

II-27 融雪水の積雪内不飽和鉛直浸透に関する実験的研究(II)

石川工業高等専門学校 正 員 ○畑 時男
金沢大学工学部 正 員 高瀬 信忠

1. はじめに

前報では、一様な積雪サンプルを用いて、融雪水の一次元不飽和鉛直浸透の実験を行い、その特性について検討した。そしてその排水過程においては、重力流の近似を行ったColbeckのモデルでの近似が可能なことを示した¹⁾。本報ではさらに、均質なざらめ雪における透水係数の値および融雪水の浸透を繰り返し受けた場合における積雪の浸透特性の変化について検討を行った。

2. 実験方法

実験の概要は前報とほぼ同様であり、図-1のフロー図に示すような方法で行われた。ただ本年は少雪であったため、自然積雪からのサンプルの採取が困難であった。このためサンプルとしては屋根雪が落下堆積したものから採取した。そしてこの積雪サンプルを0°Cに保持された恒温室内に2時間直立させた後、一定強度の0°Cの水を流入させて行った。0°Cの水の流入は、1サイクルを図-2の実験例（D-5）で示されるように、80分間の流入継続時間と120分間の流入停止時間の両者で構成されるとし、2ないし3サイクルの実験を行った。

なお、表-1は本報における実験条件を示すものである。

3. 実験結果と考察

(1) フラックスの伝播速度とフラックスの関係 Colbeckは積雪内における融雪水の不飽和鉛直浸透流にDarcy則を適用し、フラックス u の伝播速度式として次式を与えた。

$$dz/dt|_u = n \alpha^{1/n} k^{1/n} \phi_0^{-1} u^{(n-1)/n} \quad (1)$$

ここで、 z は鉛直下向きの座標、 t は時間、 k は飽和透水係数、 ϕ_0 は有効空隙率、 $\alpha = \rho_w g \mu_w^{-1}$ （ ρ_w は水の密度、 g は重力の加速度、 μ_w は水の粘性係数）である。また、 n は水の不飽和透水係数 k_w と有効飽和度 S_e との関係を次式で表した時の指数である。

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

Colbeckはこの指数 n を3としている²⁾。

さて図-3および図-4はD-1およびD-2について1サイクル目の減衰部（排水過程）のデータをもとにフラックス u の伝播速度 $dz/dt|_u$ とフラックス u の関係を示したものである。また図中の直線は指数 n を3と仮定したときの回帰直線である。これより式(1)が本報の実験範囲内ではほぼ成立するものと考えられる。しかし、指数 n の値としては3よりやや大きい値をとるように

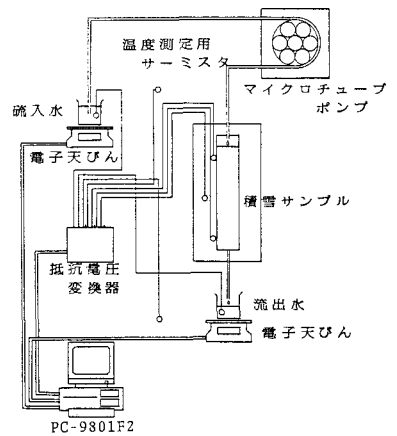


図-1 実験のフロー図

表-1 実験条件

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5
雪 質	ざらめ雪	ざらめ雪	ざらめ雪	ざらめ雪	ざらめ雪
平均流入強度 (mm/hr)	13.7	13.7	21.2	14.4	21.6
サイクル数	2	2	2	2	3
試料の高さ (cm)	45	45	45	45	45
ぬれ密度 (g/cm ³)					
実験前・上	0.45	0.47	0.53	0.40	0.38
下	0.47	0.47	0.56	0.47	0.50
実験後・上	0.47	0.47	0.50	0.46	0.38
下	0.44	0.48	0.53	0.56	0.52
空 隙 率					
実験前・上		0.52	0.44	0.67	0.64
下	0.54	0.53	0.40	0.64	0.53
実験後・上	0.55	0.51	0.50	0.59	0.63
下	0.57	0.51	0.48	0.49	0.52
重量含水率 (%)					
実験前・上		5.9	2.5	25.0	11.8
下	9.4	8.1	1.5	29.5	13.5
実験後・上	12.2	3.6	7.6	18.0	11.5
下	9.7	5.7	10.5	16.3	15.8
粒 径 (mm)	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5

