

不凍水量にもとづく凍土の透水係数の評価

Investigation of hydraulic conductivity of frozen soil with the amount of unfrozen water

○長田友里恵*1・渡辺晋生*1
Yurie Osada, Kunio Watanabe

はじめに

土が凍結・融解する際、土中水の相転移にともなう潜熱により、地温が融点近傍で停滞する。この際、どのタイミングでどの程度の水が土中に浸透するのかを知ることは寒冷圏の水循環や農地管理を考えるうえで重要である。また、人工凍土を活用する上でも凍土の透水性の評価は必要不可欠である。しかしながら、凍土の透水係数と不凍水量を同時に測定した例は少なく、両者の相互関係も分かっていない。そこで本研究では 0°C 近傍の凍土の透水係数の変化を不凍水量の変化と共に明らかにすることを目的にカラム実験を行った。

試料と方法

試料には、岩手大学附属農場の休耕畑の表層から採土した黒ボク土を用いた。2 mm 篩通過分を乾燥密度 0.88 g cm^{-3} になるように内径 7.8 cm、高さ 3 cm のアクリル円筒カラムに詰め、1, 1.5, 2 cm 深に熱電対を、1, 2 cm 深に水圧計を、1.5 cm 深に TDR プローブをそれぞれカラム壁面から挿入し、カラムを密閉、断熱した。試料を飽和させ後、試料上下端の温度を -4.5°C に維持し、試料を 12 時間以上凍結した。その後、試料上下端を 0.5°C に昇温しながら下端から定量ポンプで通水し、上端からの排水量を測定した。凍結実験は 2°C の恒温室で行った。測定した 2 深の圧力差と排水速度から透水係数を求めた。また、 25°C の室温で未凍土の水分保持曲線と不飽和透水係数を求めた。そして、それらの負圧をクラウジウス・クラペイロンの式で温度に換算し、不凍水量曲線と凍土の透水係数と比較した。

結果と考察

試料の凍結融解過程において、3 計測深度の温度差は 0.03°C 程度だった。そこで試料は均一に凍結していると見なした。図 1 に試料を凍結、融解通水した際に測定した不凍水量曲線を示す。図中点線は未凍土の水分保持曲線から推定した不凍水量曲線である。凍結過程では不凍水量は -0.5°C までに速やかに減少し、その後は温度低下と共に徐々に減少した。不凍水量が水分保持曲線からの推定値より高かったのは、温度低下に氷の成長が追い付かなかったためと考えられる。その後試料を -4.5°C に維持すると、間隙氷が成長し、一定温度にも関わらず不凍水量が推定値まで減少した。融解過程では不凍水量は -1°C までほとんど変化せず、 $-1 \sim 0^\circ\text{C}$ の間に急激に増加した。融解過程の不凍水量曲線は -1°C 以下では水分保持曲線からの推定値とほぼ一致したが、 0°C 付近では推定値より過大となった。これは、水の流れや水圧による氷の融解が原因と考えられる。

融解通水過程では、試料の温度は -0.5°C までは速やかに、その後 -0.1°C まで緩やかに上昇した。試料が -0.5°C 以下の時は 1 cm 厚に 20 m の水圧をかけても凍土は通水しなかった。ここで、凍土の透水係数と温度の関係を不凍水量曲線と共に図 2 に示す。図中には、蒸発法で測定した未凍土の不飽和透水係数も付記した。 -0.5°C 以上になると、凍土の透水係数は一旦急激にその後緩やかに増加し、 -0.23°C

までに 5 オーダー以上変化した。凍土の透水係数と温度の関係は、通水速度が $18 \sim 135 \text{ cm d}^{-1}$ の範囲で異なっても変化しなかった。 $-0.4 \sim 0^\circ\text{C}$ の凍土の透水係数の増加傾向は未凍土の不飽和透水係数と異なり、その値も未凍土からの推定値より数オーダー大きくなった。凍土の透水係数と不凍水量の関係は未凍土の透水係数と水分量の関係と概ね一致したことから、こうした違いは、 0°C 付近の凍土が水分保持曲線から推定した値より不凍水を多く保持したためと思われる。また、 -0.23°C 以上では、凍土の透水係数は変化しなかったものの、不凍水量は 10% 以上増加した。これは、比較的大きな間隙内の通水にあまり寄与しない部分や団粒内などに氷が残っており、それらの氷が融解したためと考えられる。

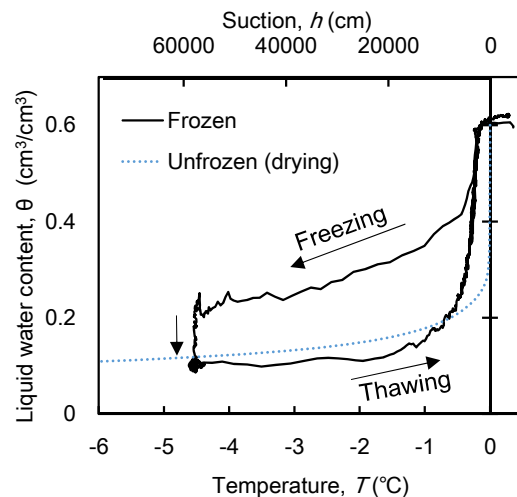


図1 岩手黒ボク土の不凍水量曲線と水分保持曲線
Fig.1 Soil freezing curve and water retention curve

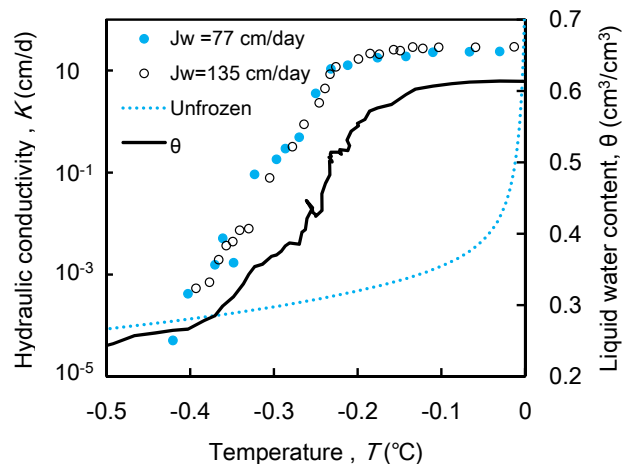


図2 融解過程の凍土の透水係数と不凍水量曲線
Fig.2 Hydraulic conductivity and SFC in thawing process

*1 三重大学大学院生物資源学研究所