

(株) 精研 正員 山本英夫 正員 高志勤 正員 生頼孝博 正員 岡本純

1. 緒言

湿った土が凍結するときに生じる凍上と解凍後の次下は凍土にかかわりをもつ様々な分野に於いて問題となる。特に地盤凍結工法ではその採長に関してこれ等は重要な要素になっている。凍上に関しては多くの研究がありその輪郭も明らかになりつつあるが、次下に関する研究は少なく不明点が多い。本報告は飽和した粘土を圧密して作製した種々の含水比の供試体について、凍上に関して主に含水比との関係、次下に関しては先行圧密圧力、凍結中の拘束応力や凍結速度等の凍結条件との関係を調べることと目的とし、一次元凍結-解凍実験を行なった結果を示したものである。

2. 実験方法

試料土には藤の森粘土を用いた(図1)。後述するように比較的凍上性の大きな土である。実験装置は供試体に載荷した状態で一定速度で一元的に凍結-解凍することができ、水分の移動が供試体の一端から自由に行なうことのできる開放型の凍上試験機である。

供試体作製は次のようにして行なった。まず、気乾燥し粉砕された試料土の内 $420\mu\text{m}$ フリー通過分について液性限界以上の含水比で練り返し、直径 11cm の試料容器に圧密完了時点で約 5.5cm になるように、 $1\sim 30\text{kgf/cm}^2$ の圧密圧力の範囲で2日間圧密を行なった。このように作製した試料土を直径 10cm 、高さ 4cm に整形しこれを供試体とした。各供試体の含水比及び別途に行なった圧密試験より得られた透水係数を夫々図2、3に示す。

凍結中の拘束応力は 1kgf/cm^2 、凍結速度 U は平均 3mm/h の条件を中心にして凍結-解凍実験を行なった。

3. 実験結果及び考察

3-1. 凍上率に及ぼす含水比の影響

供試体作製時の圧密圧力 P と凍上率 λ (凍結前供試体長に対する凍上量の比) の関係を図4に示す。 P が増加すると最初は λ が増加するが徐々に減少傾向になる。即ち、 P が 4kgf/cm^2 附近で λ の最大値が存在する。 P と供試体初期含水比 w_0 は図2の関係にあるので同様に λ を最大にする含水比が存在することになる。このことは空隙率 n や乾燥密度 ρ_s 等の物理定数に対しても同様の傾向があると云える。含水比が変化することによって凍上に影響を与える要素としては次のものが考えられる。④未凍結土の透水係数が変化することによる動水抵抗。⑤凍上する為には工粒子間隔を拡大しなければならないから土の粘着力あるいは引張強度。⑥凍上力はエ-水系が凍結することによって生じるのであるから単位体積中の工粒子の表面積あるいは乾燥密度。⑦凍結面前方の間隙水圧の低下による未凍結土の圧密。 w_0 が減少(= P が増加)することによって④、⑤は λ を減少させる方向に、⑥、⑦はその逆の方向に働くと考えられる。

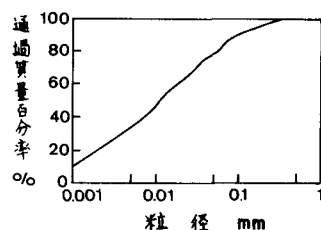


図1. 藤の森粘土の粒度分布
 $w_L=48.1\%$, $w_p=27.6\%$, $G_s=2.603$

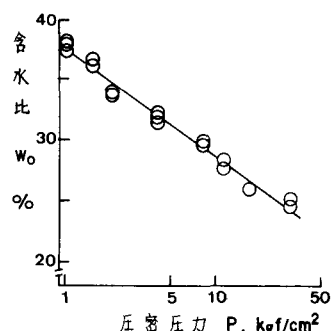


図2. 供試体の含水比と圧密圧力の関係

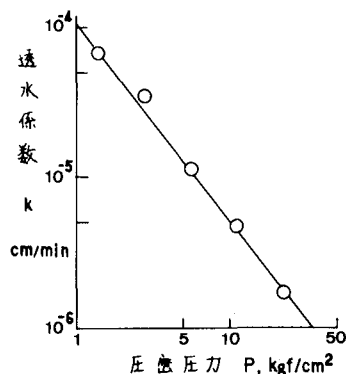


図3. 供試体の透水係数

ちが最大となる $P=4 \text{ kgf/cm}^2$ で作製した供試体について σ_1 及び U を変化させて行った実験の結果 (図5、6) を著者等が示した実験式¹⁾ $\xi = \xi_0 + \frac{\sigma_0}{\sigma_1} (1 + \sqrt{\frac{U_0}{U}})$ で整理すると図中の実線のようになり ξ_0 、 σ_0 、 U_0 が得られるので、図3の凍土係数を用いて P が増加した場合の④に関して ξ の減少を試算することができる。²⁾ 図4中の実線がその結果で $P > 4 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で ξ の減少と傾向的に一致している。 $1 < P < 4 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で ξ の増加は③、④を個々に評価することが困難ではあるが特に③については直接凍上機構に関するもので今後他の試料土についても実験を行ない考察を加えたい。

