

株式会社藤田組技術研究所 正員 鎌田正考

全 上 ○樫村 博

まえがき 本報告は液体窒素を用いて地盤を凍結硬化せしめ、地下掘削の補助手段、軟弱地盤の一時的処理、漏水の防止などを目的とした実験結果である。今回はとくに、凍結土とコンクリートの附着面における力学的特性、すなわち温度とせん断強さ、引張強さ、圧縮強さの関係および補足的なものとして、液体窒素注入量と冷却時間、温度と凍上などの関係についてその一部を報告させていただきます。

実験とその方法 図-1、2はせん断、引張、圧縮試験の供試体を示したものであり、図-3は応用実験の詳細である。凍結管は銅製の $\phi=10$ %先端開放のものを用い、液体窒素容器はCE-800(容量800 ℓ 、重量640 kg)を使用した。温度測定は銅-コンスタンタン熱電対を用い6点式自動平衡温度記録計で読んだ。試料は砂質土($G_s=27\%$)を用い、せん断、引張、圧縮試験用の含水比 w はそれぞれ33%、28%、30%、応用実験用は含水比 w 35%である。供試体の作製方法は、図-1、2のようなコンクリート版上の木枠内に、凍結管(図2は冷却を早めるため8の字型に巻く)、熱電対(図2は凍結管の形状より、コンクリートと試料の境界面で温度の高いところと低いところに設置)をそれぞれ設置し、試料土と水を投入した。凍結管をCE-800に接続し、液体窒素の注入をはじめると同時に温度を測定しながら(図2の場合は、試料があるていど冷却したのち上部のコンクリート版をのせた)、所定の温度になるまで冷却したものである。

実験方法 せん断試験は、50 t 油圧ジャッキを用い、垂直応力 $\sigma_v=0$ として油圧ポンプで調整しながら凍結管軸方向に毎秒0.05%の荷重速度で凍結土を押した。引張試験は、50 t アムスラー試験機により毎秒0.6%の荷重速度でコンクリート版に挿入した鉄筋を引張った。圧縮試験は、200 t 圧縮試験機を使用し、毎秒0.5%の荷重速度で圧縮した。なお、試験するまでの操作中に供試体の温度が上昇すると考え、試験時にも温度を測定した。また、応用実験は、図-3に示すように内側をうすくコンクリートで巻いた鉄製型枠(円型)内に、100%厚のコンクリート円版を固定しておき、凍結管(環状)、熱電対を図-3のX印の位置に設置する。つぎに試料土と水を投入し、表面は断熱用として50%厚のモルタルで覆った。凍結管へ液体窒素を注入すると同時に各点の温度、液体窒素消費量(CE-800に取り付けて

