

凍結融解繰り返しによる飽和細粒土のアイスレンズ面方向の透水係数変化について(1)

撰南大学 (奥村組土木興業) 正会員 ○廣瀬 剛 撰南大学 正会員 伊藤 謙  
 北海道大学 フェロー 石川 達也 低温圏工学研究所 正会員 赤川 敏  
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 所 哲也 関西大学 フェロー 大西 有三

**1. 目的:** 福島第一原子力発電所の廃炉事業では原子炉建屋内に流入する地下水量を低減するために、人工地盤凍結工法により凍土遮水壁が造成される計画である。凍土遮水壁は長期間に渡り維持管理されるため、その間に電力トラブル等により凍土の一部または全部が融解すると地下水の流入量が増加し汚染水の増加につながる。そのため、事前にトラブル時の対応策を十分検討することが求められている。特に、凍土遮水壁を造成する地盤には泥岩層が含まれており、粘土やシルトのような細粒土と同様高い凍上性を有し、そのような細粒土は透水係数が低いが、凍結融解すると透水係数が増加することが知られている。

細粒土の透水係数は、凍上により生じるアイスレンズ(IL)の融解後の痕跡により増加するとされてきた。最近の研究では、実験条件によっては透水係数が減少することも報告されており、例えば中村ら<sup>1)</sup>は凍結融解を繰り返すと密な土では間隙比と透水係数が増加し、緩い土では間隙比と透水係数が減少することを示している。これらは一次元凍結融解実験により検証されてきた。

一方、凍土遮水壁が融解すると、図-1に示すような地下水の流れが生じる。凍土壁全部が融解すると凍土を通過するアイスレンズ面に直交する水流(図中①の水流)が生じ、部分的に融解すると凍結管の間を通る IL 面方向の水流(図中②の水流)となる。本研究の目的は部分的に凍土壁が融解した時に生じる IL 面方向の凍結融解後の透水係数を検討することである。これまでは冷却速度を変化させたときの凍結融解後の透水係数変化およびIL面方向とIL面直交方向の凍結融解後の透水係数の違いについて検証した<sup>2)</sup>。今回は繰り返し凍結融解後の透水係数の影響について報告する。

**2. 実験方法:** 本研究では水平変位拘束凍結融解鉛直透水実験装置を使用した<sup>2)</sup>。この装置は水平方向に変位拘束した状態で水平方向に凍結融解させ、鉛直方向に透水試験を行うことができる。

試料土は藤森粘土( $\rho_s = 2.674 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_L = 41.4\%$ ,  $w_P = 23.0\%$ , 砂 = 9.4%, シルト = 59.1%, 粘土 = 31.5%)を使用した。試料土は含水比を液性限界の1.4倍に調整し、脱気した後飽和させ、 $P = 500 \text{ kN/m}^2$ で予圧密した。

表-1に実験条件を示す。凍結試験は開式凍結とし、K-22, K-33は実験荷重を $p = 200 \text{ kN/m}^2$ 、凍結回数をそれぞれ $n$

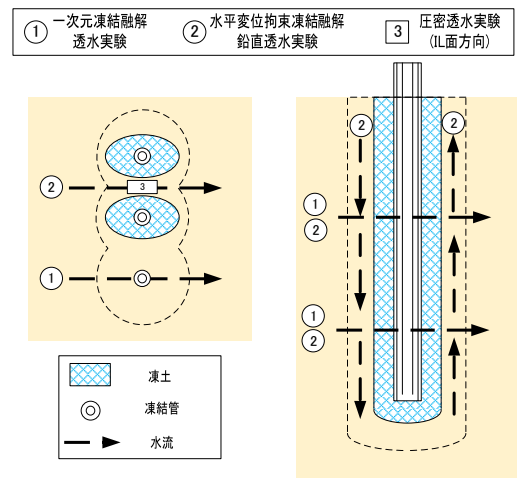


図-1 凍土遮水壁融解時の水流

表-1 実験条件

実験名	凍結回数 (回)	予圧密 $P$ (kN/m <sup>2</sup> )	実験荷重 $p$ (kN/m <sup>2</sup> )	冷却速度 (°C/h)
K-22	1	500	200	0.2
K-30	1	500	50	0.2
K-31	3	500	50	0.2
K-32	5	500	50	0.2
K-33	3	500	200	0.2

