

## 凍土の飽和透水係数と未凍土の不飽和透水係数の比較

## Comparison of Hydraulic Conductivities between Frozen Saturated and Unfrozen Unsaturated Soils

長田友里恵<sup>1</sup>・○渡辺晋生<sup>1</sup>・  
Yurie Osada and Kunio Watanabe

## 1. はじめに

凍結をともなう土中の水分・熱移動を考えるには、土の水分保持曲線と不飽和透水係数関数に加え、不凍水量曲線と凍土の透水係数関数を得る必要がある。この際、飽和凍土中の水と不凍水の幾何学配置が不飽和未凍土中の空気と水の配置と等しいと仮定し、クラウジウスクラペイロンの式を介して土中水圧を温度に換算すれば、水分保持曲線や未凍土の不飽和透水係数関数から不凍水量曲線や凍土の透水係数を導くことができる。しかしながら、凍土の透水係数の実測例は少なく、こうした換算の妥当性を評価した例はない。そこで本研究では、飽和凍土の透水係数を実測し、蒸発法で求めた未凍土の不飽和透水係数と比較した。

## 2. 試料と方法

試料には、岩手大学附属農場休耕畑の表層から採土した黒ボク土、藤森土の2 mm 篩通過分と、鳥取砂丘砂の3種を用いた。試料の水分保持曲線を吸引法、加圧板法、鏡面冷却露点式水ポテンシャル計で求めた。試料を乾燥密度が一定になるように内径10 cm、高さ9.5 cmの亚克力円筒セルに詰め、試料上端より1.5、4.5 cm 深にテンシオメータと熱電対を、試料上端より鉛直に7 cm 長の TDR プローブをそれぞれ配置した。試料を下端より飽和した後、試料表面から蒸発を促し、その際の重量変化を電子天秤で計測した。そして、蒸発過程における試料中の水分量と圧力変化を水分保持曲線と共に逆解析することで、試料の不飽和透水係数関数を求めた。これらの実験は25°Cの恒温で行った。

次に、蒸発実験と同一の乾燥密度になるように、試料を内径7.8 cm、高さ3 cmの亚克力円筒カラムに詰めた。1、1.5、2 cm 深に熱電対を、1、2 cm 深に間隙水圧計とテンシオメータを、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た。試料を飽和後、試料の上下端を温度制御基部で密閉し、装置を断熱した。試料を-5°Cで24時間以上凍結した後、0.5°Cに昇温しながら、基部温度の水を下端から定量ポンプで試料に通水した。ここで、凍土を透過して上端から流出した排水量と、試料中の温度、圧力、不凍水量の変化を計測した。そして、温度と不凍水量から不凍水量曲線を、通水フラックスと圧力勾配から各温度の透水係数をそれぞれ求めた。この際、0°C以下の水の粘性の温度依存性は考慮しなかった。実験は2°Cの低温室で行った。

## 3. 結果と考察

図1(a)に凍土の温度と透水係数の関係を示す(プロット)。 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 以下では、10 m 以上の水圧をかけても、いずれの試料にも水は通らなかった。 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 以上になると凍土の透水係数は温度上昇とともに急激に増加し、黒ボク土では $-0.2^{\circ}\text{C}$ 迄に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 $18 \sim 135 \text{ cm d}^{-1}$ の範囲では変化しなかった。図中には、クラウジウスクラペイロンの式を介して土中水圧を温度に換算した未凍土の不飽和透水係数も示した(実線と破線)。いずれの試料についても、未凍土の不飽和透水係数は凍土の透水係数より低くなった。

土の透水係数は液状水が形成する水みちの連続性や断面積に依存する。すなわち、未凍土の不飽和透水係数が凍土の透水係数より低くなったのは、相平衡の状態方程式であるクラウジウスクラペイロンの式を用いて水分保持曲線から換算した各温度の平衡の不凍水量が、透水係数測定時の実際の不凍水量を過小評価した結果と考えられる。そこで、凍土と未凍土の透水係数と液状水量の関係と比較した(図2(b))。いずれの試料についても、凍土と未凍土の透水係数と水分量の関係が概ね一致した。

## 4. おわりに

凍土の透水係数と温度の関係は、しばしば未凍土の不飽和透水係数から推定されるが、 $0^{\circ}\text{C}$ 近傍においてはその推定値と実測値に差が生じやすいことがわかった。これは、水の流れや温度変化によって不凍水量が各温度の平衡値に達しないためである。それゆえ、凍土の不凍水量を推定するさいには、温度より水分量に基づく方が妥当と考えられる。また、凍結を伴う土中の水分・移動モデルにもこうした水の流れや温度変化が不凍水量や透水係数に及ぼす効果が考慮されることが、今後期待される。

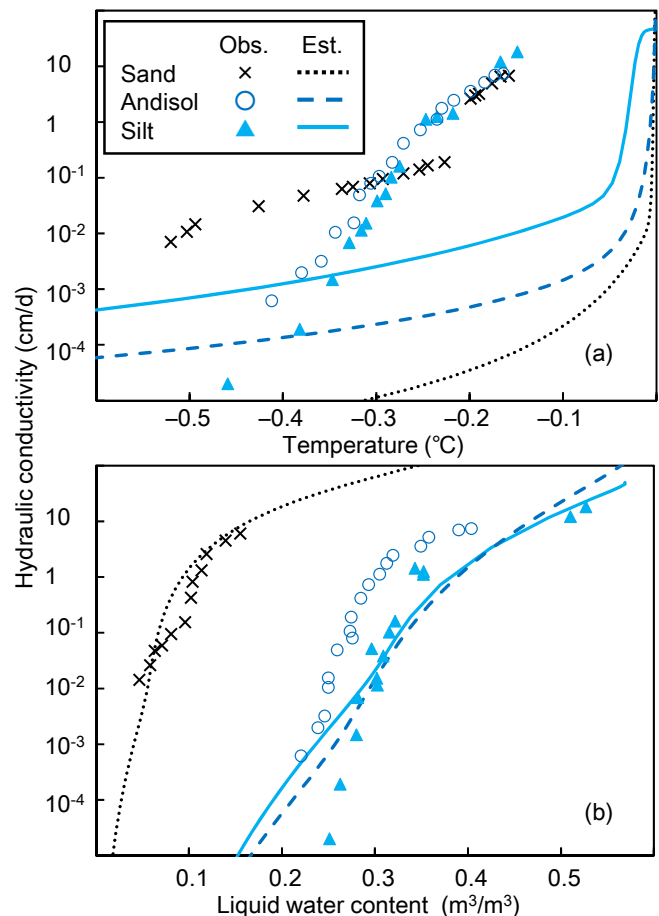


図1 透水係数と(a)温度、(b)液状水量の関係