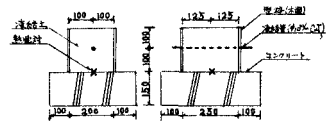


図-1 せん断試験用供試体

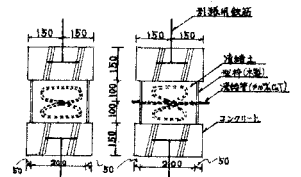


図-2 引張・圧縮試験用供試体

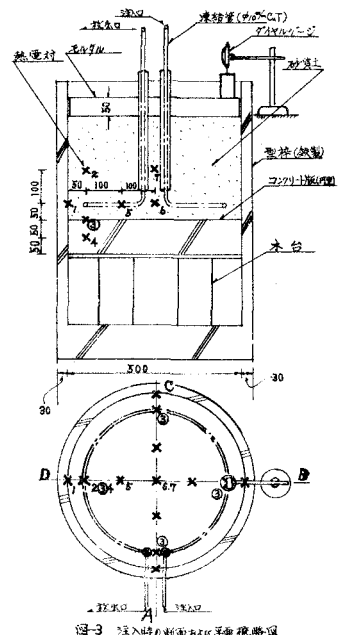


図-3 注入時の断面をみる実験装置

ある液面計)、凍上量(図-3に示したダイヤルゲージ)をコンクリートと試料土の境界温度が -15°C 以下になるまで30分間隔で測定した。

結果とその考察 図4・5・6および表1・2は実験の結果を示したものである。図4は温度とセン断強さの関係であり、 -5°C で4%, -50°C ではその倍の約8%のセン断強さを示し、温度降下に比例して強さの増加がみられた。表1・2はそれぞれ引張、圧縮強さと温度の関係をまとめたものである。いずれも温度と強さの相関関係はわがなかったが、 -35°C ~ -45°C で平均43%の引張強さを得、また圧縮強さは -19°C ~ -26°C で平均96%の値を得た。図5は温度と冷却時間、図6は温度、凍上量と冷却時間の関係を液体窒素の注入量を変えて比較したものである。図5の温度は図-3に示したX₀の位置のものであり、また図6の温度は図-3に示したB断面X₂の位置

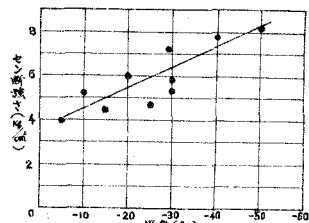


図-4 温度とセン断強さ

供試体 NO	引張強さ (kg/cm ²)	凍結温度 (°C)
1	4.13	0.5
2	4.75	-37
3	4.25	-45
平均	4.34	0.5

表-1 引張試験結果

供試体 NO	圧縮強さ (kg/cm ²)	凍結温度 (°C)
1	155.0	111.3
2	108.8	72.9
3	147.3	104.9
平均	137.0	96.3

表-2 圧縮試験結果

凍上量はその位置の表面で測定したものである。1回目の液体窒素注入量は364%, 2回目は116%であった。図5より、注入開始前の温度は1回目・2回目の実験ともほとんど差がみられなかったにもかかわらず、冷却時間に大きな差がみられ2回目は約1/4ほど短縮された。また図6の温度降下割合をみると1回目は57%, 2回目は75%であるのに対し、凍上量の増加割合はそれぞれ0.53%, 0.48%でありあまり差はみられなかった。

以上これらの実験より、①凍結土の附着力は、温度により影響され、 -5°C 以下の温度ではかなりの附着力を有する

②凍結土の圧縮強さは、 -19°C ~ -26°C の温度で約100%に近い。

③同一の大きさの凍結土をつくる場合、時間当りの液体窒素量を多く流せば、冷却時間はかなり短縮出来る。

④冷却温度を一定にした場合、急速に冷却すれば冷却時間が短いため、緩慢冷却にくらべ凍上量が少ない。ことがわかった。

しかし、まだ実験、研究の結果に対するこの種の資料がほとんどないため、理論上、施工上にも多くの問題点を残している。最後に、実験に当り、種々御協力して下さいました日本酸素(株)開発部の方々に厚く御礼申し上げます。

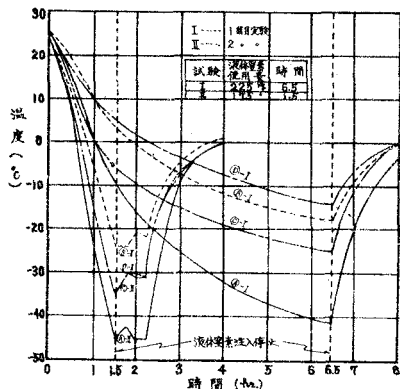


図-5 ⑤の位置の温度と時間

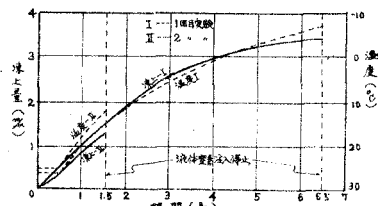


図-6 凍上量、温度と時間 (D断面のX₂の位置)

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

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

鎌田正孝: 吉野耕一: 液体窒素による地盤凍結実験と施工例

土と基礎 Vol.13 No.11 (1965)