

III-294

不飽和供試体の凍上圧発生について

長岡技術科学大学大学院 学生員 ○木村 嘉富
長岡技術科学大学工学部 正会員 小川 正二
同 上 正会員 亀井 健史

1. まえがき 近年国内における地域開発が進展するのに伴って、道路網は寒冷地や高所山岳地にまで及んできた。これらの地域においては冬期の気温低下が著しく、凍上による被害は毎年多大なものとなっており、経済的な凍上防止対策工法の確立は急務となっている。

既往の研究においては、必ずしも路盤の凍上現象を再現しているとはいえず、また凍上メカニズムを説明するに至っていない。そこで本論文は凍上メカニズム説明の一つの手がかりとして供試体の飽和度に着目し、不飽和供試体において冷却初期に発生する凍上圧の測定を行なったので、その結果について報告する。

2. 試料および試験方法 試料は新潟県柏崎市米山付近で採取した練返し粘性土を用いた。その物理的性質を表-1に示す。供試体は試料土を所定の含水比に調整した後、内径6 cm、高さ12 cmの二つ割りモールドに5層に分けて入れ、落下高10 cmの1.5 kgランマーで各層20回突き固めて作製した。各供試体の含水比 w と乾燥密度 ρ_d は図-1に示すとおりである。

表-1 試料土の物理的性質

Gs	w_L	w_p	Ip	Sand	Silt	Clay
2.82	64.2%	36.6%	27.6	42.5%	29.5%	28.0%

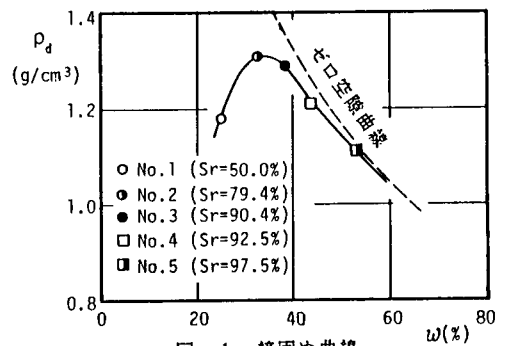


図-1 締固め曲線

凍上試験機のシステムは図-2に示すとおりであり、冷却はクローズドシステムで行なった。供試体は周囲が発泡スチロールで覆われた透明アクリル製の二つ割りセルに納められ、その上端面はピストン型冷却機で -2.2°C に、下端面は金属製ピストンを界して室温の $+2.0^{\circ}\text{C}$ に保たれている。供試体内の温度分布は熱電対を1.5 cm間隔で設置して測定した。一方凍上圧は熱電対をセットしていない供試体を用い、上下両端のピストンの変位を拘束することにより、下部ピストン内のロードセルで測定した。冷却は22時間継続し、終了後供試体を4分割して含水比の測定を行なった。

3. 試験結果および考察 熱電対を用いて測定した供試体内の温度分布の変化の代表例を図-3に示す。冷却開始後直ちに上端の温度が低下し、次第に下方に伝わり、そして10時間を経過するとほぼ平衡状態になることが確認された。なお、このような結果は他の条件の供試体においてもほぼ同じである。

次に供試体内の温度分布をもとに温度が 0°C となる深さを求め、これを凍結深さ Z とした。各供試体の経過時間と凍上圧、凍結深さの関係を図-4に示す。図から明らかなように、各供試体とも冷却初期に急激に凍結深さが増加した後徐々に穏やかになり、そして10時間を経過すると凍結面の進行は停止した。

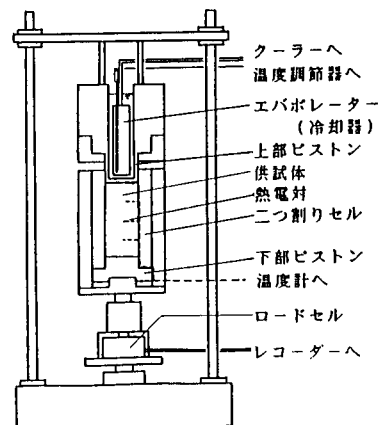


図-2 凍上試験機

飽和度の低い供試体No. 1 ($S_r=50.0\%$)においては、凍上圧はほとんど発生せず、透水性が悪いため水分移動もほとんどみられなかった（図-5）。したがって、間隙水が凍結して膨張しても空隙の部分が減少するだけで、供試体の膨張に結びつかないものと思われる。

