

1. まえがき 人工地盤凍結工法は、軟弱地盤、つまり正規圧密粘土地盤や未圧密粘土地盤等で数多く採用されており、このような地盤における凍結膨張変位や解凍沈下量を適確に予測することは、近くに構造物がある場合、特に重要となる。しかしながら、過圧密粘土の凍上性¹⁾に関しては数多くの研究例があるが、正規圧密粘土の研究例は非常に少ない²⁾。

そこで、正規圧密粘土の凍上性を明らかにするために、正規圧密粘土および過圧密粘土について室内凍上試験を実施し、それらの凍上性の比較検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 試験に用いた試料の土性 試験に用いた試料の土性値を表-1に示す。試験には蒸留水を加えてペースト状にした試料をモールドにつめ、所定の先行荷重を載せてKo圧密したものを供試体とした。先行荷重が凍上試験時の上載荷重と等しいものを正規圧密粘土とし、先行荷重が凍上試験時の上載荷重より大きいものを過圧密粘土とした。

3. 試験方法 凍上試験に使用した装置は、一定の荷重を供試体に作用させ、水の出入りを自由にしたまま、一定の凍結速度で供試体を凍結させることができるようにしたものである³⁾。

試験はLNG地下式貯槽指針の凍上試験方法に準じて、一定上載圧、一定凍結速度のもとで実施した。ただし、指針では凍上試験前に凍上試験時の上載圧より1Kgf/cm²だけ大きな荷重で余圧密することになっているが、正規圧密粘土については、先行荷重がその分だけ大きくなるので、この過程を省略した。試験条件を表-2に示す。正規圧密粘土については、同一条件において、同一供試体で4~10回の凍上試験を実施した。

4. 試験結果および考察 4.1 過圧密粘土の凍上特性 凍上試験の結果を次の高志の実験式で整理した。

$$\xi = \xi_0 + \sigma_0 (1 + \sqrt{U_0/U}) / \sigma \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ξ は凍結膨張率、 σ は上載圧、 U は凍結速度、 ξ_0 、 σ_0 、 U_0 は実験から求まる土固有の定数である。これらの定数は表-1に示すとうりである。

4.2 正規圧密粘土の凍上特性 1) 凍結融解の影響

図-1に、凍結履歴のない試料の凍結膨張率 ξ_i と凍結融解をn回受けた試料の凍結膨張率 ξ_n との比 ξ_n/ξ_i と凍結融解の回数nとの関係を示す。いずれの場合も凍結融解を繰り返すことにより、凍結膨張率が小さくなっている。しかも、冷却速度が小さい、つまり凍結速度が小さいほど、 ξ_n/ξ_i は急速に一定値に収束している。これらの傾向は次の理由で説明できる。凍結速度が早い場合、凍結面で発生した吸水力による有効応力の増加によって生じる凍結面前方の未凍結上の圧密が完了しないまま、凍結面が進行し、その応力が供試体に完全には伝達しない。一方、凍結速度が遅い

表-1 土性値

粒 度 特 性	砂 分 (%)	40
	シルト分 (%)	46
	粘土 分 (%)	14
	D ₅₀ (mm)	0.05
土粒子の比重 G _s		2.586
初期含水分比 ω (%)		40~41
凍 上 定 数	ξ_0	0.005
	σ_0 (Kgf/cm ²)	0.015
	U_0 (mm/hr)	9.82
	n _f	0.344

表-2 試験条件

冷却速度	$d\theta/dt$ (°C / hr)	- 2.5 ~ - 0.104
上 載 圧	σ (Kgf / cm^2)	0.2 ~ 3.2
供試体 の寸法	直径 (cm)	6
	高さ (cm)	2
過圧密粘土の先行荷重 P_0 (Kgf / cm^2)		4.2

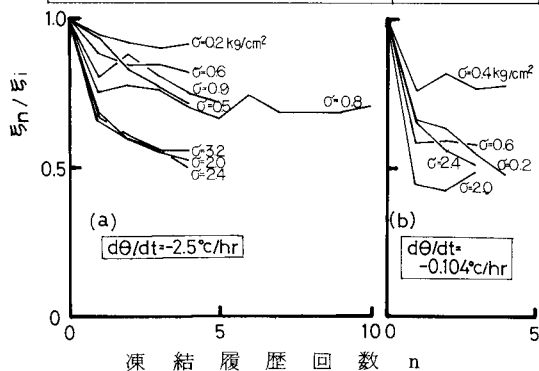


図-1 凍結融解に伴う凍結膨張率の変化

場合は、その応力が十分伝達される。そのために、凍結履歴を受けた試料は凍結に伴う吸水力が発生しても、その応力は過圧密領域に入っているの、未凍結土の圧密変形が少なくなり、凍結膨張率が一定値に収束したものと思われる。

