奥村組土木興業	正会員	広瀬剛
摂南大学工学部	正会員	伊藤譲
	学生員	片野田栄·

1.研究目的

軟弱地盤の地盤改良において、鉛直ドレーン工法は代表的な工法である。ところで、過去の研究より凍結 融解現象よって凍土と未凍土における間隙比の減少、透水係数の増大が得られることが知られている¹⁾。そ こで、凍結融解作用と鉛直ドレーン工法とを組み合わせた新圧密促進工法が提案された。本研究では、 、 次元凍結融解実験により効果的な冷却方法の検討を行い、 土槽実験により新工法の効果を実験的に確認し たのでここに報告する。

<u>2.実験方法</u>

実験装置は図1に示す1次元凍結融解実験装置²⁾(a)と土 槽実験装置(b)である。試験では425µm ふるいを通過させ た藤の森粘土(粘土分29%、シルト分69.8%、砂分1.2%、 密度2.678g/cm³、LL61.5%、PL31.0%)を用いた。

1次元凍結融解実験では供試体には49kPaまで予圧密し、 100mm×h80mmに成形したものを用いた。実験は上載荷 重49 kPaで初期温度Twから下部プレート温度Tcを降下さ せ、その後Tcを初期温度に瞬間的に戻し、24時間一定に 保った。実験後、含水比分布を測定し、サンプルを凍土・ 未凍土側より採取して標準圧密試験を行った。実験は表1 に示す条件で行った。シリーズ1ではランプ式により冷却 速度の影響を調べ、シリーズ2ではステップ式により積算 温度(=Tc×時間)一定で冷却温度と冷却時間を変化の影響 を調べ、CASE9では凍結開始時にはランプ式により温度降 下させ、その後Tc=-5 に達した後一定に保った。

土槽実験では藤の森粘土を 250mm×h100 の土槽内に おいて予圧密して作成した。なお、冷却管を挿入するため に中心部に 20mm の穴が設けられた。土槽実験装置は凍 結過程では凍結管から水平に凍結し、融解過程では凍結管 に巻かれたドレーンにより排水を行うものである。実験で は鉛直変位量、排水量、温度の測定を行った。土槽実験は 表2に示す条件で行った。TEST1は-10 、TEST2は-5 で冷却し、それぞれの融解は鉛直変位量、排水量が安定し た後に終了させた。

<u>3.結果と考察</u>

<u>3.1 冷却方法の検討</u>

シリーズ1の結果を図2~4に示す。凍結過程では凍上量

キーワード:凍結融解、含水比、圧密降伏応力、圧密係数

〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 摂南大学土木工学科 072-839-9701



(a)1次元凍結融解実験装置
(b)土槽実験装置
図1 凍結融解試験装置の構成

表 1	1次元凍結融解実験条件

			1				
		CASE1	CASE2	C A S E 3	CASE4		
冷却方法		S	R	R	R		
冷却速度	/h	-	-0.1	-0.5	-0.3		
Τw		+ 5	+ 5	+ 5	+ 5		
Тс		- 5	-0.2 ~ - 5	-0.2 ~ - 5	-0.2 ~ - 5		
冷却時間	h	24	72	34	40		
積 算 温 度	۰h	120	240	145	160		
排 水 条 件		Tc側	Tc側	Tc側	Tc側		
		シリーズ 2					
		CASE5	CASE6	CASE7	CASE8	CASES	
冷却方法		S	S	S	S	R	
冷却速度	/h	-	-	-	-	-0.5	
Τw		+ 5	+ 10	+ 3	+ 10	+ 5	
Тс		- 5	- 10	- 3	- 10	-0.2 ~ -5	
冷却時間	h	72	36	120	36	77	
積 算 温 度	۰h	360	360	360	360	360	
排 水 条 件		Tc側	両側	Tc側	Tc側	Tc側	
		S: ステッ?	ブ式 凍 結	R:ラン	ブ 式 凍 結		



0



h は冷却速度が大きいほど小さく(図 2)。融解過程における 排水量高さ(hw = 排水量 / 断面積)は h とは反対の傾向を示 した(図 3)。試験後の含水比分布を比較すると、ランプ式は ステップ式(Tc= - 5)と比較して凍土部分の含水比分布の 低下が見られた(図 4)。これはランプ式では凍土部分全体に 凍上の影響がおよび融解時に排水されやすかったと考えら れる。

