

(株) 精研 正員 高志 勤
 " " 生頼 孝博
 " " 山本 英夫

1. はじめに

地盤凍結工法やLNGあるいはLPG地下貯蔵タンク等では、冷熱源によって土が凍結する。シルトや粘土の様に細粒成分を多く含む土では、凍結するときまわりから水分を呼び込み未凍結時の含水比より増加する凍上現象が発生し、工学上の困難な諸問題を惹起する。

凍結域の土の凍上特性を知る方法として、現地盤より不攪乱土を採取して室内凍結実験が行なわれることが多い。室内実験における供試体長さは、ほとんどの場合10cm以内であって、それ以上は実験装置上困難な場合が多い。この様な供試体長さから得られた凍上に関する諸数値を用いて現地盤の凍上を推測する場合、scaleの違いが問題となる。著者等は先に凍結面前方の未凍結土の動水抵抗の凍上に及ぼす影響を理論解析し、供試体長が長くなれば凍上率（凍上量／凍結前供試体長さ）が減少することを示した。¹⁾ 供試体長さは凍上を支配する外的要因の一つであって、室内実験における供試体の妥当性に対して検討を加える必要がある。

本報告では、供試体長さが凍上率に及ぼす影響を実験的に検証するとともに、供試体長さが極端に短くなった場合の凍結挙動を調べその結果を報告する。

2. 実験装置

図1に示す実験装置は、凍結中水の出入りが自由に出来る所謂開放型凍上実験装置である。装置の詳細は既発表論文に譲る。²⁾

土への載荷はバネによって行ない、凍結は供試体上端の冷却板で行ない、他端は凍上に従って自由に動くことが可能なピストン型冷却部で補給水源をも兼ねていて、実験中常に0℃に保たれる。

3. 試料土及び実験方法

試料土は、東京郡九段下より不攪乱の状態で採取したもので、比較的硬質な洪積世粘土である。表1に諸物性値を示す。細粒成分も多く非常に大きな凍上性を有する土である。

供試体は、直径10cm、長さ約9cmに整形し、供試体端面を順次削り落しながら計11段階の長さにしたものである。各供試体長さについて凍上実験を12回以上繰返し、供試体長さの凍上率に及ぼす影響を調べた。

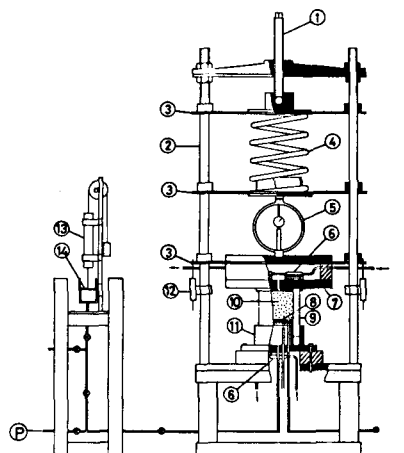
凍結中の土の有効応力は $\sigma = 2.4 \text{ kg/cm}^2$ 、凍結速度は $U = 2 \text{ mm/h}$ になるように冷却板温度をプログラムコントロールした。

4. 実験結果及び考察

図2は供試体長さが $l \approx 37.2 \text{ mm}$ の場合の凍結・解凍を繰返したときの凍上率と吸排水率 Δw の変化を示したものである。図より明らかのように凍結を繰返す事によって Δw は徐々に減少し l によって異なるが大体6回ぐらいいらば一定値を示すようになる。全データを示した図3では、 l が短くなるときのバラツキが大きくなる。

表1 試料土の物性値

粒度 %			Gs	w	γ_t	n	Sr	Py	Sg
砂	シルト	粘土	-	%	g/cm ³	-	%	kg/cm ²	m ² /g
2	34.5	63.5	2.64	75.8	1.506	0.676	96.1	6.4	136.2



- ① 荷重調整装置
 ② 土 柱
 ③ タイド板
 ④ スプリング
 ⑤ 冷却 部
 ⑥ 電子油圧シリンダー
 ⑦ 冷却 板
 ⑧ ガラス・プレート（多孔板）
 ⑨ フラット・プレート（試料室）
 ⑩ 試 料
 ⑪ 補給水源
 ⑫ 電圧変換器用変圧器
 ⑬ 水圧測定用圧力センサー
 ⑭ フロート（浮子）
 ⑮ 試料室用風道ポンプ