このことから、凍結履歴の無い試料での試験は正規圧密土の試験、履歴の有る試料の試験は過圧密土の試験と言える。

2) 凍結膨張率と上載圧の関係 図-2 に凍結膨張率と上載圧との関係を示す。凍結履歴の有無で結果を分けたが、両者とも式(1)で整理できた。凍結履歴の無い試料の凍結膨張率はそれが有る場合や過圧密土の値に比較して大きく表われた。

正規圧密粘土と過圧密粘土の凍結面への吸水力が等しければ、凍結面での有効応力の増加による圧密変形は正規圧密粘土の方が大きいので、凍結膨張率は過圧密粘土の方が大きくなるはずである。しかし、今回の傾向は逆の傾向にある。

これは、過圧密粘土で求めた凍上定数が土固有の値でないか、あるいは固有の値であるものの、未凍結土の透水係数や間隙率が過圧密粘土の値より大きく、凍結面の水の移動が容易になるためとも思われる。

凍結履歴の有る試料の凍結膨張率は過圧密粘土のその値とまったく同じであった。これは凍結履歴を受けることにより、先行荷重が増加し、過圧密粘土の状態に近いものになるためと思われる。

3) 凍結に伴う先行荷重の増加量 正規圧密粘土が凍結履歴を受けた場合、凍結面で発注した吸水力に伴う未凍結土に作用した増加応力を次のようにして求めた。

圧密試験で求めた、 $W \sim \log \sigma$ (含水比と上載圧) 直線と同一座標に、凍上試験前後の含水比をプロットする(図-3)。各応力での含水比の変化量に相当する応力の変化量を求め、その値を先行荷重の増加量とした(図-4)。その結果、増加応力は最大 2 kg f/cm^2 程度発生したことが予想される。図中の計算値は半無限地盤を対象にしたものであり、直接比較することはできないが、参考までに記載した。

4. 結論 一定上載圧 (0.2 ~ 3.2 kg f/cm^2)、一定凍結速度 (1 ~ 10 mm/hr) のもとで、正規および過圧密粘土の凍上試験を行った結果、次のことが明らかになった。

① 正規圧密粘土の凍結膨張率の方が過圧密粘土のそれより大きい。 ② 正規圧密粘土が凍結履歴を受けると、その凍結膨張率は急速に過圧密粘土のそれに等しくなる。 ③ 凍結面での吸水力は最大 2 kg f/cm^2 程度発生する。

参考文献 1) 了戒他 “一定拘束応力下における飽和土の凍上特性” 清水建設研究所報, 33号(1980) 2) 高志他 “一次元凍結速度における凍結面前方の間隙水圧と脱水圧密” 雪氷, 39巻2号(1977) 3) LNG地下式貯槽指針, 日本瓦斯協会(1977)

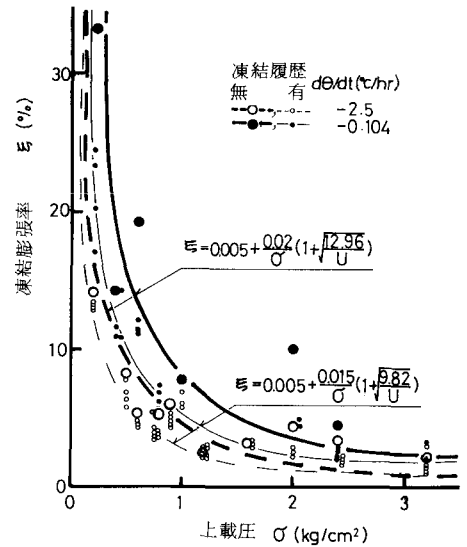


図-2 正規圧密粘土における凍結膨張率と上載圧との関係

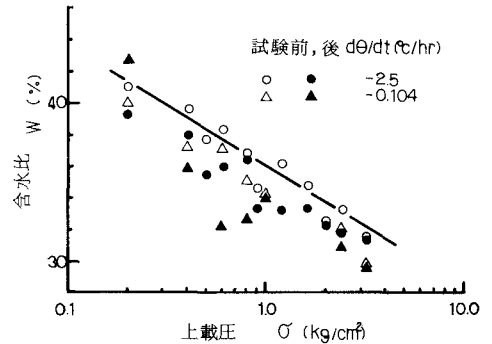


図-3 凍上試験前後の含水比の変化と圧密試験における $W \sim \log \sigma$

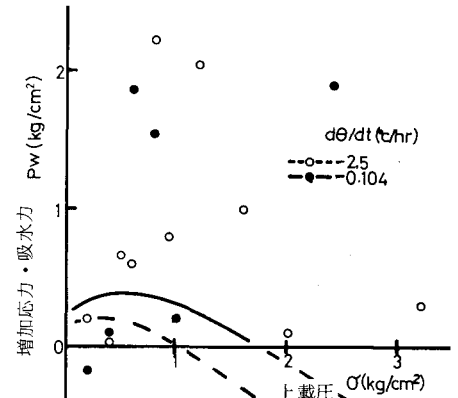


図-4 含水比の変化から推定した増加応力と吸水力の計算値