

マクロポアが土の凍結深や融雪水の下方浸透に及ぼす影響 Influence of macropores on soil freezing and infiltration in to the frozen soil

○釘崎佑樹, 渡辺晋生
Yuki Kugisaki, Kunio Watanabe

1. はじめに 寒冷圏の農地の水・施肥管理には、凍土の融解にともなう融雪水の浸透の評価が重要である。人工凍土を遮水壁として利用する場合も凍土への水の浸透の検討が不可欠である。ところで、土中にはマクロポアがしばしば存在する。鉛直に連続したマクロポアでは大量の水の浸潤や、空気の対流が生じる。土の凍結・融解浸潤過程においても、マクロポアが水移動や熱の伝わり方に影響すると考えられるが、その詳細を調べた例は少ない。そこで本研究では、マクロポアを含まない土と異なる径のマクロポアを含む土の1次元カラム凍結・融解浸潤実験を行い、凍結深の進展や水分移動を比較した。

2. 試料と方法 岩手大学附属農場休耕畑で採土した黒ボクから植物根を取り除き、2 mm 篩通過分を試料に用いた。試料を含水率 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ に調整し、内径 7.8 cm、高さ 35 cm のアクリル鉛直カラム (Fig. 1) に乾燥密度 $1.05 \text{ g}/\text{cm}^3$ で充填した。試料の飽和含水率は $\theta_s = 0.56 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、飽和透水係数は $K_s = 14.6 \text{ cm}/\text{d}$ である。カラムに熱電対を 1 cm 間隔、TDR 水分計とテンシオメータを 5 cm 間隔で設置した。TDR 水分計は凍土中の液状水量（不凍水量）を測定できるよう検量した。丸棒管 ($\phi 2.0, 5.0 \text{ mm}$) を地表から下端まで挿し抜き、鉛直のマクロポアを 4 つ設けた。以降の作業・実験は 2°C の低温室内で行った。カラムの側面を断熱し、低温室に静置することで試料に初期温度・重力水分分布を与えた。試料上下端を $-6.6, 2^\circ\text{C}$ にそれぞれ制御し、給排水なしの条件で試料を上端より凍結した。48 h 凍結後、上下端の温度制御を止め、上端から 2°C の純水を 15 cm の湛水条件で浸潤した。浸潤水量はマリOTT管の重量変化から測定した。凍結・融解過程の土中の温度、水分量、土中水圧、浸潤水量を 2.5 分間隔でモニターした。

3. 結果と考察 装置上端の温度が低下すると試料上端より土が凍結し、凍結前線が土中を下方へ進行した。Fig. 2 に凍結前線の経時変化を示す。凍結前線の進行速度は凍結初期に速く、時間とともに緩やかに一定値に近づいた。マクロポアを含まない土の 48 h 凍結後の凍結前線は地表から 18.2 cm 深であった。一方マクロポアのある土では $\phi 2.0 \text{ mm}$ で 15.7 cm 深、 $\phi 5.0 \text{ mm}$ で 3.2 cm 深とマクロポアの径が大きいほど凍結が進行しなかった (Fig. 2)。試料下方の比較的暖かい空気のマクロポア中での対流や、凍結面近傍のマクロポア内壁への水蒸気の凝結などが凍結を抑制したと考えられる。

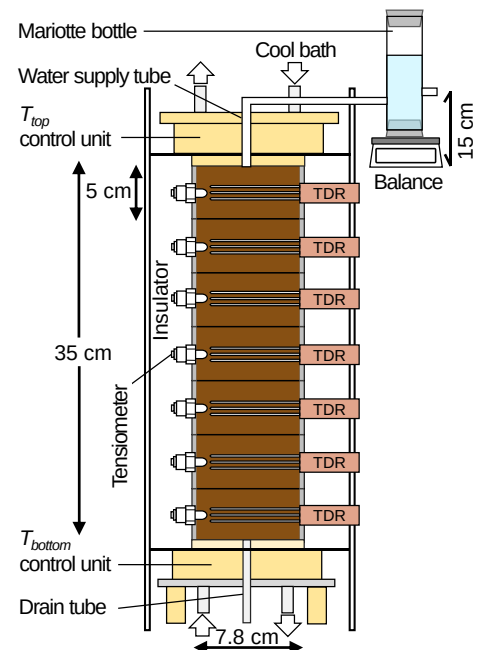


Fig. 1 実験装置の概略図
Schematics of experimental setup.

