

凍土遮水壁周辺地盤の地中深さによる透水係数変化の実験的研究

摂南大学大学院理工学研究科 学生会員 ○山本 はいか 摂南大学 正会員 伊藤 譲
 奥村組土木興業株式会社 正会員 廣瀬 剛 熊谷組 非会員 小松 純平
 ケミカルグラウト株式会社 非会員 西山 庸介

1. 目的：都市土木において、人工地盤凍結工法は遮水性や強度の観点から高い評価を受けている。人工地盤凍結工法は、一般に数ヶ月から1年程度の工事期間であり、凍土に接する地盤の脱水圧密が問題になることはなかった。しかし、福島第一原発の凍土遮水壁のように凍土が長時間維持される場合、凍土の全面の未凍土部分では脱水圧密によるクラックが生じ、それらが連なって地下水が流れ込むことにより凍土を回り込む水道（みずみち）は発生することが考えられた。本研究では、凍結中に作用する上載荷重を未凍土の透水係数との関係を検討した。

2. 実験方法：図-1に水平方向変位拘束凍結融解鉛直透水実験装置を示す。本装置は鉛直方向に上載荷重をかけながら、水平方向に凍結を行うことが出来る。

表-1に試料土（藤森16N）の物性値を示す。試料土を液性限界の1.3倍の量の水と混合し、脱気させた後にセルに流し込み圧密荷重 $P=500 \text{ kN/m}^2$ まで段階的に載荷させた。

表-2に実験条件を示す。CASE1とCASE2のように上載荷重の違いによる透水係数の比較を行った。図-2に温度の経時変化を示す。凍結前期間は T_w と T_c を共に 5°C とし、半凍結期間は T_w 側(高温)を $+10^\circ\text{C}$ 、 T_c 側(低温) $= -10^\circ\text{C}$ とした。凍結期間は $t=384$ 時間とした。透水試験は、鉛直方向の透水係数を測定するものとし、凍結前、半凍結中、融解後の計3回行った。半凍結時の透水断面は未凍土部分として透水係数を算出した。

3. 結果と考察：図-3にCASE1とCASE2の変位量の経時変化比較を示す。変位量 d は供試体の高さが大きくなるとプラスとする。変位量の増加は、凍結されることにより供試体中の水分が膨張するため、供試体高さが大きくなることを示す。CASE1の半凍結期間における変位量は、緩やかに増加した。半凍結の初期では、凍結面の進行が速く、給水よりも凍土への体積膨張が聞いて、体積の増加と排水が同時に起こる。凍結面が落ち着くと、給水時間により、給水量の変化が少なくなり、若干の給水傾向を示すと考えられる。上載荷重 $p=100 \text{ kN/m}^2$ の方が、 $p=200 \text{ kN/m}^2$ の変位量より小さかった。これは、上載荷重が、凍上により生じる圧力に抵抗するためだと考えられる。間隙水が少なく、供試体の挙動が制限されたと考えられる。

図-4には、排水量の経時変化を示す。排水量 ΔQ の増加は、未凍土全体では圧密され、間隙水が排出されることを示す。

キーワード：凍結融解、アイスレンズ、透水係数、凍土遮水壁、凍土。

表-1 藤森 16N の物性値

土粒子密度	液性限界	塑性限界	粒度分布		
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$W_L(\%)$	$W_P(\%)$	砂(%)	シルト(%)	粘土(%)
2.705	45.5	23.7	0.9	31.5	67.6

表-2 実験条件

実験番号	予圧密荷重	実験荷重	半凍結期間
	$P(\text{kN/m}^2)$	$p(\text{kN/m}^2)$	$t(\text{hour})$
CASE1	500	100	384
CASE2		200	

