

III-B 366 凍結・融解三軸試験装置による粘性土の非排水せん断試験

北海学園大学工学部 正会員 小 野 丘
北海道大学工学部 正会員 三田地 利之

1. まえがき 凍結・融解作用を受けた土のせん断特性に関するこれまでの研究では、ほとんどの場合モールドの中で凍結・融解履歴を与えた後に、そのままあるいは取り出して成形した供試体でせん断試験を実施している^{1) 2)}。しかし、現実により近い応力条件や排水条件に必要なデータを得て、工学的に有用な設計定数を求めるためには、少なくとも軸対称三軸試験を実施すべきである。そこで今回、凍結・融解・せん断の全過程で軸対称三軸応力条件を実現できる凍結融解三軸試験装置を製作した。この試験機によれば任意の応力条件や温度条件、排水条件の下で凍結・融解・せん断試験データが得られると期待できる。

2. 凍結・融解三軸試験 今回製作した凍結・融解三軸試験装置³⁾は、基本的には通常の軸対称三軸試験装置のキャップとペDESTALの部分の温度を任意に制御するためにそれぞれ独立に外部から冷媒を循環できるようにしたものである。また、セル内に入れたロードセルの値をモニターして軸力を逐次制御することができるので、供試体（ $\phi 50\text{mm}$ 、 $H120\text{mm}$ ）の動きに追従して軸応力を一定に保つことができる特徴をもつ。特に凍上中は凍上を妨げる余計な反力を供試体が受けないように、供試体の変位に素早く対応して軸力を制御できるように工夫した。今回行った実験は、等方圧密後、ペDESTAL側を約 $+0.5^\circ\text{C}$ に維持し、キャップ側を 0°C から徐々に降下させ

-10°C を目標とし供試体を上部から凍結させ、下部から吸水させる方法で行った。最低温度を5時間保持した後に、2時間で $+2^\circ\text{C}$ までキャップ側の温度を上げ融解による沈下・排水が終了後、直ちに非排水せん断を行った。図1に圧密からせん断までの結果の一例を示す。なお、載荷装置と三軸セル全体は $+2^\circ\text{C}$ の恒温室内に置いた。

3. 実験試料 実験に用いた供試体は市販の粉末粘土に加水して静的に締固めたもので、 $LL=73\%$ 、 $PI=43$ 、 $\rho_s=2.50\text{ g/cm}^3$ 、 $5\mu\text{m}$ 以下は20%である。なお、締固め時の静的荷重が大きいので、今回の試験の応力範囲では全て過圧密状態であると考えられる。

4. 拘束圧依存性 圧密終了時の供試体高さを基準にして、そこからの凍結凍上量との比を凍上率、融解沈下量との比を融解沈下率と定義して、試験中の有効拘束圧力とそれぞれの値を示したのが図2である。凍上率は拘束圧力が増加すると小さくなっており、山本らの結果⁴⁾と同様であると考えられる。しかし、融解沈下率は拘束圧の影響をあまり受けず、融解終了時はほぼ圧密終了時の高さまで戻ることが分る。

5. 非排水強度 異なる拘束圧力の下で凍結・融解履歴

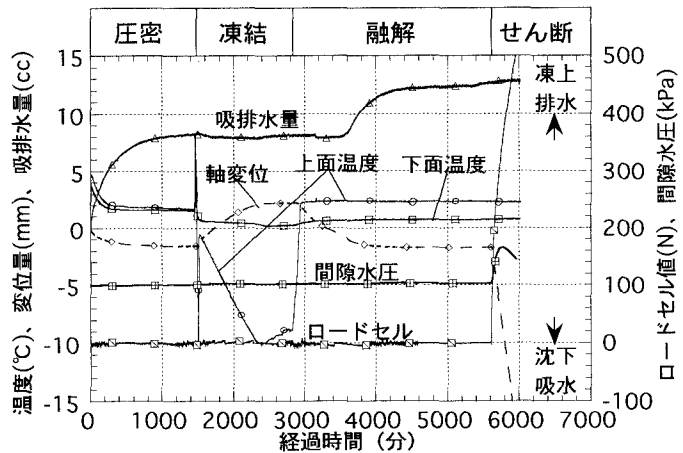


図1 凍結・融解三軸試験結果 (200kPa)

