

III-B 371 凍上を拘束したときの土の凍上圧

長岡技術科学大学大学院 学生員 朱 青
 長岡工業高等専門学校 正員 小川 正二
 長岡技術科学大学 和田 正

1. まえがき 土の凍結に伴って現れる凍上と凍上力は、寒冷地域における建物、道路、飛行場などに凍害を与える。長野、山梨、群馬県などの標高の高い山岳地域では地下水位が低く、地盤の凍結時に下方の地下水からの水分の供給のない closed - system で凍害現象が生じる。自然地盤の凍上は外気温の影響を受けるため、地表面の温度は一定ではなく、外気温の変化によって、不規則的に変化する。そのため、単位面積当たりの凍上力、いわゆる凍上圧は外気温の大きな影響を受ける。高志ら⁽¹⁾は冷却面温度一定の凍上実験で、上限凍上圧(σ_u)と冷却面温度との関係を調べているが、冷却面温度を変化させた場合の凍上圧についての研究はほとんど見られない。著者らはこの点に着目して、closed - system で凍上量をゼロとしたときの冷却速度と凍上圧との関係を検討した。

2. 実験方法及び実験内容 本実験で用いた試料は新潟県柏崎市米山付近で採取した練り返し粘性土である。湿潤状態の採取土を気乾状態にした後、200mmふるいを通過した土を実験に使用した。試料の粒度加積曲線は図-1の通りで、この試料を使って直径6cm、高さ2cmの飽和供試体を作製した。凍上実験装置は一軸圧縮試験機を改良した本体と、供試体をセットする試料室、冷却装置、温度制御装置、凍上圧測定装置、供試体内温度測定装置及び記録装置からなっている。

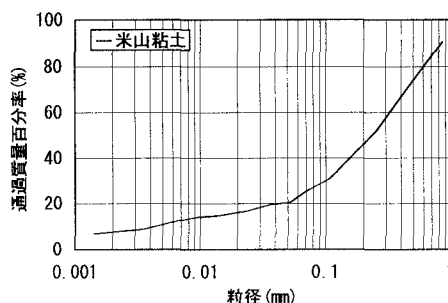


図-1 試料土の粒度加積曲線

冷却は供試体の下面より一次元的に行ったが、この際、供試体全体を凍結前に0℃に予冷し、冷却速度は0.1～5℃/hに設定し、供試体全体の凍上変位がゼロとなるようにフレームで拘束した。凍上圧はロードセルにより測定し、また、供試体上、下面の温度は銅-コンスタンタン熱電対で測定し、この結果をもとに冷却面の冷却速度を算出した。

3. 実験結果 下端での冷却温度(θ_c)は-10℃、-15℃、-20℃に設定したが、下端面温度は式 $\theta_c = \theta_0 + V_c \cdot t$ となるように変化させた。なお、 θ_0 は凍結の開始温度であり、 V_c は冷却速度($V_c = d\theta / dt$)である。凍上圧は図-2に示すように冷却面温度が低下するほど大きくなるが、冷却面温度に対して直線的な関係ではなく、凍結開始初期の凍上圧が大きく、その後次第に緩やかになっている、しかも冷却速度が大きいほど凍上圧が小さい。供試体は飽和状態にあるので、初期に間隙がほぼ水で飽和されているため、間隙水の凍結・膨張によりすぐに凍上が発生する。さらに上方からの水の移動が容易であるため、凍結初期に大きな凍上圧が発生すると考えられる。

凍上圧が急増する点を明確にするために、単位時間当たりの凍上圧である凍上圧の増加速度を求めると、図-3に示すように冷却速度が大きいと、凍結初期の凍上圧の増加速度が大きい、その差異は時間経過とともに小さくなり、最終的には冷却速度に関係なくほぼ同じ値になっている。

木下⁽²⁾は凍結の進行速度が大きくなる程、発生凍上力は大きくなると述べているが、しかし、図-4に示すように冷却速度の差異に関わらず、凍上時間が長くなると凍上圧は一定値となる傾向を示している。このように木下の結果と異なる結果となったが、凍結進行速度の定義の仕方の差によるのかもしれない。す

