

埋設物が凍上に及ぼす影響 Effects of buried objects on frost heaving

鈴木健大*, 渡辺晋生*, 相馬啓**

Kenta Suzuki, Kunio Watanabe, Hiroshi Soma

はじめに 地表が寒気に晒され凍結する際、地中より凍結面に土中水が移動し、アイスレンズと呼ばれる氷の層として析出することがある。アイスレンズの析出に伴う地表面の隆起(凍上)は暗渠や側溝などの灌漑排水系や道路法面の崩壊を引き起こす。そこで、凍上予測法に基づき対策を講ずるが、埋設物は土中の熱や水分、あるいは土そのものの移動を妨げるため、凍上予測を難しくする。そこで本研究では、凍上予測の精度向上を目指し、凍上に及ぼす埋設物の影響を調べることを目的とした。

試料と方法 8 mm 厚のアクリル板を用い、内寸 W300×D300×H200 mm の容器を作成した。内径 10 mm のアルミニウム製の凍結管を容器中央 20 mm 高に設置し、低温循環水槽と接続した。容器背面 45、70、95 mm 高に水平間隔 30 mm で 7 本ずつ計 21 本の熱電対を設置した。熱電対はアクリル面から内側 50 mm に先端が来るようにした。2 mm 篩別した青粘土を乾燥密度 1.29 Mg/m³、含水率 0.53(飽和)の均質な土層となるように 120 mm 高まで充填した。2°C に試料を 48 時間馴化した後、容器前面以外をスタイロフォームで断熱した。そして、凍結管に-5°C の冷媒を循環し、試料を凍結した。凍結面の様子、凍上変位はタイムラプスカメラで撮影し、画像解析で数値化した。実験は埋設物の影響を考慮するため、次の 4 条件で行った。(a) 土層のみ。(b) と (c) 凍結管から 40 あるいは 80 mm に容器底から上端まで 8 mm 厚のアクリル板を含む土層。(d) 凍結管から 40 mm に容器底から 100 mm までの

PET シートを含む土層である。なお、(b)と(c)のアクリル板は試料を左右に分断しており、全ての高さで左右の水分移動を抑制するのに対し、(d)の PET シートは試料上端に達しておらず、左右の水分移動を妨げない構造とした。

実験結果 冷媒を循環すると初期には急激に、次第にゆっくりと凍結管から同心円状に凍土が発達した。**Fig.1** に 24 時間経過時の凍結管近傍の様子を **Fig.2** にその際の温度分布を示す。**Fig.1** 中の濃色部分が凍土、凍土内の亀裂状の模様はアイスレンズを示す。アクリル板がある場合、アイスレンズは薄くなった。いずれの土層も凍結線は-0.2°C線と概ね一致し、24 時間後には凍結管から約 50 mm に達した。(a)では同心円状に温度が低下した。(b)や(c)ではアクリル板より左方の温度低下が遅くなった。また、アクリル板左方ではアイスレンズを含む凍土は確認されなかった。これはアクリル板の熱伝導率が飽和粘土の 1/5 程度であることが原因と考えられる。