\* 最低温度: -10°C, 温度勾配: 0.625°C/h, 給水: 有

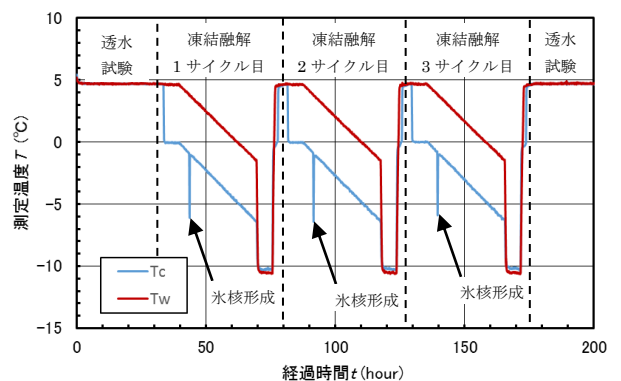


図-2 測定温度の経時変化例 (K-32)

キーワード 凍結融解, 透水係数, 間隙比, アイスレンズ, 細粒土, 地盤凍結工法

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17 番 8 号 撰南大学理工学部 TEL:072-839-9701, FAX: 072-838-6599

= 1, 3 回, K-30~32 は  $p = 50 \text{ kN/m}^2$ ,  $n = 1, 3, 5$  回とした. 図-2 に供試体温度の経時変化例を示す. 凍結前後に  $T_w, T_c = +5 \text{ }^\circ\text{C}$  に保って 24 時間変水位透水試験を行っている. 凍結融解過程は両端の温度差  $5^\circ\text{C}$  (温度勾配  $dT/dx = 0.625 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ ) を保ち,  $T_w, T_c$  を温度降下させ,  $T_c = -0.8 \text{ }^\circ\text{C}$  において氷核形成を行った. その後,  $T_w = -1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_c = -6 \text{ }^\circ\text{C}$  に達した時に  $T_c, T_w = -10 \text{ }^\circ\text{C}$  まで温度降下させ, 6 時間一定に保った. その後,  $T_w, T_c = +5 \text{ }^\circ\text{C}$  に温度上昇させた. これを 1 サイクルとして所定回数の凍結融解を繰り返した. 所定回数の終了後, 融解後透水試験を行った.

3. 結果と考察

(1) 鉛直膨張量の経時変化: 図-3 に膨張量の経時変化を示す.  $p = 50 \text{ kN/m}^2$  では, 凍結融解繰り返し回数  $n$  が大きくなると膨張量  $h$  が増加し, 融解後も凍結前よりも膨張する傾向が見られた. しかし,  $p = 200 \text{ kN/m}^2$  では  $n$  が増加しても  $h$  の変化はほとんど認められず, 供試体は融解後に凍結前よりもわずかに圧縮されている.

(2) 給排水量の経時変化: 図-4 に給水量の経時変化を示す. 給水量は  $p = 50 \text{ kN/m}^2$  および  $p = 200 \text{ kN/m}^2$  のいずれにおいても凍結時に排水され, 融解時に給水される傾向がみられた.

(3) 繰り返しによる透水係数の変化: 図-5 に繰り返し回数と透水係数の関係を示す. 融解後の透水係数増加は, 実験荷重が小さく, 凍結回数が増加すると顕著になる傾向が見られた.  $p = 50 \text{ kN/m}^2$  で  $n = 5$  の時, 未凍結透水係数  $k_u = 1.10 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  に対して融解後透水係数  $k_t = 5.76 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  となり, 透水係数増加比  $k_t/k_u$  は約 520 倍まで増加した. 一方,  $p = 200 \text{ kN/m}^2$  では  $k_u = 1.7 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  に対して  $k_t = 1.06 \times 10^{-8} \text{ m/s}$  であり,  $k_t/k_u$  は 6 倍程度の増加に留まった.