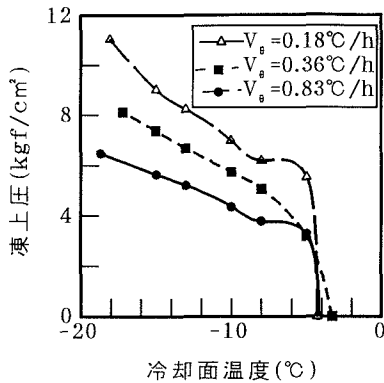


図-2 冷却面温度の変化により凍上圧の推移

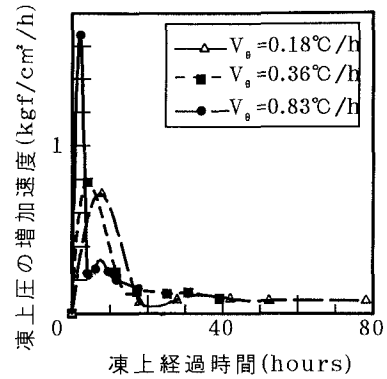


図-3 凍上経過時間により凍上圧の増加速度

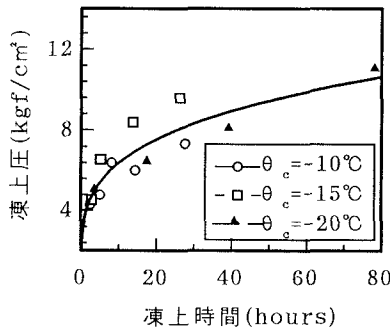


図-4 凍上時間による凍上圧の変化

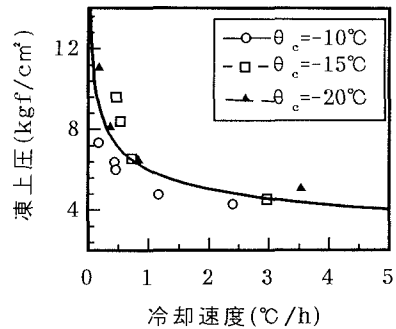


図-5 冷却速度と凍上圧の関係

なわち凍結面は凍上時間のたつにつれ次第に供試体内部に移行するので、ある時間内を経ると、凍結面が他端面まで到達することと凍上時間が長くなるにつれ未凍結水が凍結して二次凍上が生じるために、凍結速度の定義が木下の定義と異なっていたと考えられる。これについてさらに実験をするつもりである。

高志ら⁽¹⁾は冷却面温度一定の凍上実験を行い、凍上圧 σ_u は、ある限界温度までの間、冷却面温度に比例して増加し。この限界温度以下では、冷却面温度との比例関係はなく、その関係より小さくなり、土質によって定まる最大凍上圧（ $\sigma_{u,max}$ ）に漸近すると述べている、しかし、筆者らの実験では図-5に示すように、凍上圧と冷却速度との間には $\sigma = a \cdot V_g^{-0.5}$ （ a 、 b は正の実験定数である）の関係がある。更に、凍結前と融解後の供試体の間隙比の変化を見ると図-6に示すように融解後の供試体の間隙比は凍結前より小さくなり、融解後の供試体の体積が収縮する傾向にある。

4. むすび 土を closed - system で冷却面温度をある一定速度で下げて凍上実験を行った結果、凍上圧と冷却速度との間には $\sigma = a \cdot V_g^{-0.5}$ の関係があることが分かった。しかし、この凍上圧は冷却面の冷却速度だけでなく、土の種類にも依存するといわれているので、今後はさらに多様な土質について実験を進める予定である。

参考文献 (1) 高志 勤、生頼孝博、山本英夫、岡本 純、土の最大凍上力に関する実験的研究、雪氷、43巻4号、1981、12、p. 207～p. 215

(2) 木下誠一、凍上力実験、低温科学 物理篇、第30輯、1972、p. 191～p. 201

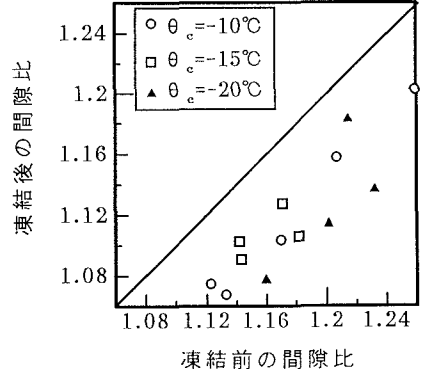


図-6 凍結前後の土の間隙比の変化