

精研冷機株式会社 正員 ○高志 勤

同 上

益田 稔

§ 1 はじめに

土の凍結が進行する時、凍結面付近で水分の移動が生じ、この移動水分の多寡が凍上量を支配する。従って、凍上現象を実験的に取扱うには、試料に水が自由に出入できる条件すなわち open system での実験が不可欠となる。著者らは既に、このような条件のもとで実験を行い、①凍上量は試料に載荷した全圧力にはほぼ逆比例して抑制をうける。②飽和試料中の間隙水の移動方向は、全圧力が小さい場合には吸水、全圧力がある限界を越えた場合には排水する。③凍上抑制量と水分移動量は常に収支相補っていることをみいだした。

さて、水で飽和された地盤中では、載荷によって発生する全圧力は間隙水圧と有効圧力とによって分担して受けもたれ、土の力学的諸性質は間隙水圧に無関係に有効圧力のみに支配されることは土質力学の基礎となる原理である。著者らのこれまでの実験では、試料の間隙水はこれと連通するパイプによって大気圧下に開放されていたため、間隙水圧は常に無視できる程微小であった。よって、全圧力は有効圧力と等しく取扱うことができたといえる。そこで今回は、空気圧によって間隙水に一定の圧力を加えることができるよう装置を改造し、有効圧力が一定となるように全圧力と間隙水圧の組合せをいろいろ変化させて凍上量に対する影響を調べた結果を報告する。

§ 2 実験装置および試料

装置の詳細な説明は既発表文献にゆずり、ここでは圧力調節について述べる(図-1)。試料⑩を試料室⑪にセットしたのち、試料および系内を水で飽和させ、フロート⑭のレベルを試料上端付近にあわせる。次に、間隙水圧発生タンク内に圧搾空気を送り間隙水圧 P_w を加えると同時に、スプリング④によって上載圧力 P ($P > P_w$)を加えて試料の圧密変形を完了させる。この時、試料内の有効圧力 P_u は $P_u = P - P_w$ として与えられる。こうして得られた P_u を一定に保ったまま、 P と P_w の組合せを変更するには、まず連通管⑮のバルブAを閉じて上載圧力を ΔP だけ増加させると ΔP は試料内の間隙水圧の上昇分 ΔP_w として負担されるため土は殆んど変形を生じない。次に、

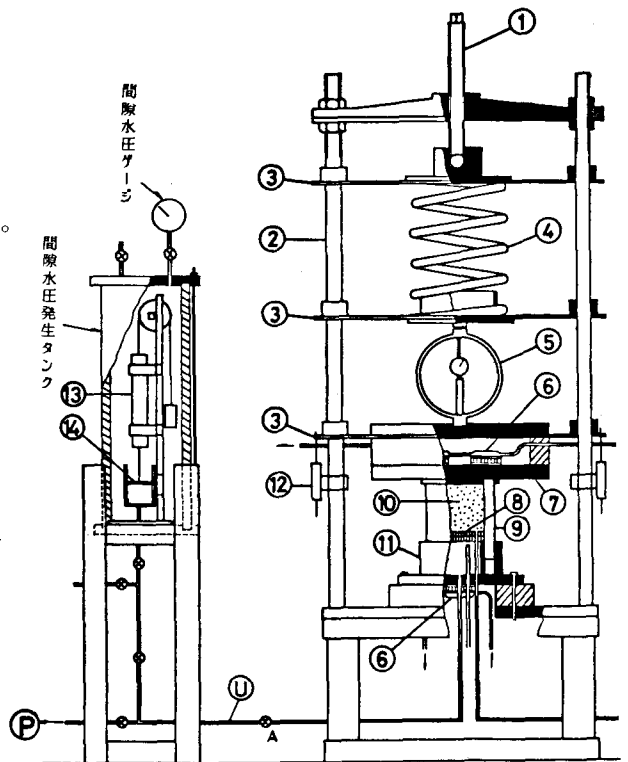


図-1 実験装置

バルブ A を閉じたまま、タンク内の圧力を ΔP_w だけ増やしてバルブをあける。このようにした場合、圧力の変更前後で試料の状態を変化させずに有効圧力を一定とすることができた。

