

■-83 液体窒素による地盤凍結実験

株式会社藤田組技術研究所 正員 鎌田正孝

合

上 吉野耕一

主たる、本報告は地下掘削の補助手段、軟弱地盤の一時的処理、湧水、漏水などの防止を目的として、液体窒素注入による凍結工法の実験についてこのべるものである。今回は初期(昭和38年3月~6月、昭和38年12月)の実験についてこの報告とし、その後の実験は後日報告せしめたいとつもりである。建設工事に對する地盤凍結工法は、我が国にも2~3の実施をみているが、これは必ずしも冷媒循環による工法である。液体窒素利用による凍結工法については、まだその例がなかりで、今後の研究開発のための一資料を得るための実験を行なった。

実験として、(1)法、(2)法、(3)法は実験時の注入方法と液体窒素の容量を示したものであり、(4)法は実験時の詳細である。また(5)法は液体窒素の物理的性質を簡単にあらわしたものである。(1)法、(2)法の凍結管(注入管と同じ)は、鋼製の $\phi 10 \times L 100$ (地中深度)先端開放のもので、実験の種々により、途中にストレーナーを設けた凍結管もある。(後の実験結果では、注入管はSC-1、これも充分であった)。次に液体窒素の容量は $L 10 \times 3000$ Aを使用し、その容量は 100 l 、重量は 80 kg である。また温度計は $0 \sim 100^\circ \text{C}$ 、 $0 \sim 150^\circ \text{C}$ 測定可能なペンタン温度計を使用した。(後の温度測定に熱電対、抵抗温度計を用い、)。

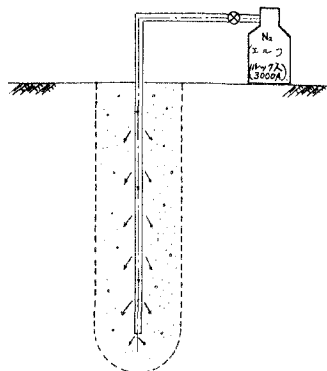


図-1 液体窒素注入概略断面図

実験に用いた試料の物理的性質および試料の熱的性質は次の通り。

(1) 物理的性質：粒度分析の結果によると細砂であり、含水比17%、孔隙比0.52、比重2.74、単位体積重量 2.15 t/m^3 、乾燥密度 1.6 t/m^3 、孔隙率34.2%、容積含水率0.342、である。

(2) 熱的性質：土の凍結前の密度 2.1 t/m^3 、土の凍結前の比熱 $0.344 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C}$ 、凍結後の比熱 $0.26 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C}$ 、凍結前の熱伝導率 $1.311 \text{ kcal/m}^\circ \text{C}$ 、凍結後の熱伝導率 $2.29 \text{ kcal/m}^\circ \text{C}$ 、土の凍結前の温度伝達率 $1.77 \text{ m}^2/\text{h}$ 、凍結後の温度伝達率 $4.19 \text{ m}^2/\text{h}$ 、である。

実験方法は(2)法の鉄製の型枠に水と砂を投入し、試料を作成する。次に試料の中心部に凍結管を設置すると同時に各温度計を(2)法のように配置する(各実験ごとに別々)、窒素注入前に各温度計を測定し、実験前の地中温度とした。凍結管頂部とエルフを連結し、注入を開始する。まずエルフの上部充満分を除々に開放し、凍結管の先端部より液体窒素を流出する。そのときの注入圧力は $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 、流量は 1 l/min 、平均とし、地中の温度変化に対しては5分間隔に記録

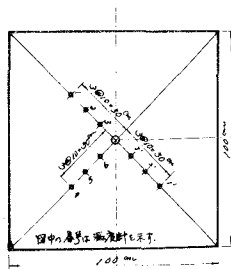


図-2 注入時の平面断面概略図

した。

結果と考察。 図-4、5は、それぞれ、実験の結果を示すものである。 図-4は凍結土、図-5は凍結時の温度変化を示すものである。 凍結土：凍結土の確認は液体窒素注入後、約26時間とのまゝの状態に放置し、地中の温度差がなくなったときに、型枠内の凍結土を排除して行なった。 注入管先端部より流出した液体窒素は、瞬時的に周囲の土と接触すると同時に、たちまち熱交換される。このとき、窒素の物理的性質により、液体より気体に変化し、常温のガスとなって土中の空隙を通過して地上面に放出されることとなる。このようにして、液体窒素を連続的に注入すると周囲の土は急激に凍結硬化する。 温度分布：図-5はそのときの温度変化を示す図である。 10R、20R、30Rは凍結管（φ100mm）からの水平距離を示す。

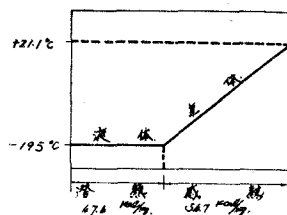


図-3. 液体窒素の物理的性質。

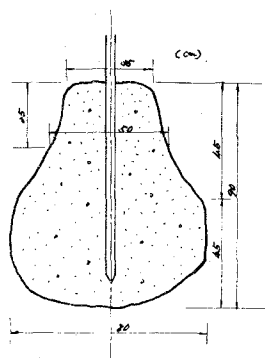


図-4. 凍結土。

液体窒素の注入量に比例して温度の急激な降下がみられ、注入終了までの100～125分間は、温度変化が著しい。30Rで約 -70°C を示し、注入停止と同時に各点の温度は上昇する。その後の温度変化は、約26時間で、10R、20R、30Rとも大体同じである。図-5の左側の曲線は、凍結後の各水平距離に対する同一時間の温度分布を示すものであり、時間の経過とともに温度の上昇の状態を知る：ことができ、全体の温度が同一になった後に融解することを見る。また右側のグラフは、注入終了後の温度変化を示すものであって、注入後約26時間位、凍結が進行、その後は凍結土の温度が均一になる傾向を示す。

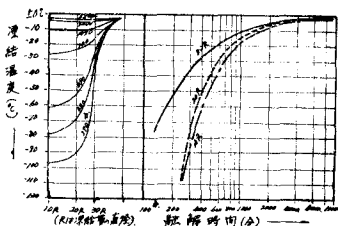


図-5. 凍結時の温度変化。

以上これらの実験より、本工法の利点および実用化のために要約すると、①凍結可能な土質は、シルト、粘土および砂質土などいずれでもよい。②流水中（φ100mm）でも凍結可能である。

③液体窒素の表面伝熱係数は $25 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ であるので冷媒循環工法より凍結速度が非常に早い。

④凍結管と注入管を同一管とし、何回も同一管を利用して注入が可能である。⑤凍結量、凍結速度は注入管の直径には関係なく、液体窒素の注入量に比例し、同時に液体窒素の必要量は土中の含水量に比例する。⑥設備が非常に少なくして施工できる。ことなどがわかった。

また本工法の経済性を考えた場合、その大部分は、液体窒素の消費量を最小限にしなければならぬ。本工法には必ずしもある問題が残っており、科学的種々の検証と関係したものである。この前途多難の感がある。今後この種の問題の解明に国連分野の方々が積極的に取り組んでくれることを切望し、また、最後に、実験に当たって、種々御検討して下さった東大最上先生に、同時に液体窒素について色々教えて下さった日本酸素(株)の方々に厚く御礼申しあげます。（なお本工法は特許申請中である。）

参考文献 鎌田正彦：液体窒素による地盤凍結実験[I]、土と基礎 Vol. 12, No. 10 (1964)。

鎌田正彦：液体窒素による地盤凍結実験[II]、土と基礎 Vol. 12, No. 11 (1964)。