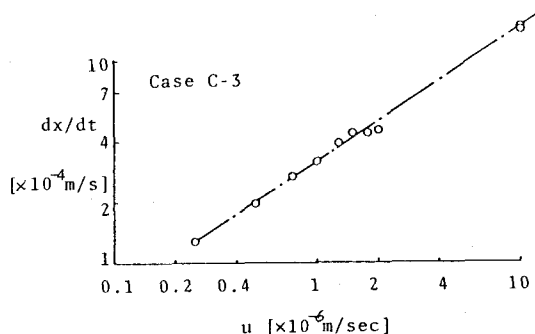


図-3 dx/dt と u の関係

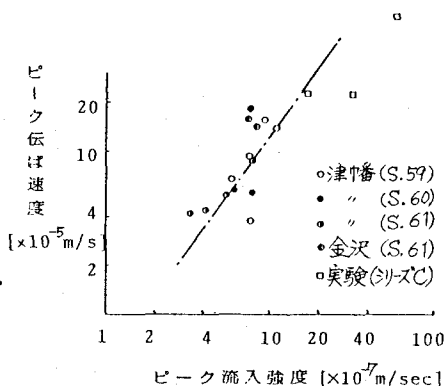


図-4 ピーク伝ば速度と流入強度の関係

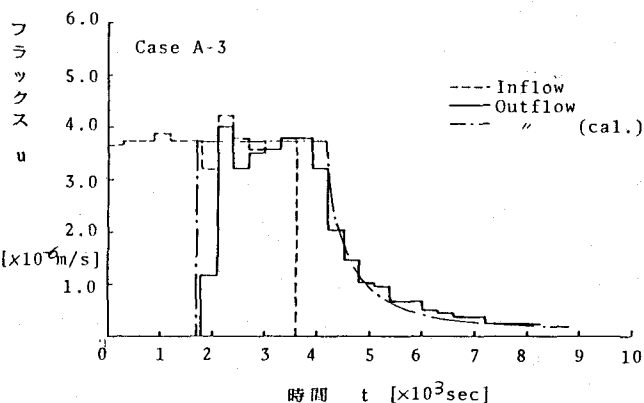


図-5 流出強度の実測値と計算値の比較