

断続的な浸潤にともなう凍土中の水分量と地温の変化 Water and Temperature Distribution in Frozen Sand following Infiltrations

○佐藤 郁弥・渡辺 晋生
Fumiya Sato and Kunio Watanabe

はじめに 寒冷地の水・熱循環や土壌微生物活性, 地下水涵養を考える上で, 浸潤に伴う土中の水分・温度変化を理解することは重要である. 特に比較的乾いた凍土やマクロポアを含む凍土には水がよく浸潤し凍土の融解を促進するが, この際の浸潤量と地温上昇の関係や浸潤水の土中での凍結については不明な点が多い. また未凍土への浸潤に伴う土中の水分分布の変化は, 浸潤水量が等しくても, 水が断続的に浸潤する場合と連続的に浸潤する場合で異なる. しかしながら, 凍土においてはこうした相違についてもよくわかっていない. そこで本研究では, 凍土へのカラム浸潤実験を行い, 凍土と未凍土, あるいは凍土に断続的に浸潤した場合と連続的に浸潤した場合の土中の水分・温度変化の違いと浸潤水の凍結量を明らかにすることをすることを目的とした.

試料と方法 内径 7.75 cm, 高さ 25 cm のアクリル鉛直カラムに, 風乾した鳥取砂丘砂を乾燥密度 1.5 g/cm³で詰めた. カラム側面より熱電対と EC5 土壌水分センサを 1 および 2.5 cm 間隔で挿入し, 温度と土中水分量 (液状水量) を 10 秒間隔で測定した. カラムを 3°C あるいは -3°C の恒温庫に 12 h 以上静置し, 試料に初期温度分布を与えた (未凍土と凍土). 庫内温度を 0~3°C とし, 試料の表面に 7~11°C の水を 30 分毎に 6 分間, 1.37 cm/h で断続的に (条件 1), あるいは 1.37 cm/h で連続的に滴下した (条件 2). 任意の時間にカラムを解体し, 浸潤水の水みち形状を確認するとともに, 各深さの全水量を求めた. そして全水量と液状水量の差から含氷量を求めた.

結果と考察 未凍土と凍土に断続的に水を滴下した時 (条件 1) の各深さの含水率 (液状水量) と温度の時間変化を図 1, 2 に示す. 図中網掛部は水の滴下期間を示す. 初期温度が 3°C の場合 (図中点線), 各深さの液状水量は水の滴下期間に増加し, 非滴下期間には再分布が生じてはいるもののおよそ一定を維持した. 初期温度が -3°C の場合 (図中実線) も各深さの液状水量は水の滴下期間に増加したが, 非滴下期間には徐々に減少した. 滴下期間に比べ流下速度の遅くなった浸潤水の一部が凍結したためと考えられる. また, 初期温度が 3°C の場合, 各深さの温度は浸潤にかかわらずほぼ一定を維持した (図 2 点線). 一方 -3°C の場合, 1.25 cm 深の温度は浸潤前線の到達とともに上昇し, 3.75, 6.25 cm 深の温度は浸潤前線の到達前から次第に上昇した. 凍土の温度上昇は, 非滴下期間より滴下期間で速く, こうした傾向は浅いほど顕著だった. また, 6.25 cm 深の温度は, 浸潤前線の到達とともに急激に上昇した. 実験終了時に試料の断面を観察した所, 水が流下した領域 (水みち) としなかった乾いた領域に分けられた. このことから, 6.25 cm 深の温度の急上昇は, 選択流が生じ多量の浸潤水が测温部に急激に到達したためと考えられる.

図 3 に条件 1 の初期温度が -3°C の場合の水分・温度分布を示す. 試料の含水率は滴下を開始すると試料上端から増加し, 浸潤前線の先端部が 2h (滴下期間 4 回, 総滴下水量 0.55

三重大学大学院生物資源学研究所 Graduate School of Bioresources, Mie University

キーワード: 凍土, 浸潤, 断続的, 凍結

cm) で 6.25 cm 深へ到達した。この時、浸潤前線より上方の含水率は、滴下期間の増加と非滴下期間の減少を繰り返し、4.1 h (滴下期間 9 回, 総滴下水量 1.23 cm) に約 0.13 に達した。また、4.1 h の浸潤前線より上方の含水率 (全水量と液状水量の差) は約 0.1 だった。含水率は浸潤前線から表層に向けて高くなっており、特に 0~5 cm 深で高かった。試料の温度は滴下を開始すると試料上端から上昇し、2 h, 4.1 h で浸潤前線より深い 7 cm, 10.5 cm 深の温度が上昇し始めた。断続的に水が浸潤する際には非滴下期間でも下方に熱が伝導するため、地温上昇が水の浸潤に先行したと考えられる。また、浸潤前線より上方の温度は、0°C で停滞した。凍土の融解と浸潤水の凍結により液状水と氷が共存したとみなせる。