実験に用いた試料は、横浜・根岸付近

の基盤をなす三浦層

群中の固結シルト (GL-28m) で、本層相当層の一部はいわゆる土丹と称されているものである。土粒子比重 $G_s = 2.71$ 、自然含水比 $w = 31\%$ で粒度分析結果は図-2に示す。本実験に用いた固結シルトは先行圧密が大きく、固結化もかなりの程度まで進んでいるので軟弱シルトなどに見られるような凍結-解結に伴う体積減少も殆んどなく、しかも同一条件での実験反覆に対して結果の再現性がよいことはこれまでの実験で保証されている。

§ 3 実験方法と結果

凍結実験は以下にのべる手順によって同一条件のもとで行った。まず、凍結開始に先だって冷却板⑦および補給水槽⑪の温度をひとまず 0°C まで下げて試料内の温度分布を 0°C に一様化させた後、冷却板温度のみを -12.5°C にして凍結を開始する。約一昼夜して凍結を解き、試料の解凍を確認して圧力条件を変更し次の実験にうつる。このようにして、載荷圧力を $0.9 \sim 6.5$ ㎏、間隙水圧を $-0.8 \sim 3$ ㎏ の範囲内で組合せて、有効圧力が $0, 1, 3, 4$ ㎏ の 4 段階の場合について実験を行った。なお、供試体の寸法は直径 10cm とした。

(1) 間隙水圧と凍上量の関係

凍結過程における凍上量と水分移動の経時変化の例を図-3に示す。縦軸には凍上量および水分移動量 (試料断面積に対する水柱換算量) 横軸は時間である。図では載荷圧力 P がすべて 4 ㎏ で、間隙水圧 P_w がそれぞれ $0, 1, 3$

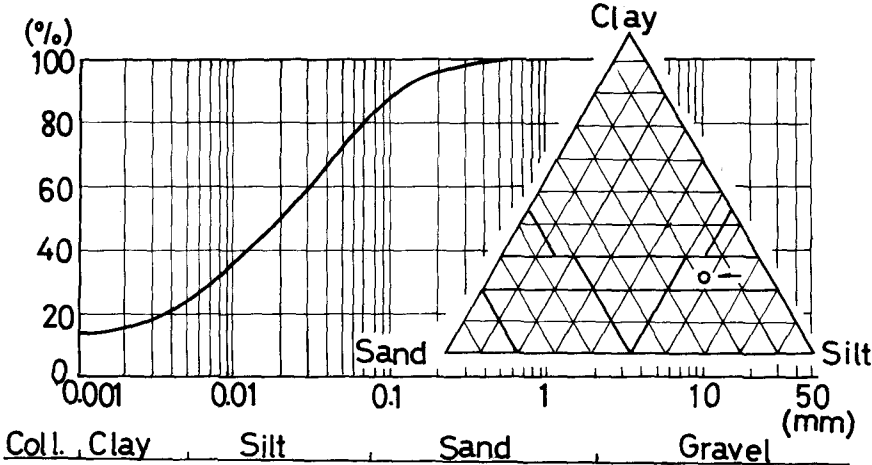


図-2 試料の粒度分析結果

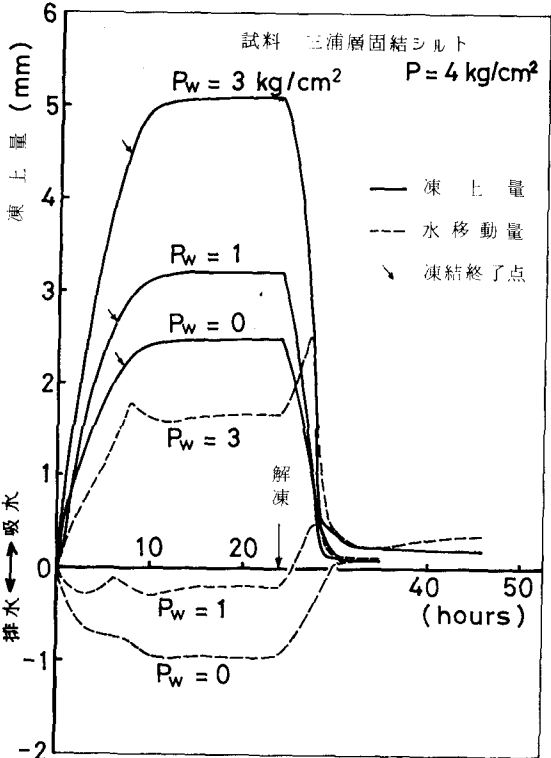


図-3 凍上・水分移動の経時変化

Kg/cm^2 の場合を示すが、 P_w が大きいものほど凍上量は大きくなっている傾向がわかる。また、 $P_w = 3$ の時は土は吸水しながら凍上しているが、 $P_w = 1$ の時は最初排水で後半吸水するものの全体としては水は排出されており、 $P_w = 0$ の時は排水一方である。このことより、載荷圧力が一定でも間隙水圧条件によって土粒子相互の作用力、すなわち有効圧力が変化すればこれに伴って凍結挙動も変化するといえる。

