細粒土の凍結時に未凍土部分で生じる収縮クラックの透水係数に与える影響について

奥村組土木興業	正会員	○廣瀬 剛	摂南大学	正会員	伊藤	譲
北海道大学	フェロー	石川 達也	低温圈工学研究所	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:寒冷地において粘性土地盤が凍結されるとアイスレンズ(IL)が発生し地表面が隆起する.この現象は凍上と呼ばれ,凍上量を左右する IL は凍結面に隣接する未凍土から吸水することにより厚く成長する. 一方,凍結面に隣接する未凍土では凍上圧と IL への給水により脱水圧密されて収縮クラック(SC)が発生する.このような凍上現象は道路等地上構造物に被害をもたらすことが知られている.

一方,凍土の強度や遮水性,凍着による既設構造物との一体化を積極的に利用する地盤凍結工法(AGF)が 古くから行われ,従来はシールドの地中接合等土留めに適用されてきたが,近年,アメリカでは凍土の遮水性 を利用した汚染物質の封じ込めに AGF が採用されており,国内でも福島で凍土遮水壁が適用されている.汚 染物質を封じ込める凍土壁は対応策が完了するまで長期間維持管理され,安定的な維持管理が求められる.

これまでの研究では、AGF を模した凍結実験において凍結面に隣接する未凍土で水平方向の SC が発生する ことが確認されており¹⁾, SC が水道(みずみち)になると図1に示すように本来難透水層と想定していた粘 土層が砂層に匹敵する透水層へと変化する可能性があり、凍土壁を迂回する想定外の水流が懸念される.

本研究の目的は AGF により凍結した地盤の凍結面に隣接する未凍結土において発生する水平方向の SC が 透水係数に及ぼす影響を明らかにすることである.今回は AGF を模した水平方向変位拘束凍結融解鉛直透水 実験で凍結面を固定させるステップ様式により凍結させ、凍結前と凍結中、融解後の透水係数を検討した. 2.実験方法:試料土は黄土 16N (ρ_s = 2.702 g/cm³, w_L : 54.5%, w_P : 22.1%, 砂分: 0.9%, シルト分: 31.5%, 粘土分 67.6%) である.凍結実験は試料土を液性限界の 1.3 倍程度の含水比に調整し、練り混ぜてペースト状 にして脱気し、24 時間養生した後に予圧密荷重 P = 500 kN/m²まで段階的に圧密した供試体を使用した.

水平方向変位拘束凍結融解鉛直透水実験¹⁾は矩形の供試体(幅 8cm,奥行き 7cm,高さ約 7cm)を水平方向の変位を拘束した条件下で水平方向に凍結させ,鉛直方向に上 載荷重を加え,鉛直方向の透水係数を測定する装置である.

図2に実験中の温度変化を示す.凍結前と融解後はTc,Tw = 5℃とし、底板とスタンドパイプとを接続し、上板から排水させ、鉛直方向に変水位透水試験を行った.凍結過程では供試体をTc = 0℃,Tw = 3℃として6時間冷却し、氷核形成を行った直後にTc:-7℃まで温度降下させ、一定温度で凍結させた.未凍土部分で発生するSCの透水係数が未凍土部分の透水係数に及ぼす影響を検討するため、部分的に凍結させた状態で変水位透水試験(凍結中透水試験)を行った.なお、 $t = 35 \sim 55$ 時間はデータが得られていない.

凍結過程では Tw から給水し,給水量は重量変化として測定 された.凍結中透水試験時には給水を止めて変水位透水試験を 行った.上載荷重 p = 50 kN/m² が鉛直方向に載荷され,凍結中 の鉛直変位が測定された.凍結実験後は供試体を高さ方向に上 部,中部,下部に取り分け,Tc から Tw までを 8 等分し,含水



図1 未凍土の収縮クラックによる水流



キーワード 凍結,収縮クラック,透水係数,飽和細粒土,人工地盤凍結工法 連絡先 〒552-0016 大阪府大阪市港区三先1丁目11番18号 奥村組土木興業技術部 TEL06-6572-5262 比を測定して間隙比を算出した.凍結実験前の間隙比は,凍結 融解実験後の供試体の含水比から,凍結融解過程における変位 量および給水量の変化分を考慮して算出した.

3.結果と考察: 図3に鉛直変位量*h*tの経時変化を示す.*h*tは経過時間に応じて増加し,凍結中透水試験時にも*h*tの変化が収束しなかった.

図4に給水量wの経時変化を示す.wはTc=0 Cになったt= 24時間に排水されているが、図3では h_t に変化がなく、両者は 対応していない.t=30時間で氷核形成直後に急排水され,t=36 時間で排水から給水に転じた.凍結中透水試験では給水を止め ており、融解直前に給水を再開した.融解後は凍結前と比較し てwは大きくなった.

凍結中透水試験時は給水を止めているが,図3のように*h*tは 増加しているため,スタンドパイプから供給した水の一部が IL へ給水され*h*tに影響を及ぼした可能性がある.

図 5 に実験後の間隙比分布を示す.実験後の間隙比 e は実験 前よりも $d=2.5\sim5.5$ cm の範囲で増加し, $d=5.5\sim8$ cm では低 下する傾向が認められた. e の変化は凍上による水分移動が原因 であると推測され, $d=0\sim5.5$ cm では供試体が凍結され, d=5.5~8 cm は実験中に凍結されず, 脱水されたためと考えられる.

ここで, w から求めた凍結前間隙比は凍結中透水試験中の IL への給水を無視しており, 給水量変化が少なく評価されたため, 変位量からの算出値よりも大きくなったと考えられる.

図 6 に凍結前,凍結中,融解後の透水係数を示す.凍結中の 透水係数 $k_{\rm f}$ は変水位透水試験の通水面積 $A = 17.5 \, {\rm cm}^2$ (幅 2.5 cm, 奥行き 7 cm) として計算した.凍結前 $k_{\rm u}$ と比較して $k_{\rm f}$ は増加し ており,融解後の透水係数 $k_{\rm t}$ と同程度であった.

透水係数は間隙比に強く影響を受けるため、未凍土部分($d = 5.5 \sim 8 \text{ cm}$)では実験前よりも実験後の間隙比が低く、 k_f は k_u よりも低くなるはずである.しかし、 k_f は k_u よりも増加しており、SCが k_f の透水係数に影響を及ぼした可能性がある.一方、凍結中透水試験中に IL への土中水の移動が生じ、 k_f に影響を及ぼした可能性もある.

4.まとめ:本研究の成果をまとめる.①水平凍結実験により凍結面に隣接する未凍土における収縮クラック が透水係数に及ぼす影響が検討された.②未凍土部分の凍結時の透水係数は凍結前の透水係数よりも増加した. ③凍結中の鉛直変位量および給水量の変化は収束せず,凍結中に IL の成長が継続したと考えられる.④凍結 中透水試験でも凍結面に隣接する未凍土では IL への土中水の移動が生じ,透水係数に影響した可能性がある. 謝辞:本研究には科学研究費補助金(基盤研究(B))課題番号 17H03307 番が使用されています.本実験の主要部 分は摂南大学都市環境工学科の井上泰洲氏,田村拓夢氏,辻本雅人氏の卒業研究として実施されたものです. 参考文献:1) 廣瀬剛他: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.

-444-