図 4 に、初期温度が -3°C の凍土について条件 1 (断続: 4.1h) と、等量の水を滴下した条件 2 (連続: 1 h) の水分・温度分布を示す。浸潤前線の先端部の位置は条件 1 と 2 とともに 8.75 cm 深だったが、浸潤前線より上方の含水率 (液状水量) は条件 1 で約 0.13, 条件 2 で約 0.19 と、条件 2 の方が高かった。条件 2 については浸潤前線より上方の温度も正温となっており (図 4 右), 浸潤速度が速く保たれていることと、連続的な熱の移流により浸潤水の土中での凍結が生じなかったと考えられる。条件 1 については、非滴下期間に浸潤水の一部が凍結するものの、氷は土中の水の流れにあまり影響を与えない小さな間隙や間隙間の凹みに生じたため、浸潤前線の位置が条件 2 と一致したと考えられる。

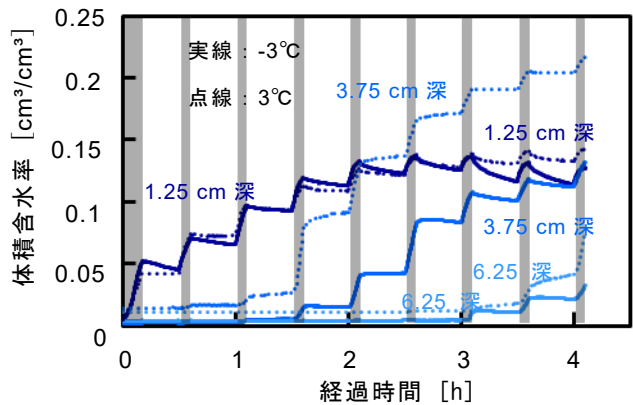


図 1 初期温度 3°C, -3°C の砂の水分量の時間変化

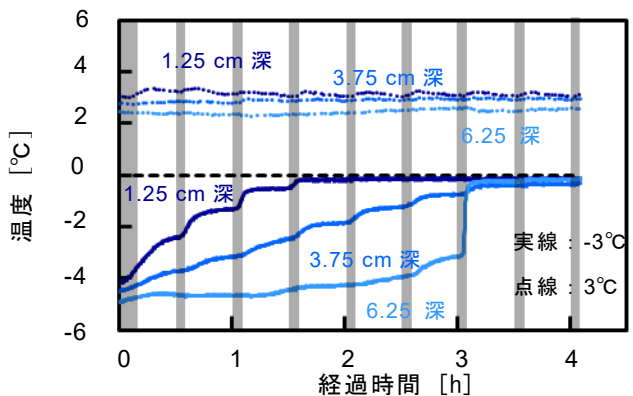


図 2 初期温度 3°C, -3°C の砂の温度の時間変化

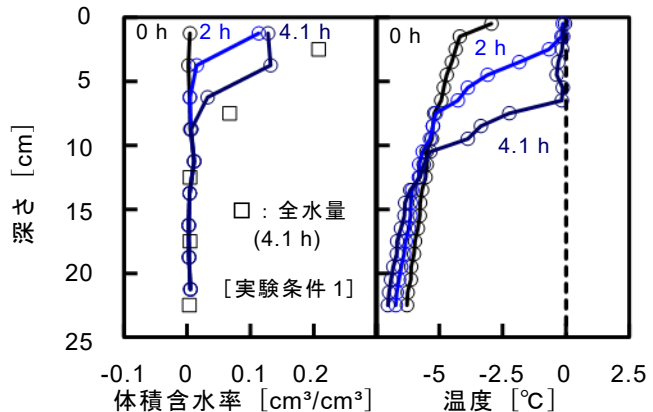


図 3 初期温度 -3°C の砂の水分・温度分布

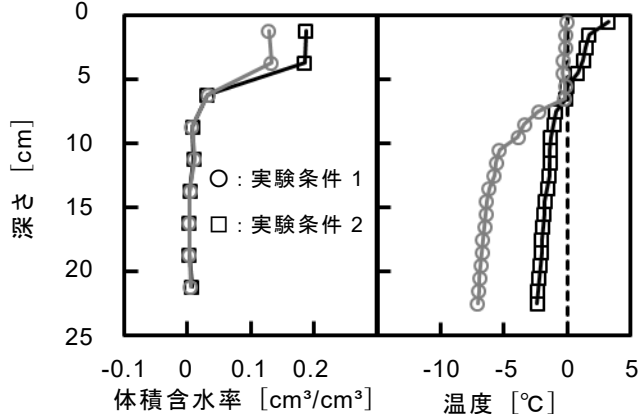


図 4 各実験条件による砂の水分・温度分布の違い