供試体No. 2 ($S_r=79.4\%$)においては凍上圧は上端から凍結が開始しても発生せず、冷却開始4時間後から発生した。これと凍結深さの変化を比較すると、凍結速度（凍結面の進行速度）が大きい間は凍上圧は発生せず、速度が小さくなってから発生していることがわかる。また、試験後の含水比は上端部で34.1%，凍結面付近で37.7%となっており、乾燥密度が凍結前から変化していないと仮定すると飽和度はそれぞれ83.8%，92.6%と計算される。この結果より以下のようなメカニズムを考えることが可能である。供試体内の温度勾配により凍結面に水が移動し、その部分の飽和度が上昇する。ここで凍結速度が大きいと水分の移動が十分には行なわれず、凍結しても凍上圧は発生しない。しかし平衡状態に近づき凍結面の進行が遅くなると、水分の移動が十分に行なわれ間隙はほぼ飽和状態となる。この部分が凍結すると土粒子を引き離して間隙が膨張し、氷層が発生する。さらにこの部分に水分が供給されるとアイスレンズが発達し、平衡に達した後凍上圧は上昇を続ける。

供試体No. 3, 4, 5においては初期飽和度が90%を越えており、上端面での凍結が始まると同時に凍上圧が生じている。しかしながら、No. 5のように飽和度が大きく乾燥密度が小さい供試体では水分移動が活発になり、未凍結側に脱水圧密と凍上圧による圧密が生じて、見かけ上凍上圧の増加は初期において小さくなった。

5. あとがき 凍上メカニズム解明の一つの手がかりとして飽和度に着目し、クローズドシステムにおいて両端温度一定の条件のもとで不飽和供試体の初期凍上圧の測定を行なった。その結果次のことが確認された。

- i) 飽和度が小さい部分が凍結しても凍上圧は発生しない。
- ii) 凍上圧が発生するのは飽和度がおよそ90%以上の部分が凍結する場合と思われる。
- iii) 乾燥密度が小さくて飽和している供試体は、凍結により未凍結側に脱水圧密が生じる為、凍上圧の増加は小さい。
- iv) 同じ温度勾配のもとでは飽和度の大きい供試体ほど水分移動が活発である。

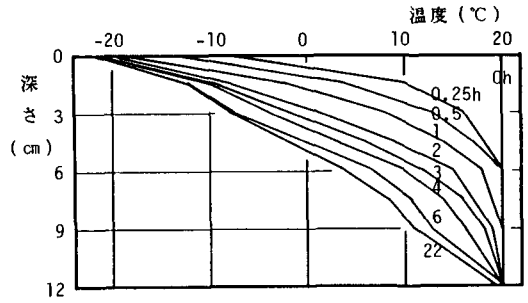


図-3 各時間における供試体深さ方向温度分布（No. 1）

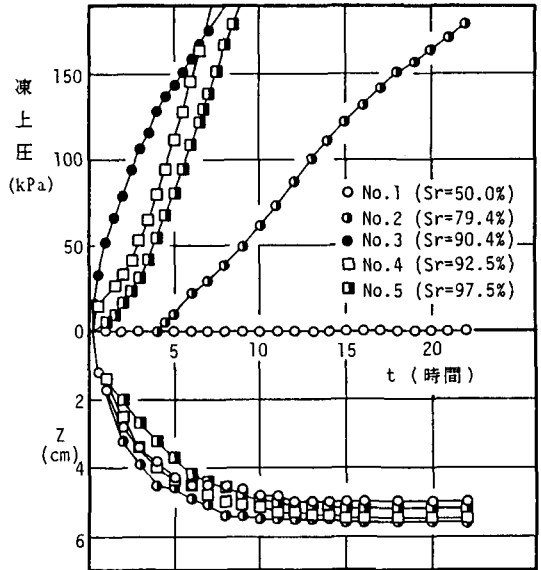


図-4 経過時間 t と凍上圧、凍結深さ Z

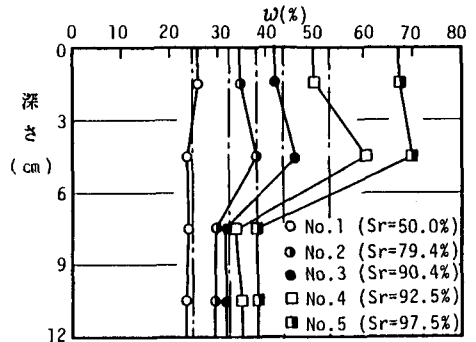


図-5 凍結後における供試体内の含水比分布（ $t = 22$ 時間）