も思われる。

(2)飽和透水係数の推定 前述の結果をもとに、式(1)と実験結果の対応から $n=3$ と仮定して、1サイクル目の排水過程から飽和透水係数 k を推定した。これらの値は前報において得られた値とほぼ等しいか、やや小さい値となっている。図-5は推定された飽和透水係数 k の値を清水の式³⁾

$$k = 0.077 d_0^2 \exp(-7.8 \rho_d / \rho_w) \quad (2)$$

より得られた粒径別の値と比較をしたものである。

ここで d_0 は積雪の粒径、 ρ_d は雪のかわき密度である。本報で推定された値は、清水の式から推定された値と比較すると、オーダー的にはほぼ等しいが、やや小さい値となっている。これらの値は、Baderらの実験値あるいは黒岩の実験値において対応すると思われる雪質の飽和透水係数とほぼ同様な値となっている。変態の十分に進んだ融雪末期のざらめ雪層の飽和透水係数 $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ m}^2$ のオーダーにあるものと考えられる。

(3)繰り返し浸透を受けた場合の影響

図-6はD-5の実験例について各サイクルごとの排水過程におけるフラックス u の伝播速度 $dz/dt|_u$ とフラックス u の関係を示したものである。繰り返し回数が少なく、顕著な変化は見られないが、一部の実験例を除けば、浸透の繰り返し回数が増加するにつれ、同一フラックスに対して伝播速度が大きくなる傾向がみられる。これは浸透を受ける過程において積雪内の組織が変化し、透水係数が大きくなると考えられる。表-2は(2)と同じ様な方法によって $k^{1/3} \phi_e^{-1}$ を求めたものである。

[参考文献]

1)畑，高瀬：融雪水の積雪の鉛直浸透に関する実験的研究，土木学会第42回年次講演会，1987

2)Colbeck, S. C., G. Davidson: Water percolation through homogeneous snow, 1972

3)Shimizu, H.: Air permeability of deposited snow, Low Temp. Sci., Ser. A, No. 22, 1970

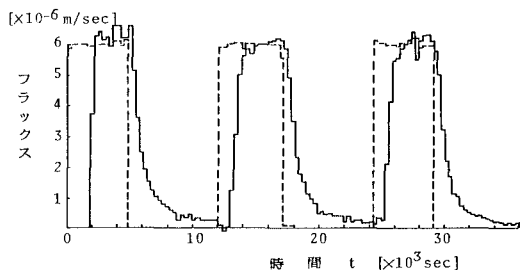


図-2 流入フラックスと流出フラックスの時間変化 (D-5)

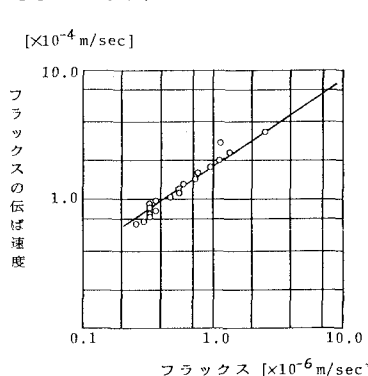


図-3 フラックスの伝播速度とフラックスの関係 (D-1)

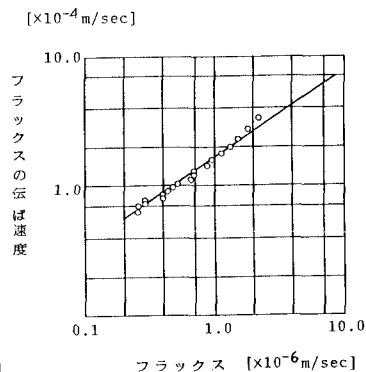


図-4 フラックスの伝播速度とフラックスの関係 (D-2)

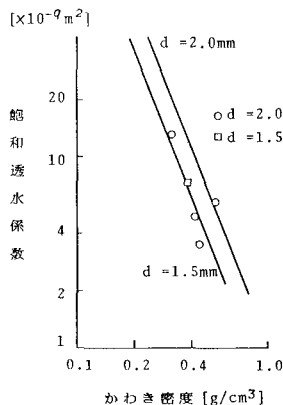


図-5 飽和透水係数とかわき密度の関係

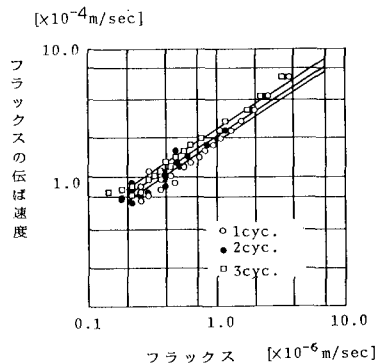


図-6 フラックスの伝播速度とフラックスの関係

表-2 $k^{1/3} \phi_e^{-1}$ の変化 ($\text{m}^2/3$)

	1サイクル	2サイクル	3サイクル
D-1	3.36×10^{-3}	3.36×10^{-3}	
D-2	3.11×10^{-3}	3.87×10^{-3}	
D-3	4.64×10^{-3}	6.00×10^{-3}	
D-4	3.88×10^{-3}	4.81×10^{-3}	
D-5	3.60×10^{-3}	3.86×10^{-3}	4.47×10^{-3}