

摂南大学 正会員 伊藤 護

日本には多くの軟弱地盤が存在するが、狭い国土を有効利用するためにはこれらの地盤も何らかの手段で改良する必要がある。各種地盤改良工法において鉛直ドレーン工法は最も経済的な工法の一つである。そのメカニズムは排水距離を短くすることで圧密を促進させるものである。しかし、鉛直ドレーン自体では地盤強度の増加をもたらすことができない。ところで、凍上の研究¹⁾において凍結・融解した土の間隙比の減少、透水係数の増大が報告されている。そこで鉛直ドレーン工法に凍結・融解現象を組み合わせることは機能向上につながると考えられた。本研究の目的は、この凍結融解現象と鉛直ドレーン工法に適用した新工法の可能性を探るために、効果的な冷却方法を検討することである。

実験には図 1 に示す凍結融解実験装置を用いた。試料には藤の森粘土（表 1）を使用し、スラリーから 0.5kgf/cm^2 まで予圧密し、 $\phi 100\text{mm} \times \text{h}80\text{mm}$ に成形した供試体を用いた。実験では上載荷重 0.5kgf/cm^2 で、初期温度 T_w より下部プレート温度 T_c を降下させて実験を行い、 T_w 、 T_c 、側面温度、変位、排水量を測定した。融解過程は 24 時間として、その後含水量を測定し、標準圧密サンプルを凍土側と未凍土側より採取した。そして、圧密試験により間隙比、圧密降伏応力、圧密係数、透水係数等の変化を調べた。

実験条件は表 2 に示す。シリーズ 1 では冷却速度 ($\dot{T}_c$) の影響を得るため主としてランプ式凍結を行い、シリーズ 2 では冷却温度と時間に注目し、瞬間的に設定温度で冷却するステップ式凍結のみを行った。また、シリーズ 1、2 を通じて凍結時は給排水のない閉式条件とした。

シリーズ1の結果を図2～4に示す。凍上量 h は冷却速度が速いものほど増加が速い傾向が見られた。融解時の排水量高さは $hw = \text{排水量} / \text{断面積}$ で定義し、この hw は h との関係を期待したが異なる結果となった。このことより h が多くても凍結速度が大きいと hw が小さくなると考えられた。試験後の含水比分布より凍土側で冷却速度の小さいものほど含水比が低下する傾向が見られた。

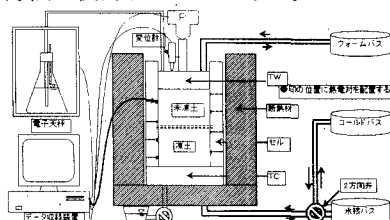


図1 凍結融解実験装置

液性限界	ω_L	%	61.5
塑性限界	ω_p	%	31.0
塑性指数	I_p	%	30.5
密度	ρ_s	gf/cm ³	2.678
粘土分		%	29.0
シルト分		%	69.8
砂分		%	1.2
最大粒径		mm	0.425

表2 試験条件

	シリウス1				シリウス2			
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
冷却方法	S	—	—	R	S	—	—	S
Tc °C/h	—	-0.1	-0.5	-0.3	—	—	—	—
Tw °C	+6	+5	+6	—	+5	+10	+3	+10
Tc °C	-5	-0.2~5	-0.2~5	-0.2~5	-5	-10	-3	-10
凍結時間 hour	24	72	34	40	72	36	120	36
解凍速度 °C/h	120	240	145	160	360	360	360	360
排水条件	Tc側	Tc側	Tc側	Tc側	Tc側	両側	Tc側	Tc側

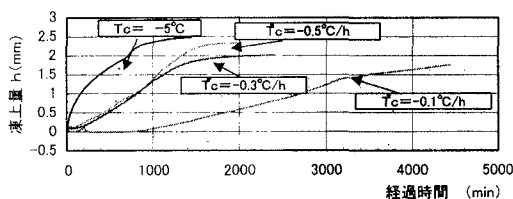


図2 凍上量(シリーズ1)

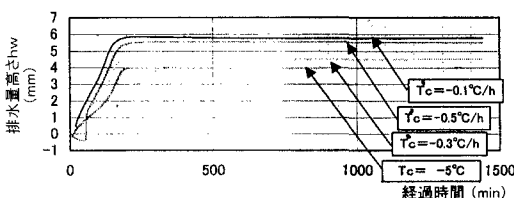


図3 排水量高さ(シリーズ1)

シリーズ2では冷却温度、凍結時間に着目し積算度(=Tc×時間)一定条件で実験を行った。その結果は図5~7に示す。凍上量hは最終的に、2.6~2.9mm程度で収まった。しかし、hの発現は高温の-3℃で最も遅かった。hwはシリーズ1同様、hとの関係は判断できなかった。しかし、Tc=-5℃の条件においてシリーズ1と2を比較すると、ステップ式においても凍結時間を長くすることで多く排水されるようである。試験後の含水比分布からは未凍土側において含水比低下が見られた。これは凍結の初期において凍結面が最終IL位置に瞬時に跳び、未凍土部分がILによる強いサクションを長時間受けたためと思われる。