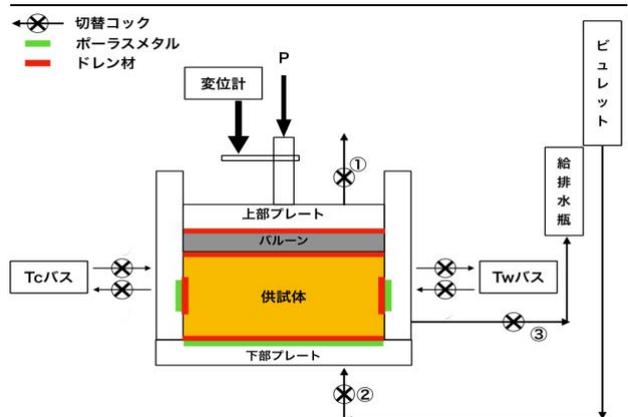


図-1 水平方向変位拘束凍結融解鉛直透水実験装置

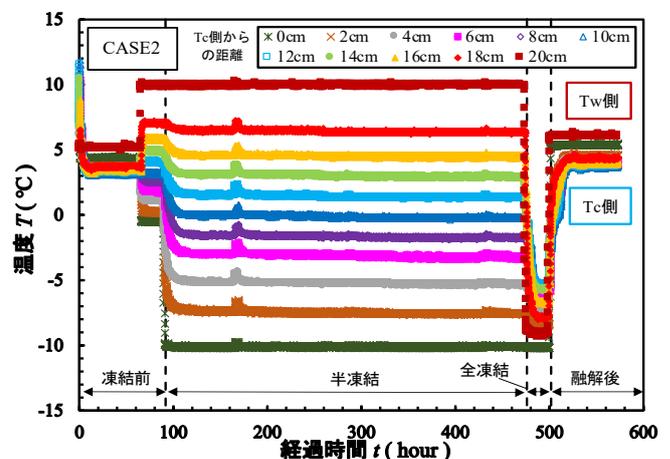


図-2 温度の経時変化

$p=100\text{kN/m}^2$ では、 $t=97.3$ 時間に Tc 側から結を開始させると、 ΔQ が増加した。半凍結中 $t=97.3$ 時間から ΔQ は経過時間と共に緩やかに減少にした。半凍結中の透水試験時は給排水コックを閉じているため、 ΔQ の変化はない。

融解時の ΔQ は減少した。 $p=200\text{kN/m}^2$ は、実験開始から $t=48$ 時間まで変化はなかった。また、 $t=48$ 時間以降の ΔQ は増加し続け、融解時の ΔQ は急激に増加した。今回の実験では CASE1, CASE2 ともに Tc 側から 10cm の位置に幅 1 mm の IL が発生した。IL の発生に伴い凍結面への水分移動が発生し、IL 近くの未凍土は脱水圧密されたと考えられる。また、IL の成長による水から氷への相変化による体積の膨張により、Tw 側の未凍結土は圧縮され Tw 方向に水が流れ給排水瓶に押し出されたものと考えられる。今回の実験では、目視では SC は観測されなかった。

図-5 に CASE1 の透水係数の経時変化を示す。透水係数の平均値 k_{ave} は大きい順に融解後、凍結前、半凍結中であった。半凍結中の透水係数が凍結前より低下したことは、IL が成長し、脱水圧密された未凍土側の間隙水が減少し、凍結前よりも未凍土は高圧力になった。そのため、水が通りにくくなり、透水係数が低下したと考えられる。

図-6 に CASE1 と CASE2 の各期間における透水係数の比較を示す。CASE1 は、凍結前 $k_{ave}=4.02 \times 10^{-9}\text{m/s}$ 、半凍結中 $k_{ave}=3.15 \times 10^{-11}\text{m/s}$ 、融解後 $k_{ave}=2.53 \times 10^{-8}\text{m/s}$ であった。CASE2 は、半凍結中の透水試験中でビュレット水位に変化がみられず、 $k_{ave}=0\text{m/s}$ とした。これは、上載荷重が凍結時の体積膨張を拘束しているため、拘束力が大きいと、凍結により生じる圧力が未凍土により強く作用し、未凍土を圧密した。その結果、上載荷重が大きい方が半凍結中の透水係数が小さくなったと考えられる。CASE1, CASE2 共に透水係数の大きい順に融解後、凍結前、半凍結中であった。これは、上載荷重が大きくなるほど間隙比が小さくなり、供試体が硬くなることにより、透水しにくいことが関係したと考えられる。

