

貼り付け凍結管による土の凍結過程の観察 Profile of frost depth in a soil frozen by a frost panel

○奥田涼太¹, 渡辺晋生¹, 相馬啓²

Ryota Okuda, Kunio Watanabe and Hiroshi Soma

1. はじめに

任意の形状の凍土を形成する方法の一つに、地表や土壁に凍結管を貼り付けて地盤を冷却する方法がある。この際、凍結管に対して土の凍結量や凍土の形状の概略を簡易に示すことができれば、凍結管群の配置や用いる冷媒の温度制御を考える上で有益である。そこで本研究では、凍結管を貼り付けた鉄板を用いて土を地表から冷却した際の、土の凍結過程を観察した。

2. 試料と方法

鳥取砂丘砂を水洗後炉乾し、試料とした。試料の体積含水率を $0.25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ に調整し、 $37 \text{ cm} \times 63 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ の PP 容器に、乾燥密度が $1.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ になるように深さ 30 cm まで均一に詰めた。試料上面を厚さ 5 mm の鉄板で覆い、鉄板中央に底面積 $14 \text{ cm} \times 2.2 \text{ cm}$ の凍結管をモルタルで貼り付けた。試料内に T 型熱電対を格子状に 29 本設置した。また、30 cm 長の TDR を中央部下端から鉛直上向きに、7.5 cm 長の TDR を中央付近の 0, 10, 20 cm 深に水平にそれぞれ設置した。装置を 2°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。装置の側面と底面を厚さ 5 cm の発泡スチレンで、さらに全体を 1 cm 厚のゴムシートで断熱した。ここで、凍結管に $-15, -20, -25, -30^\circ\text{C}$ の冷媒を循環し、試料を上面から凍結した。凍結は閉鎖系で行い、凍結期間中、地温と液状水量、凍土の厚さを 10 分間隔で観察した。この際、凍土は生じなかった。

3. 結果と考察

凍結管に -20°C の冷媒を流すと、鉄板の温度が次第に低下するとともに、地温が凍結管周囲から低下した。冷却開始から 1.75 時間が経過すると、鉄板全体の温度が 0°C 以下となった。図 1 に、 -20°C の冷媒を凍結管に 24 時間流した際の地温分布を示す。地温分布の対称性から、図には土壤断面の半面を記した。等温線は凍結管を中心に鉛直方向を短軸、鉄板方向を長軸とした楕円状になった。初期の長軸と短軸の比は約 3 : 1 だった。凍結管直下の土中では 24 時間で 0°C 面が 11.8 cm 深に達した。時間の経過とともに等温線の傾きは緩やかになり、50 時間以降は 0°C 面がほぼ水平と見なせるようになった。そして 80 時間経過後には 0°C 面は 20 cm 以深に到達した。TDR で測定した液状水量が急激に減少する位置は、 0°C 面とは一致せず、 0°C 面に遅れて進行した。これは土中水の過冷却や凝固点降下、熱電対と TDR の測定領域の違いによると考えられる。図 2 に、凍結管からの水平距離 x が 0, 10, 20 cm 地点の 0°C 面の深さを示す。凍結管直下 ($x = 0 \text{ cm}$) では、 0°C 面は冷却開始直後には急激に、時間の経過と共に緩やかに、時間の平方に比例して深くなった。凍結管から離れると ($x = 10, 20 \text{ cm}$)、地温は冷却を開始してもしばらくの間 0°C 以下にならず、鉄板の温度が十分に下がった後に急激に低下した。そして、 $x = 10 \text{ cm}$ 地点の 0°C 面は 16.5 時間で、 $x = 20 \text{ cm}$ 地点の 0°C 面は 85 時間でそれぞれ、 $x = 0 \text{ cm}$ の 0°C 面の深さと一致した。同様の傾向が他の冷媒温度でも確認できた。今回の系であれば、冷却開始後 50 時間以降は鉄板に平行な凍土を貼り付け凍結管で

形成でき、その際の凍土厚を Stefan 解などの比較的容易な一次元の熱伝導計算で推定できると言える。ところで、冷却開始後 50 時間の鉄板の平均温度は冷媒温度 -20°C で -5°C 、 -30°C で -6.2°C となった。ここで 0°C 面が水平に進行したと見なし、Stefan 解のフィッティングにより理論上の表面温度を求めた。冷媒温度 -20°C で -2.9°C 、 -30°C で -4.7°C となり鉄板の平均温度よりも高くなった。凍結深の推定には装置外部からの熱流の評価が必要である。

謝辞 本研究はケミカルグラウト (株) との共同研究の一環として行った。

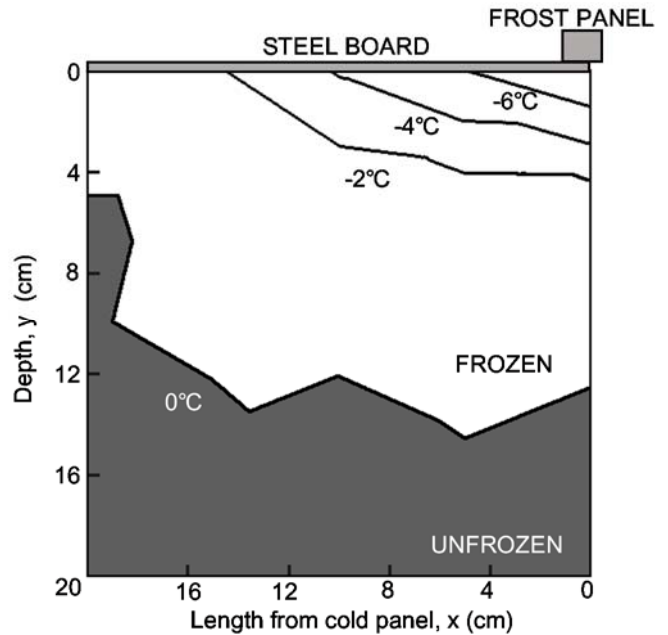


図 1 冷却開始後 24 時間の地温分布図 (冷媒温度 -20°C)

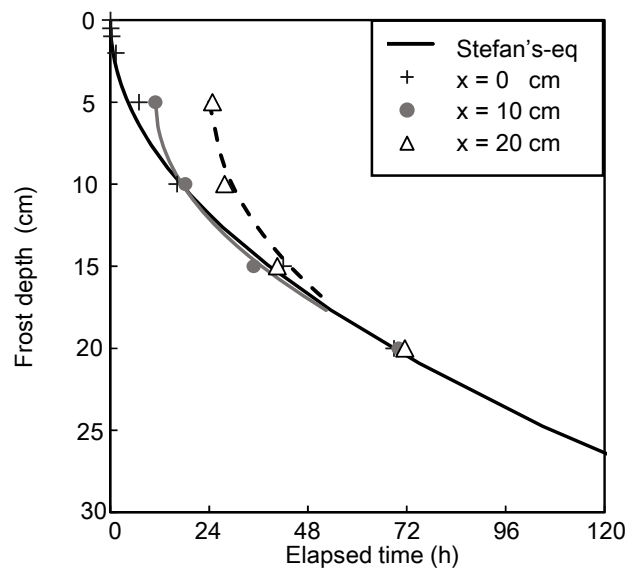


図 2 冷媒温度 -20°C の凍結管で凍結した各地点の凍土厚

1 三重大学大学院生物資源学研究所
2 ケミカルグラウト (株)

Graduate School of Bioresources, Mie University
Chemical Grouting Co., Ltd.