(2) 有効圧力と凍上量の関係

実験のすべての結果を図-4に整理して示す。縦軸には、凍結前の試料高さに対する凍上量の割合として定義する凍上率を、横軸には間隙水圧を目盛ってある。

これをみれば、間隙水圧 P_w と載荷圧力 P の組合せが変化しても、有効圧力 P_u が同じならば凍上率は殆んど変化しないことがわかる。例外として、 $P_u = 1$ および 3 の時いずれも $P_w = 0$ (大気圧) の場合に限って凍上率が他より小さいものがみられる。これらは各々の有効圧力段階の実験のうちいずれも初回の実験結果であった。 P_u を一定に保ちつつ $P_w \rightarrow 0$ の場合の実験を済めたのち念のため再度 $P_w = 0$ で試したところ凍上率は $P_w \rightarrow 0$ の時と同程度に揃っていた。そこで有効応力 $4 Kg/cm^2$ の段階では、最初に $P_w \rightarrow 0$ の実験から開始して最後に $P_w = 0$ の場合を行ったところ、凍上率に変化は見られなかった。

以上のことから $P_w = 0$ 付近での特異性は一応否定できるがさらに確認の意味から水圧発生タンク内を大気圧以下に減圧して $P_u = 3$ で実験したところ、図にみるように $P_w = 0$ 付近でも凍上率に殆んど変化は見い出せなかった。よって間隙水圧に関する限り現象の普遍性は満足されたことになるので、前述の特異な結果は、圧力条件以外の原因によってもたらされた結果であると結論できよう。

載荷圧力に等しい間隙水圧を与えると、土粒子相互の作用力が0の状態が実現するであろう。この観点から有効圧

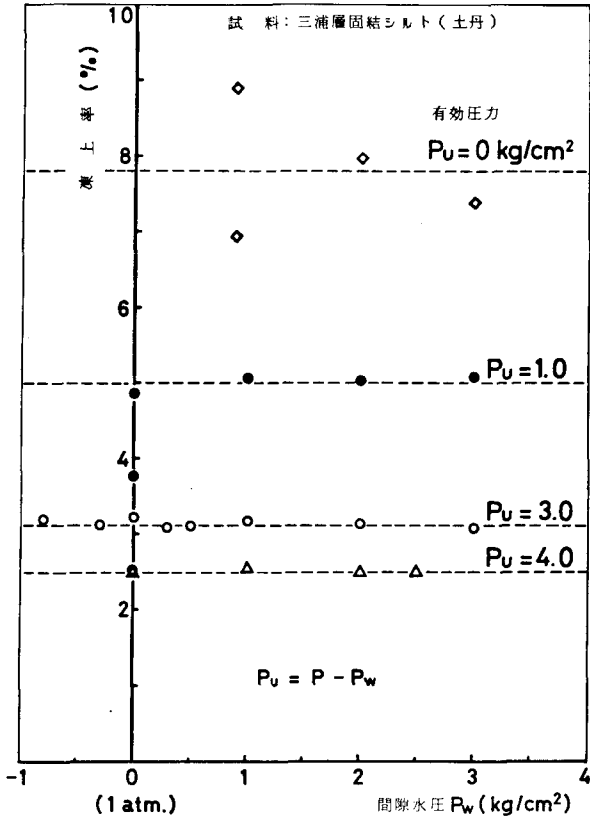


図-4 有効圧力と凍上量の関係

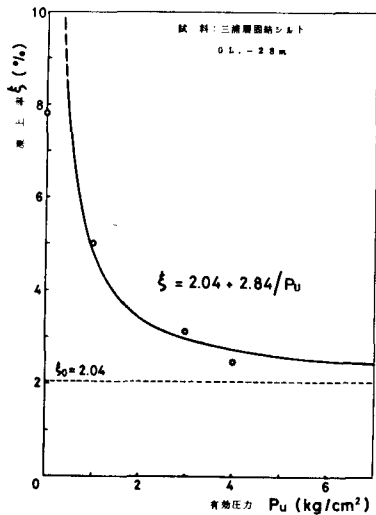


図-5 有効圧力と凍上量の関係

力が0の場合を実験した。結果は図にみる如く凍上率は本実験中最大となって現われ7～9%という高率を示した。しかしながら、圧力のバランスを微小な範囲で調節することは至難であって結果はかなりのバラツキを有する。

