

# 貼り付け凍結管による土壌凍結過程の検討

513116 奥田涼太 (土壌圏循環学教育研究分野)

**はじめに** 土を人工的に凍らせ地盤の補強や遮水に用いることがある。地中に凍結管を埋設する従来の工法に対し、作業の容易さやコスト面から近年、地表面に凍結管を貼り付けて土を凍らせる方法が注目されている。こうした凍結技術の向上には、貼り付け凍結管の冷媒温度や断熱方法が凍土の形成速度や形状に与える影響を理解する必要がある。さらに、凍土の厚さの数値予測には地表面境界温度の与え方の指針も重要である。そこで本研究では貼り付け凍結管を用いた凍土形成過程を様々な冷却・断熱条件で観察し、冷媒温度 $T_r$ から地表面境界温度 $T_s$ を推定することを目的とした。

**試料と方法** 水洗後炉乾した鳥取砂丘砂を体積含水率  $0.25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  に調節し、乾燥密度  $1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$  で、縦  $37 \text{ cm}$  × 横  $63 \text{ cm}$  × 高さ  $30 \text{ cm}$  の実験容器に充填した。試料に熱電対 29 本を格子状に、水分センサー 3 本を  $0, 10, 20 \text{ cm}$  深に設置した。試料上端に厚さ  $5 \text{ mm}$  の鉄板を敷き、その中央に  $14 \text{ cm}$  長の凍結管をモルタルで貼り固め、実験装置とした。装置を  $2^\circ\text{C}$  の低温室に一昼夜静置し、初期温度分布と重力水分分布を与えた後、装置周囲を断熱した。凍結管に  $-15, -20, -25, -30^\circ\text{C}$  の冷媒を循環させることで試料を上面から凍結させ、凍結過程の地温・液状水量・凍土の厚さを観察した。

**結果と考察** 貼り付け凍結管に冷媒を流すと、鉄板を介して試料から熱が奪われ、上面から地温が低下した。冷媒温度が  $-15 \sim -30^\circ\text{C}$  であれば、凍土は冷却開始後 1 日までは凍結管を基点に半球状に、それ以降は鉄板から下方へ面的に発達した。今回の容器と凍結管のサイズであれば、凍土の厚さを一次元で評価できると言える。凍土の形成速度は、冷却開始直後は急速に、時間経過と共に緩やかになった。凍結管直下の凍土の厚さ  $D$  の経時変化を図 1 に示す。冷却開始 1 日後の凍土の厚さは冷媒温度  $-15^\circ\text{C}$  で  $8.1 \text{ cm}$ 、 $-30^\circ\text{C}$  では  $12.7 \text{ cm}$  となった。フーリエ則に基づき熱フラックスを求めると、約  $-1700 \text{ W}/\text{m}^2$  となり、断熱が完全な場合の約半分であった。鉄板上面や装置側面から熱が流入していると考えられる。ここで、熱伝導方程式の解析解である Stefan 解を実測値にフィッティングして地表面境界温度  $T_s$  を求めた (図 2)。 $t$  は冷却時間、 $A$  は凍土の熱伝導率と潜熱に関する係数で、今回は  $0.181$  である。冷媒温度  $T_r$  との関係は  $T_s = 0.094T_r$  となり、境界温度は冷媒温度の約 10% とみなせた。貼り付け凍結技術の向上には、鉄板表面の断熱や、凍結管から鉄板、鉄板から地中への熱伝達の改善、凍結管の配列の検討が必要だと言える。

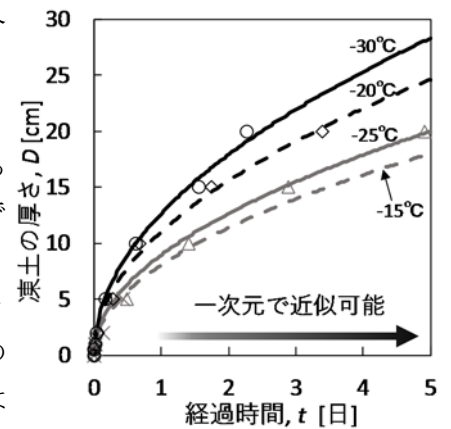


図 1. 凍土の厚さの時間変化

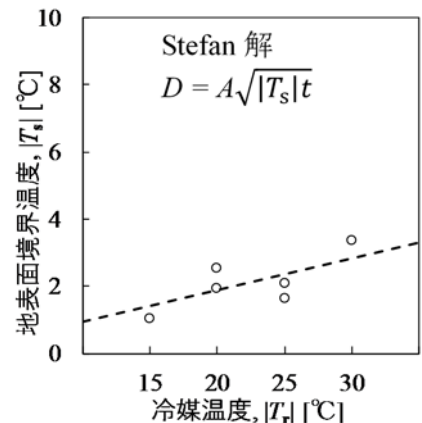


図 2. 地表面境界温度と冷媒温度