4. まとめ (1)上載荷重の大きさに関わらず、全凍結中に変位量が増加した。(2)凍結前、融解後の透水係数 k_{ave} は、 $p=200\text{kN/m}^2$ の方が $p=100\text{kN/m}^2$ より約 10 倍大きかった。共に大きい順に融解後、凍結前、半凍結中であった。(3)上載荷重が大きくなると半凍結時の透水係数が小さくなった。

謝辞：本研究には科学研究費補助金 17H03307(基盤研究(B))が使用されています。連絡先：〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 摂南大学大学院理工学研究科 TEL 072-839-9117

参考文献：廣瀬剛，伊藤謙，石川達也，赤川敏：凍結融解土の透水係数の実験的予測方法，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.73，No.2，pp.131-140(2017)

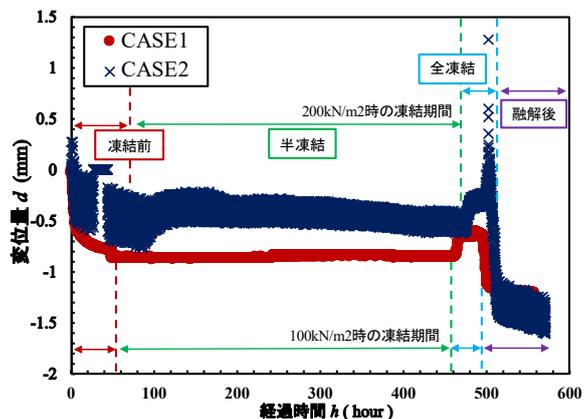


図-3 変位量の比較

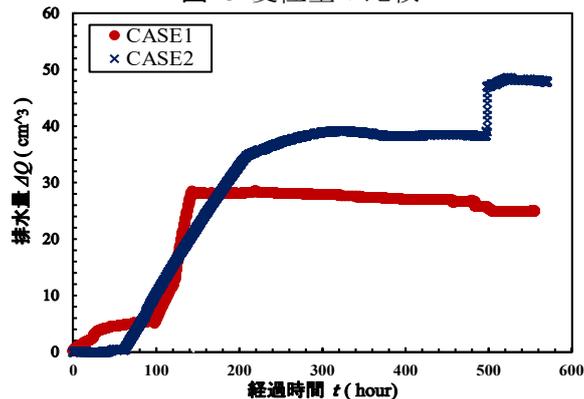


図-4 排水量の経時変化

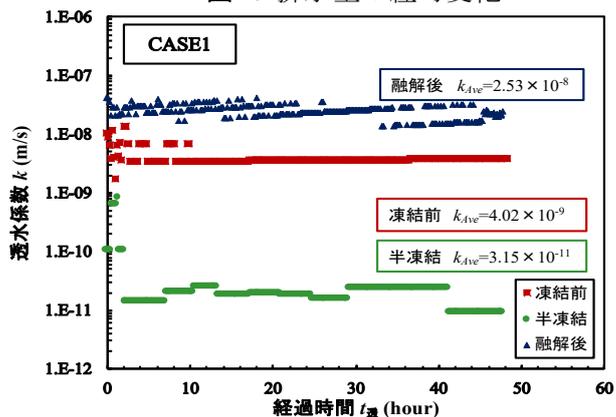


図-5 透水係数の経時変化

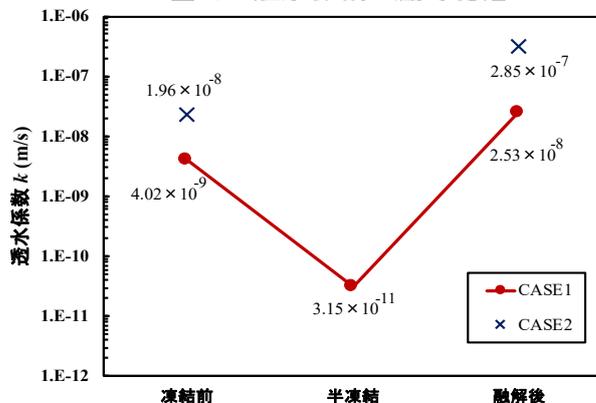


図-6 透水係数の変化