シリーズ1、2を通じては凍上量(図2.5)と排水量(図3.6)の関係について見てみると二つのことが言える。一つは凍結した水量がすべて排水されるわけではないということ。もう一つはステップ式に比べランプ式の方が排水量は多いということである。次に、含水比(図4.7)を比較したところ凍土側ではランプ式が、未凍土側ではステップ式の方が含水比の低下は大きかった。また、ステップ式においても冷却温度を低く、凍結時間を延長することで凍土側の含水比がより低下する傾向が見られた。

凍結・融解試験後に行った圧密試験の結果より冷却条件と透水係数kとの関係を図8、圧密降伏応力Pcとの関係を図9示す。kは凍結・融解を行うことにより冷却速度の違いCase2、3を除いて5~10倍程度大きくなった。これらは冷却速度が遅いため凍土内にILが多く発生し、含水比減少に伴ってkも減少したためと思われる。Pcはランプ式では凍土側が、ステップ式では未凍土側の値が大きくなった。これらの実験結果より初期においてはランプ式によりゆっくり冷却し、ある温度になったら一定に保つのが最適冷却方法ではないかと考えられた。

4. 結論

今回の実験の結果、以下のことが明らかになった。①凍土部分は冷却速度が遅い方(ランプ式)が、含水比の低下が大きく、圧密降伏応力の値も大きくなる。②未凍土側はステップ式の方が含水比の低下が大きく、圧密降伏応力の値も大きくなる。なお、凍結時間を長くし、冷却温度を下げると含水比はさらに低下する。③新工法において、冷却速度は当初遅く、冷却温度はより低く、凍結時間はより長いほど大きい脱水効果が得られると考えられる。なお、この研究を行うにあたりご援助下さいました錦城護謨株式会社に深く御礼申し上げます。

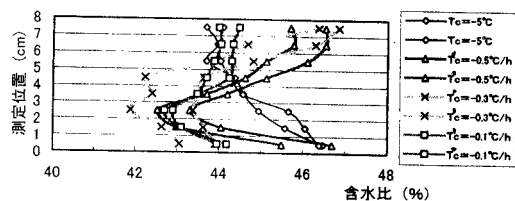


図4 試験後の含水比分布(シリーズ1)

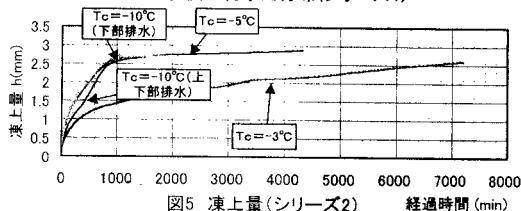


図5 凍上量(シリーズ2)

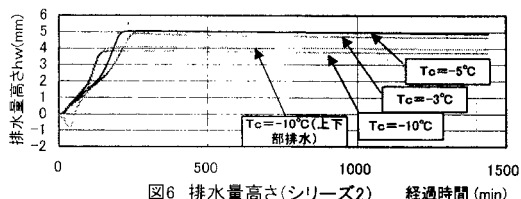


図6 排水量高さ(シリーズ2)

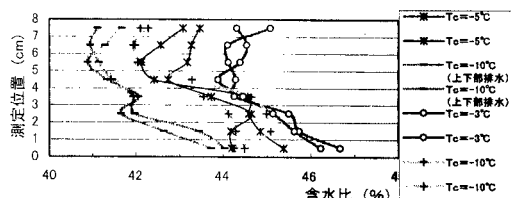


図7 試験後の含水比分布(シリーズ2)

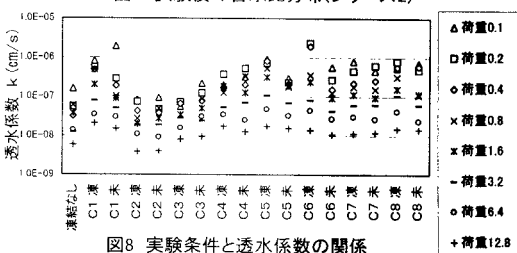


図8 実験条件と透水係数の関係

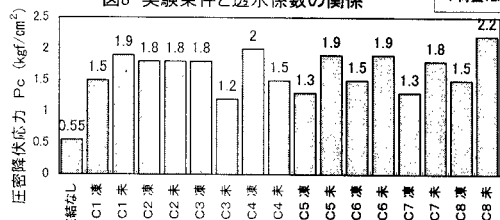


図9 実験条件と圧密降伏応力の関係