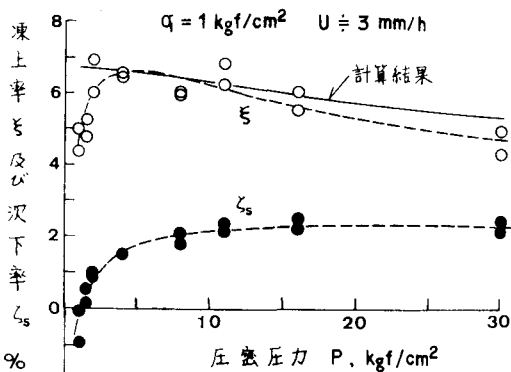


図4. 凍上率及び解凍次下率と圧密圧力の関係

3-2. 解凍次下率に及ぼす圧密圧力の影響

ここでいう解凍次下率 ζ_s とは、凍結前と解凍後の供試体長の差を凍結前供試体長で除したものであり、正は解凍後凍結前より浮き上がったこと、負は沈下したことを示す。図4に ζ_s と P の関係、図5、6に 4 kgf/cm^2 圧密土に関して σ_1 及び U を変化させた場合の ζ_s を示す。図4より P が増加する (= 含水比が減少する) と ζ_s は負から正に転じほぼ一定値に収束する。図5より σ_1 が増加すると ζ_s は ξ と同じように双曲線的に減少する。図6より ζ_s は σ_1 が同じであれば U に拘らずほぼ一定となること等がわかる。又、図7は、図4~6の全データを ζ_s と ξ で整理したものであるが両者には明確な相関関係がみられない。これらの図を全体的にみると、 σ_1 と P の相対的關係例えは過圧密比 P/σ_1 ととて考えると U 及び ξ に依らず P/σ_1 が小さくなると ζ_s は小さくなり $P/\sigma_1 = 2$ 附近で $\zeta_s = 0$ となり $1 \leq P/\sigma_1 < 2$ の範囲では沈下することになる。

凍結中吸水型の凍上を示す場合、凍結面前方では間隙水圧が低下し有効応力が増加する為凍結前に圧密し、これが解凍後の沈下の原因となる可能性がある。しかしながら、図5の結果では、 σ_1 が小さくなる程吸水速度が大きくなり凍結面前方の間隙水圧の低下も大きくなるにも拘らず ζ_s に関しては全く逆の傾向になっている。このことは、今回用いた試料長の範囲では、解凍次下は未凍結時の脱水圧密に依るよりは、一旦凍土になってから凍土中で何等かの作用が働き解凍後沈下となって現われたと考える方が妥当かもしれない。

4. 結 言

圧密、飽和工の凍上・次下実験より次の事が明らかとなった。

- 1) 凍上率 ξ は供試体の初期含水比に依存し ξ を最大にする ξ_0 が存在する。
- 2) 解凍次下率 ζ_s は凍結速度及び凍上率に依存しないが先行圧密圧力 P と凍結中の拘束応力 σ_1 に依存し、 P/σ_1 が2以下では解凍後沈下 ($\zeta_s < 0$) になる。

参考文献

- 1) 高志・益田・山本, 雪氷, Vol. 36, No. 2, 1-20 (1974)
- 2) 高志・益田・山本, 雪氷, Vol. 38, No. 1, 1-10 (1976)

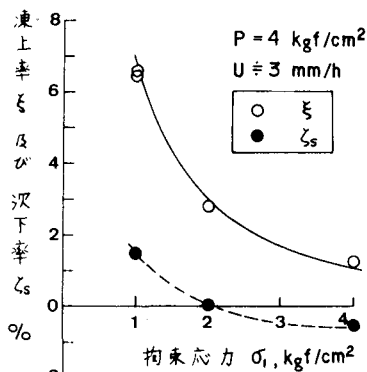


図5. 凍上率及び解凍次下率と拘束応力の関係

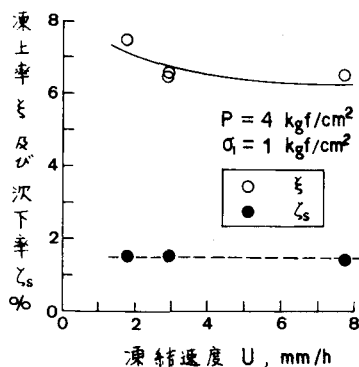


図6. 凍上率及び解凍次下率と凍結速度の関係

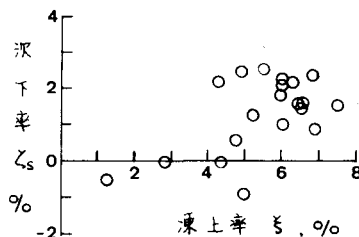


図7. 沈下率と凍上率の相関