

貼り付け凍結管による砂の凍結に土中水の分布や流速が与える影響

514125 小林愛実 (土壌圏循環学教育研究分野)

はじめに 軟弱地盤の改良や地下水の止水に、凍土を活用することがある。凍土を人工的に造成する工法の一つに、冷媒を循環した凍結管を土層断面に貼り付け、冷却する工法がある。こうした貼り付け凍結技術の向上には、土中の水分分布や水の流れが土の凍結・解凍過程に与える影響の評価が必要である。そこで本研究では、貼り付け凍結管を用いて水分の分布や流速の異なる砂層を端面から凍結し、温度分布の経時変化を観察した。

試料と方法 内寸 $50 \times 45 \times 10 \text{ cm}^3$ の容器の片短側面の中央に、底面積 $1.4 \times 2.2 \text{ cm}^2$ の凍結管を貼り付けた。容器に風乾した鳥取砂丘砂を均一の乾燥密度 (1.67 g/cm^3) になるように充填し、熱電対 30 本、土中水圧計 3 本、熱流計 3 枚を埋設して実験装置とした。試料下端より給水飽和し、 20°C の恒温室に静置することで試料に初期の水分と温度条件を与えた。容器周囲を多層に断熱した。そして、凍結管に -20°C の冷媒を流すことで試料を片側面から凍結したのち、冷媒の循環をやめ解凍した。凍結・解凍中、試料上端から 20°C の水を均一に滴下し、試料に異なる速度の鉛直定常流 (0, 0.63, 1.3, 2.5, 4.2 cm/h) を与えた。

結果と考察 冷却を開始すると、凍結管を貼り付けた側面 (以下冷却面とする) から地温が次第に低下した。この際、冷却面から各温度の等温線までの距離は深さにより異なった。土中水の流速が大きいほど等温線の進行は遅く、温度勾配は大きくなった。冷却をやめると、 0°C 以下の領域の地温が上昇し、10.5 h には全ての凍土が消失した。ここで、冷却面から 0°C の等温線までの距離を凍結距離 D とする。図 1 に、25 cm 深の凍結距離の時間変化を示す。72 h までは凍結過程、それ以降が解凍過程である。凍結距離は約 10 h までは急激に、その後は緩やかに増加し、土中水の流速が大きいほど短くなった。解凍過程では凍結距離は速やかに減少した。ここで、5 h 以降の凍結距離を $D = \pm A\sqrt{t} + B$ で近似した。A と B は、それぞれ凍結・解凍速度と、凍結面の形状を反映するパラメータである。凍結過程では、A は深さによらず土中水の流速が大きいほど小さくなった。一方、B は土中水の流速によらず試料上層から中下層に向かって大きくなった。A と B を用いて、土中水の流入箇所からの距離や流速による土の凍結の遅延を評価できると考えられる。また、A と流速 J_w の関係は一次関数で示すことができた (図 2)。そこで A が 0 となる流速を求めると、5 cm/h となった。従って、本実験条件では流速が 5 cm/h を越す土中では凍結は進行しないといえる。解凍過程では、A と B は土中水の流速によらず、凍結終了時の凍結距離が大きな中下層で大きくなった。これは、解凍面が流速によらず平滑化することを意味する。

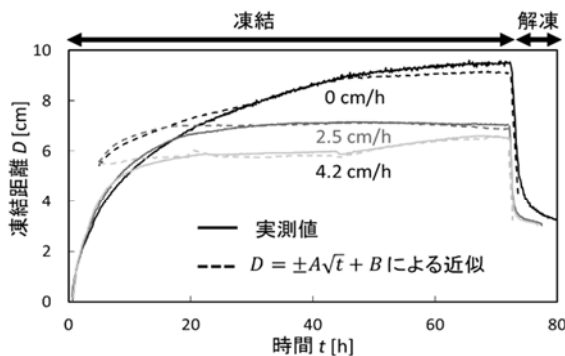


図1. 凍結距離の時間変化

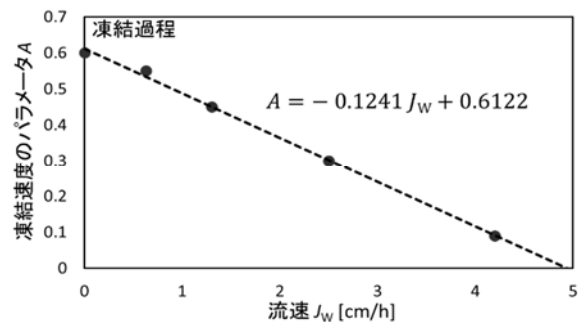


図2. 凍結過程のAと流速の関係