試料上下端の温度制御を止め、浸潤したときの積算浸潤量を Fig. 3 に示す。図中には未凍土への積算浸潤量も付記した。マクロポアを含まない土では、浸潤開始直後は凍土へ水が流れなかったが、20 h～50 h は 0.56 cm/d とゆっくり浸潤した。そして 50 h から浸潤水量が急増し、55 h には未凍土並みに浸潤した。この際の地温と液状水量分布を Fig. 4 に示す。50 h には、凍土層は地表から 4 cm 深まで融解した。この際、凍土層内の液状水量は地温の上昇にともなう氷の減少により増加したが、凍土下の液状水量は増加しなかった。55 h には 6～13 cm 深に凍土層が約 0°C で残っていたが比較的透水性が高く、水は凍土層内を流下した。 $\phi 2.0$ mm のマクロポアを含む凍土への浸潤水量は、マクロポアを含まない凍土への浸潤水量と一致した (Fig. 3)。一方 $\phi 5.0$ mm のマクロポアを含む凍土では、浸潤開始直後にはマクロポアを含まない凍土と同様にほとんど浸潤しなかったが、17 h 頃から浸潤量が急増した (Fig. 3)。この際の地温と液状水量分布を Fig. 5 に示す。17.0 h では、凍土下の液状水量は増加しなかった。しかし、約 10 分後の 17.2 h には凍土下の液状水量が一気に増加し、冷たい水の流下により凍土下の地温が低下した。地表から約 13 cm 深までには -0.5°C の透水性の低い凍土が残っていたことから、水はマクロポアを介して凍土下へ浸潤したと考えられる。また 17 h 頃までマクロポア流れが発生しなかったのは、マクロポア、あるいはマクロポアへの流路が凍土や氷により閉塞していたためと考えられる。

50 h 頃にカラムを解体すると、凍土層のマクロポアには孔を塞ぐように、長さ 3 cm 程度の氷ができていた。Fig. 3 の 22 h 頃に浸透速度が一度遅くなったのは、この氷がマクロポア中の水の流れを抑制したことが原因であろう。このことは比較的流速の速いマクロポア中でも浸潤水の再凍結が生じうることを示唆している。

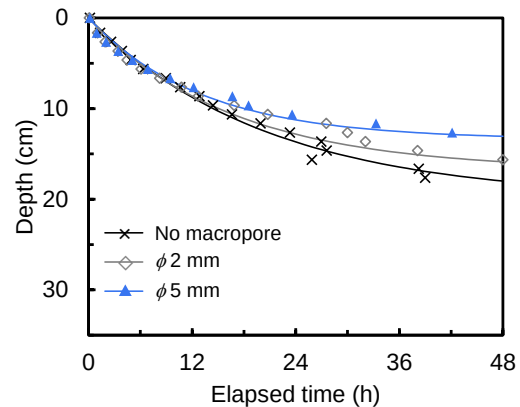


Fig. 2 異なるマクロポアを持つ土の凍結前線の経時変化 Frost depth for 3 samples.

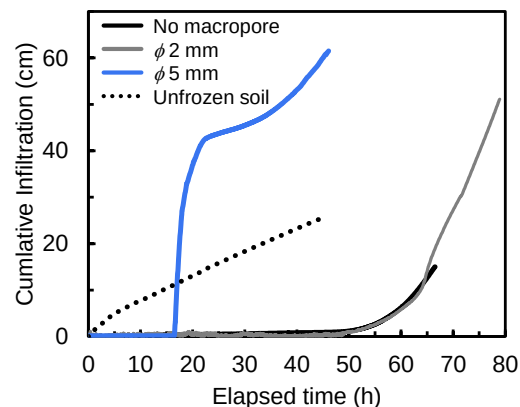


Fig. 3 異なるマクロポアを持つ凍土への積算浸潤量 Cumulative infiltration into frozen soils.

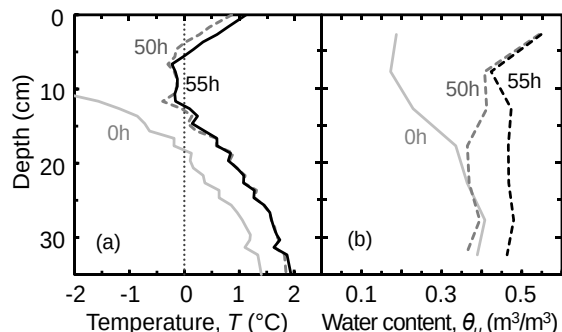


Fig. 4 融解浸潤開始後の温度・液状水量分布 (マクロポアなし) Profiles of (a) soil temperature and (b) water content during infiltration (No macropore).

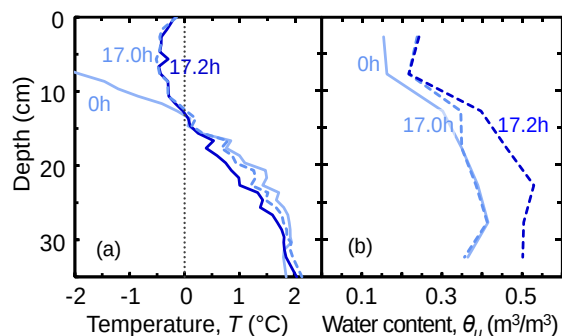


Fig. 5 融解浸潤開始後の温度・液状水量分布 ($\phi 5$ mm) Profiles of (a) soil temperature and (b) water content during infiltration (4 macropores with $\phi 5$ mm).