シリーズ2の結果を図5~7に示す。凍上量hはランプ式 で冷却した場合を除いて最終的に2.6~2.9mm 程度で収ま った(図5)。融解過程におけるhwはシリーズ1と同様hと 反対の傾向を示した(図6)。試験後の含水比分布はステップ 式では未凍土の含水比の低下が激しかった。また、凍結過 程の初期においてランプ式により温度降下させると凍土だ けでなく、未凍土でも含水比の低下がみられ、冷却温度が 同じときは未凍土の含水比分布が同じ傾向を示した。なお、 Case9 において Tw 付近の含水比が大きいのは含水比試料 採取時の手順によるものと考えられる(図7)。

実験後供試体の標準圧密試験の結果を図 8、9 に示す。圧 密降伏応力 Pc は圧密試験そして含水比から推定した値と もおおむね一致していて 2~3 倍程度増加したいる。続いて 圧密係数 C_vは全体的に増加しており、特にステップ式で は 5~10 倍増加したが、これは冷却時間との関係もあり、 ランプ式においても冷却時間を増加させることで増大する と考えられた(図 9)。また、融解時の排水時間から求めた圧 密係数もほぼ同じ傾向にあったことを報告する。

<u>3.2 土槽実験</u>

土槽実験の結果を図 10 に示す。試験後の含水比分布は未 凍土部分では含水比の低下が見られるが、凍土側では増加 している。これは、未凍土部分では脱水圧密されたが、凍 土部分では凍結管とプレート付近の構造に問題があり、こ の部分で鉛直荷重が十分に載荷されず、融解時に排水され なかったためと考えられる。また、供試体上面とプレート の摩擦による影響も無視できない。

(cm) 測定位置 初期含水比 41 43 49 51 39 45 含水比 (%) 図4 試験後の含水比分布の比較(シリーズ1) 3.5 積算温度 360 ۰h Tc = -5 3 (mm) 2.5 2 ч 1.5 凍上量 Tc = -0.5 /h (最終Tc = -5) 1 下部排水 0.5 3000 4000 5000 経過時間 (min) 凍上量の比較(シリーズ2) 1000 0 2000 6000 7000 8000 図5 積算温度 360 ·h 排火量高さ hw(mm) Tc=-10 (下部排水) Tc=-10 (上下部排水) 0 0 500 1500 1000 経過時間 (min) 図6 排水量高さの比較(シリーズ2) 積算温度 (cm) (上下部排水) 6 5 4 測定位置 初期含水 3 2 0 41.0 43.0 51.0 39.0 45.0 47.0 49.0 含水比 (%) 図7 試験後の含水比分布の比較(シリーズ2) 250 (kPa) $\overline{\mathbf{0}}$ 200 Pc 0 150 圧密降伏応力 100 50 C4凍 C6₩ C7凍 C7未 ₹80 ₩80 東結な 条件と圧密降伏応力0 関係 含水比から推定した圧力 10000 正密係数 C_v(cm²/d) ∆ C3 ♦ C5 □ C4 ▲ C6 ● C8 1000 ■ C7 ×凍結なし *****.* 100 10 0.8 0.9 1.1 1.2 1.4 1.5 0.7 1 1.3 1.6 間隙比 e 図9 圧密係数と間隙比の関係(凍土) 70 凍土 最終0 位置 未凍土 $\left(\begin{array}{c} 65\\ 60\end{array}\right)$ ← TEST2(Tc=-凍結管 セル壁 55 - TEST1(Tc=-1 出 50 そ 何 45 40 0 2 14 6 12 測定位置(水平方向)R (cm) 図10 試験後の含水比分布

4.まとめ

新圧密促進工法における冷却方法の影響を検討した結果、凍結開始時にランプ式により冷却し、その後一 定の冷却温度で長く凍結することにより凍土部分も未凍土部分も融解時の圧密促進効果が大きいものと結論 づけられる。その効果は今回の実験では、Pc に換算すると 50~100 k Pa 以上、C_vに換算して 5 倍程度であ った。土槽実験においては未凍土の脱水圧密効果が確認されたが、凍土では実験装置の構造上の問題から明 らかではなかった。

< 参考文献 > 1) Chamberlain, E.J.: Effect of freezing and Thawing on the permeability and Structure of Soil, Engineering Geology, Vol.13, pp73 ~ 92, 1949 . 2) 片野田栄一他: 凍結融解による粘性土圧密特性の変化, 土木工学会関西支部年次学術講演 会, 2000(予定)