図1 凍上実験装置

そこで各供試体について後半の6~7回の平均値をその供試体における δ 、 δ_w の代表値とし、図4に示す。(凍結-解凍の繰返しによる凍上量の減少については現在では不明である。)図3中実線は文1)に示された動水抵抗の影響を考慮しても、 δ_w を求める式の計算結果を示したものである。計算に用いた定数は、凍結という攪乱を与えない、即ち、1回目の凍結だけのものから得られたもので今回の試料土とは少し異なる様である。従って、実験結果と計算結果とは量的には差があるが、 δ が長くなればなる程 δ が減少する傾向は一致している。しかしながら、 δ が1.5cmより短くなる範囲では計算結果とは明らかに異なり δ が短くなればなる程 δ が減少するようになる。この現象については次の様に考えられる。地盤凍結工法の現場において、0℃近くの負温度の凍土が未凍結時の状態とほとんど変わらない、即ち、ほとんど凍結していないような凍土に遭遇することがある。Hoekstra は凍土中を不凍水が自由に移動することを観察している。³⁾又、我々は凍結を非常に長時間継続した場合、凍結面後方数cmの凍土中にアイスレンズの発達するのを観察している。⁴⁾凍上は凍結中の吸水現象によるが、上述の事実を考慮すると、この吸水能力の発生域は0℃あるいは土の凍結温度における凍結面とするよりはむしろ凍結面後方の有限長の範囲にあると推測できる。もし有限長の吸水領域 δ が存在すると仮定すると、凍結を開始して凍結が δ まで進行しない場合は凍上はあまり発生しないであろう。図5は凍上及び吸排水量の経時変化の例を示したもので、それはAの領域に対応している。次に凍結が進行して δ を超えると吸水領域本来の凍上が発生し、これはBに対応する。C領域は凍結完了後の不凍水の凍結による膨張である。以上の推論が正しければ、 δ が δ_w より十分に大きければ、 δ は未凍結土の動水抵抗の為 δ の増加に対して減少する。又、 $\delta < \delta_w$ の場合には、 δ が完成しないまま凍結が完了する為 δ の未完成が卓越してきて δ が減少すると δ_w も減少するようになると思われる。

5. おわりに

本実験によって、土が吸水型の凍上を示す場合、凍上率は比較的短い供試体長さ(本試料では1.5cm付近)で最大値をもつことがわかった。従って、室内凍上試験における供試体長さは重要であり、凍上率が最大値をとる供試体長以上のものを用いることが望ましい。本実験は現段階において粗削りではあるが、吸水領域の存在を量的に求める可能性があり、凍上機構の解明への糸口となりうるかもしれない。

(参考文献) 1) 高志・益田・山本・雪水, Vol. 38, No. 1, PP. 1-10, (1976).

2) 高志・益田, 雪水, Vol. 33, No. 3, PP. 1-12, (1971).

3) Hoekstra and Chamberlain, Nature, Vol. 203, (1964).

4) 高志・生頼・山本・岡本, 第14回土質工学研究発表会, 165, (1979).

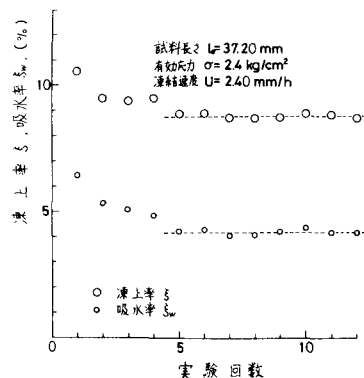


図2 繰返し凍結における δ 、 δ_w

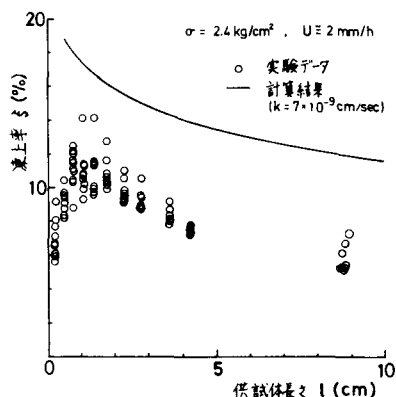


図3 δ と l の関係

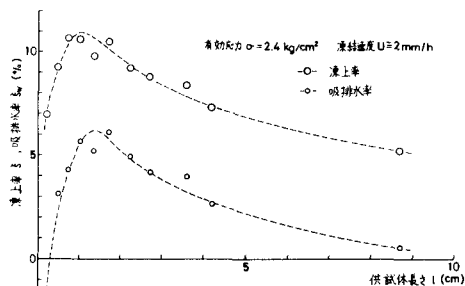


図4 各々の l に対する δ 、 δ_w の代表値

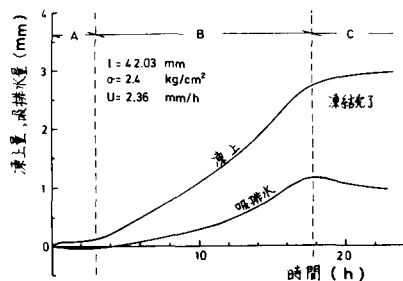


図5 凍上量、吸排水量の経時変化