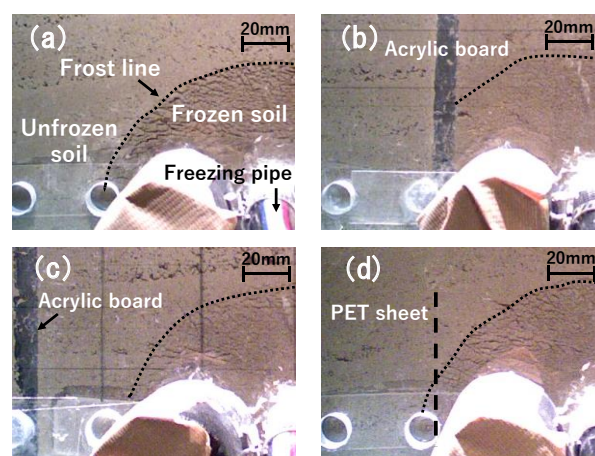


Fig.1 24 時間経過時の凍結管近傍の様子
Soil near freezing pipe cooled after 24 hours

所属:*三重大学生物資源学研究所 Graduate School of Bioresources Mie University

**ケミカルグラウト(株) Chemical Grouting CO.,Ltd.

キーワード:水分移動、熱移動、凍土・凍上

Fig.3 に 24 時間凍結時の凍上量を示す。図横軸の凍結管からの距離を右方は正、左方は負で表した。(a)は凍結管直上をピークとして概ね正規分布状に凍上したが、(b)は凍上のピークがアクリル板近傍(-40 mm)に現れ、それより左方ではほとんど凍上しなかった。凍結管近傍から斜方への土の移動がアクリル板により制限され上方へと押し上げられたためと考えられる。(d)のピークが(b)と異なり凍結管直上で生じたのは、PET シートがアクリル板の様に熱移動を阻害しないこと、柔らかく土の移動を妨げないことによると考えられる。(c)の凍上は凍結管より右で大きく、左右非対称となった。Fig.4 に凍上面積の時間累積値を示す。(a)と(d)では凍上面積が初期で急激に、その後ゆっくりと増加したが、アクリル板のある(b)と(c)では凍上速度が小さく、凍上面積は(a)の半分以下となった。Fig.5 に凍結管近傍で観察されたアイスレンズの総面積を示す。いずれの土層においても 18 時間まで同様に増加した。しかし、24 時間後には(a)と(d)では約 850 mm²まで増加したのに対し、(b)と(c)では約 600 mm²に留まった。凍結面近傍の埋設物は凍結面への水分供給を抑制し、アイスレンズの成長を阻害することで、凍上量を小さくすると考えられる。ここで、凍上による地表面の隆起を正規分布状に近似する三次元凍上予測計算法の(1)式で算出した凍上量 G を Fig.3 に点線で示した。ここで、 η は凍上率、 h_1 と h_2 は凍土の上端と下端の深さ、 l 、 w は凍土の横及び奥行き方向の長さの半分の値、 a は凍土範囲への影響を表す値である。

$$G(x, y) = \frac{\eta}{4} \int_{h_1}^{h_2} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{l+x}{ah} \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{l-x}{ah} \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{w+y}{ah} \right] + \operatorname{erf} \left[\frac{w-y}{ah} \right] \right\} dh \quad (1)$$

(1)式は(a)の凍上量をよく表した。今後は(b)や(c)のような埋設物がある場合にも適用できるように凍上予測法を検討する。

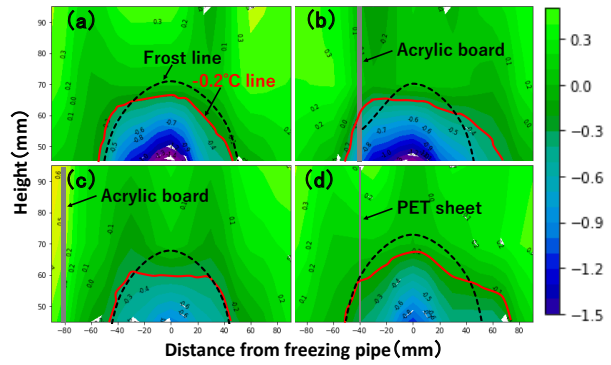


Fig.2 24 時間経過時の温度分布
Temperature distribution after 24hours

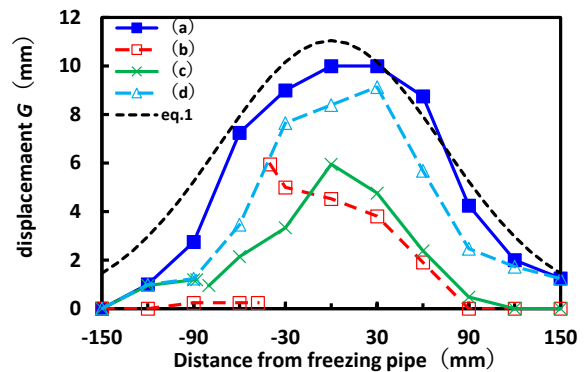


Fig.3 凍上量

Frost heaving displacement

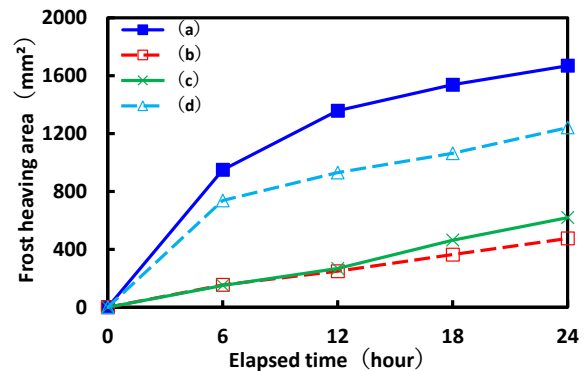


Fig.4 凍上面積

Frost heaving area

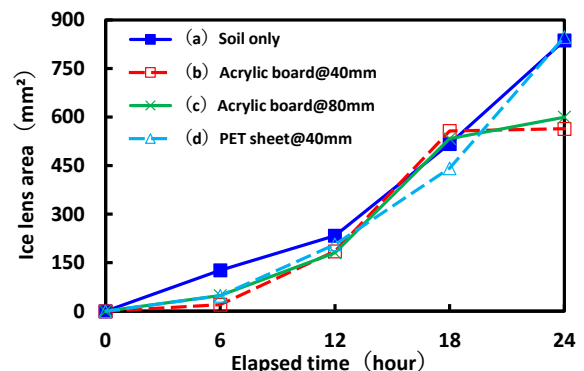


Fig.5 アイスレンズ面積

Ice lens area