4. まとめ: (1)凍結融解後の膨張量は初期状態と比較して, 実験荷重が小さいと増加したが, 実験荷重が大きいと圧縮される傾向がみられた. (2)凍結融解時の給排水量変化は凍結時に排水され, 融解時に給水される傾向が見られた. (3)凍結融解後の透水係数は, 実験荷重が小さいと増加が顕著であり, 繰り返し回数が多くなるにつれさらに増加する傾向がみられた. 透水係数増加比は最大で約 520 倍まで増加し, 未凍結透水係数  $1.10 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  に対して  $5.76 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  まで増加した. 一方, 実験荷重が大きい場合, 透水係数増加比は繰り返し回数を増やしても変化が小さく 6 倍程度に抑制された.

謝辞: 本実験の主要部分は摂南大学都市環境工学科の鈴木啓汰氏 (現: 奥村組土木興業), 福井貴大氏 (現: 光工業) の卒業研究として実施されたものです. また, 本研究には科学研究費補助金 (基盤研究(B)) 課題番号 26289156 が使用されています.

参考文献: 1)中村大他:凍結融解による土の透水係数及び間隙比の変化, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.67, No.2, PP.264-275, 2011. 2)廣瀬剛他:飽和細粒土の凍結融解前後における熱流直角方向の透水係数変化に関する実験, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), III-13, 2015

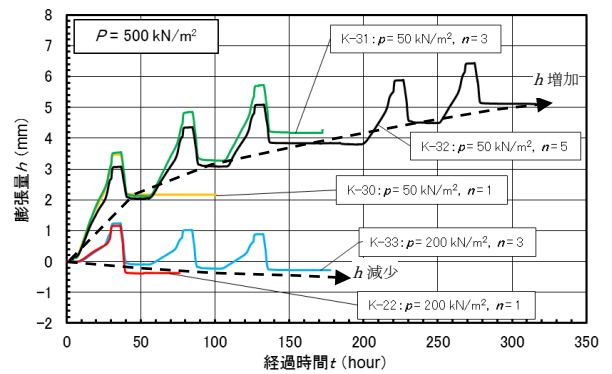


図-3 膨張量の経時変化

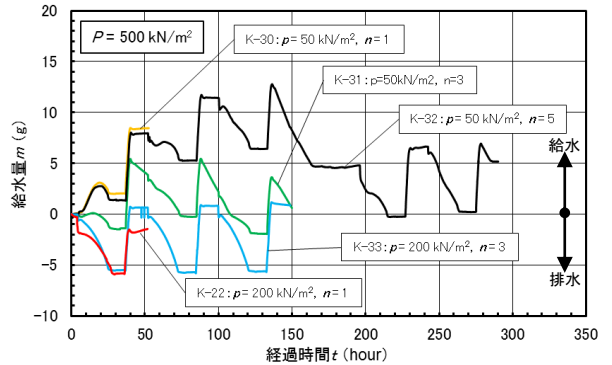


図-4 給水量の経時変化

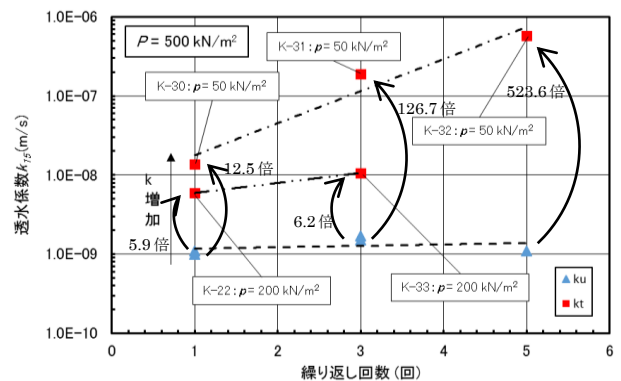


図-5 繰り返し回数と透水係数の関係