図-4の有効圧力を横軸にとって整理すると図-5を得る。プロットの数はいくつかではないが、これを最小自乗法で直角双曲線に近似させると図のような曲線に沿って配列していると見做しうる。これによって、凍上率は有効圧力にはほぼ逆比例して抑制されることがわかる。この結果は本稿 § 1 中で述べた①の事項と調和している。

(3) 有効圧力と水収支

実験結果を凍上量と水分移動量との関連に於て整理したのが図-6である。縦軸は凍上量を、横軸は水分移動量(水柱換算)を目盛った座標上に各実験結果をプロットしてある。各々は原点0(凍結

前の位置)から出発し、凍結過程で水分移動を伴いながらそれぞれ個々の凍上量に達する(途中経路は省略)。有効圧力0の場合をのぞき、各有効圧力毎に最終凍上点は集中する傾向をもつ。これは、凍上量と水分移動量が1対1の対応関係にあることの図式表現に他ならない。また、各点は勾配がおよそ1.09の直線に沿って配列している。このことは水の凍結膨張量が約9%であることと対応し、また、本実験中を通じて試料内の水分収支が一定に保たれていたことを保証している。

§ 4 結 論

土の凍上特性に影響を及ぼす作用因子として圧力条件に注目した場合、凍上率は載荷圧力・間隙水圧の如何に拘らず有効圧力にのみ依存するということが今回の実験から導かれた。従って、間隙水圧が一定の場合、§ 1 の①は今回の結論の系として導かれる。凍上の criteria のひとつとして有効応力の概念を導入することによって、滞水した深層地盤や被圧滞水層を挟在する粘性地盤の凍結膨脹特性の推定に寄与することができるであろう。また、今回の実験からは、凍上と水分移動の対応性、水収支等これまで著者らが得た成果と矛盾する現象は発見されなかった。

〔文献〕 ○高志・住吉(1969): 上載荷重がある場合の開放型凍上における凍上量の増減について 土木学会第24回年次学術講演会予稿、Ⅲ-120、

○高志・益田(1971): 拘束圧下における土の凍上量と間隙水移動について、雪氷 33、109~119.

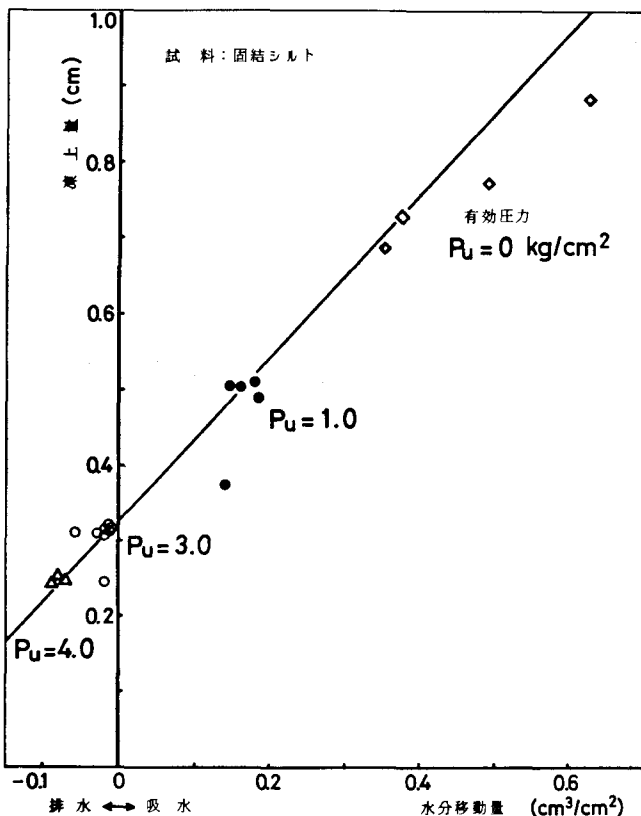


図-6 有効圧力と凍上量・水収支