

論文審査の結果の要旨

寒冷地の細粒土地盤において冬季に地表面から冷却されると、土中にアイスレンズ (IL) と呼ばれる氷晶が幾重にも形成される。IL の発生を伴う地盤の隆起は凍上現象と呼ばれ、冬季には道路舗装や鉄道レール等の構造物を打ち上げるなどの被害が発生する。そして、春先の融解時には不等沈下が発生し、凍上被害をより大きくする。

一方で、このように有害なイメージのある地盤凍結を積極的に利用した技術として、人工地盤凍結工法 (AGF) がある。AGF の利点は含水状態の地盤における飛躍的な強度増加と完全な遮水性の確保である。また、既設構造物と凍着することにより連続した構造を容易に形成することができ、土質の不均質性に関わらず一様な地盤改良が可能であり、工事終了後に地盤汚染等の心配がなく、地中障害物を残さないことも利点である。

近年、アメリカでは汚染土壌の封じ込め技術として AGF が利用されている。現在、日本においては福島第一原子力発電所の廃炉事業で凍土遮水壁による汚染水の封じ込めが行われている。凍土遮水壁は原子炉建屋における汚染水の漏水対策が終了するまで長期間の維持管理が必要であり、地震などによる一時的な電力供給の停止により凍土壁の一部または全部が融解した事態に備える必要がある。それは、一旦凍結した細粒土では融解後にその透水係数が著しく増大することがあるためである。

AGF の今後の展開のためには、細粒土の凍結融解による透水係数変化のメカニズムを正しく理解して予測につなげることが不可欠である。これまで数多くの研究が行われてきた。しかし、凍結融解土の透水係数の予測が可能となるレベルでのメカニズムの解明には至っていないかった。

AGF で構築された凍土遮水壁が融解する過程において、具体的には IL 直交方向と IL 方向の水流が問題となる。本研究の目的は凍結融解土の透水係数を実験的に評価する方法を開発することであり、以下の各項目を実験的に明らかにした。

- (1)IL の発生量が凍結融解土の IL 直交方向の透水係数変化に及ぼす影響
- (2)地盤の固結度および上載荷重が凍結融解土の IL 直交方向の透水係数に及ぼす影響
- (3)IL 方向の凍結融解土の透水係数を決定する要因
- (4)凍結融解土の透水係数と IL および SC の痕跡との関係の解明
- (5)凍結融解土の透水係数を予測する方法の提案

これらの成果は、以下のとおりである。

(1) IL の発生量が凍結融解土の IL 直交方向の透水係数変化に及ぼす影響では、一次元凍結融解透水実験 (鉛直凍結実験) の結果、凍結融解土の透水係数に冷却条件や凍上率との関係は認められず、凍結時に発生する IL の枚数や厚みは凍結融解土の透水係数に有意な影響を与えてはいないことが確認された。

(2)地盤の固結の程度および上載荷重が凍結融解土の透水係数に及ぼす影響では、予圧密

荷重および実験荷重を変化させた鉛直凍結実験の結果、凍結融解土の透水係数は予圧密荷重の違い（固結度）には関係なく、凍結融解時の実験荷重に対応した間隙比と透水係数の値に近づくことが明らかになった。これらより、未凍結土と凍結融解土の関係を間隙比と透水係数とで整理すると、それぞれ異なった土質のような独立した関係にあり、IL 直交方向の凍結融解土の透水係数に影響を及ぼす要因は、凍結融解を受ける際の土被り圧等の上載荷重だけであることが明らかとなった。

(3)水平方向に凍結融解した土の鉛直方向（IL 方向）の透水係数に及ぼす荷重条件、給排水条件、凍結融解の繰り返し回数による影響を実験的に検討した。その結果、IL 方向の透水係数も IL 直交方向と同様に実験荷重に応じた間隙比と透水係数に近づく傾向があり、凍結融解の繰り返し回数が多くなるほど実験荷重に応じた一定の値に収束する。低温側で間隙比の著しい増加が認められる場合では、透水係数の増加も顕著であり、間隙比の増加が小さい場合は透水係数の増加が小さいことが認められた。

(4) 凍結融解土の透水係数と IL および SC の痕跡との関係の解明では、IL と SC の痕跡が凍結融解土の透水係数に及ぼす影響を検討した。ステップ式による鉛直凍結実験の結果、ステップ式とランプ式凍結において凍結融解土の透水係数に有意な差はなく、IL や SC 自体の痕跡は凍結融解土の透水係数に及ぼす影響は小さく、凍結融解後の供試体による圧密透水試験で IL 方向と IL 直交方向の透水係数を比較しても、両者にほとんど違いはなかった。さらに、三軸凍結実験後と鉛直凍結実験後の圧密透水試験による透水係数は同等であり、実験結果の妥当性が明らかになった。

(5)凍土遮水壁等の人工地盤凍結工法で問題となる、IL 方向の透水係数を算出する方法を提案した。水平凍結実験の間隙比分布を IL 直交方向の間隙比と透水係数の関係式により透水係数分布に換算した。このように予測された透水係数は凍結融解実験後に変水位透水試験で測定された透水係数の測定値に近く、この方法の妥当性が示された。

以上のように学位申請者が提案した一連の研究結果は凍結融解土の透水係数変化のメカニズムを明らかにするとともに、その予測が実験的に可能であることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。

以上