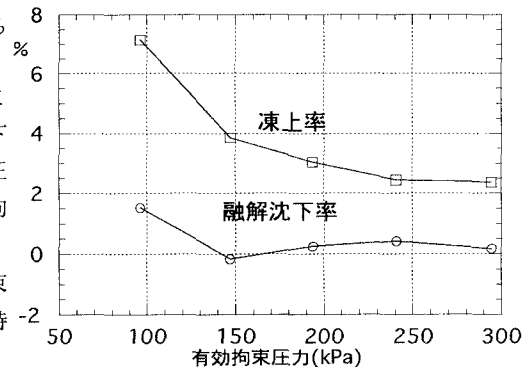


図2 凍上率、融解沈下率の拘束圧力依存性

歴を与えた後に実施した非排水せん断試験結果を未凍結土と比較したのが図3である。有効拘束圧力が200、300kPaでは凍結・融解土の方が約20%強度が大きい。この理由として、緒方らは⁵⁾凍結・融解作用により間隙比が減少する（密度が大きくなる）ことを挙げており、Chuvilin et.al.は⁶⁾構造骨格が収縮することを観察している。圧密終了時からの間隙比の減少は4%程度であり、湿潤密度の増加でも1%以下であるので、密度増だけがその原因ではないものと考えられる。

6. 発生間隙水圧 図4は、非排水せん断中の発生間隙水圧を比較した図である。間隙水圧の発生は凍結・融解土の方が少なく、最大値で比べると30%から45%小さい値を示した。これは、凍結・融解作用によって土の構造が変化し、ダイレイタンスー特性が変わることを示している。この構造変化の様子をYao et.al.は⁷⁾間隙にできた氷晶で破壊された粒子結合が融解後にも元に戻らないで不安定になる、と説明している。

7. 有効応力経路 図5は平均有効主応力とった非排水せん断の有効応力経路である。間隙水圧発生特性の違いが経路に現れているが、破壊包絡線は一本となるようである。

8. まとめ ①従来、凍結・融解過程とせん断過程はオフラインで実施されることがほとんどであったが、今回作製した装置で軸対称三軸のもとで連続して実施できるようになった。また、本装置は凍上・融解による供試体の変位を自由に許しながら応力条件を任意に制御できる特徴をもっている。②締固めた過圧密粘性土について、凍結・融解非排水せん断試験を実施し未凍結土と比較した結果、従来と定性的に一致する結果を得たが、試験時の応力条件が既往の研究と異なるため、今後その点も明らかにしたい。＜参考文献＞1) B.B.Broms et.al. : Shear strength of ~, ASCE, Vol.90, No. SM4, pp.1-25, 1964
 2) R.W.Cully : Effect of freeze-thaw cycling on ~, Canadian Geotech. Jour., vol.8, no.3, pp.359-371, 1971
 3) 小野・三田地：凍結・融解作用を受けた～、第31回地盤工学研究発表会（北見）、1996
 4) 山本英夫ら：飽和土の三軸凍結膨張に関する～、雪氷56巻4号、325-333頁、1994
 5) 緒方信英ら：地盤の凍結・凍上特性～、電力中央研究所 研究報告385054、1986

6) Chuvilin et.al. : Frozen soil micro- and ~, Proc. of the 5th Int. conf. on Permafrost, vol.1, pp.320-328, 1988
 7) R.N.Yong et.al. : Alternation of soil behaviour ~, Proc. of the 4th Int. Symp. on Ground Freezing, pp.187-195, 1985

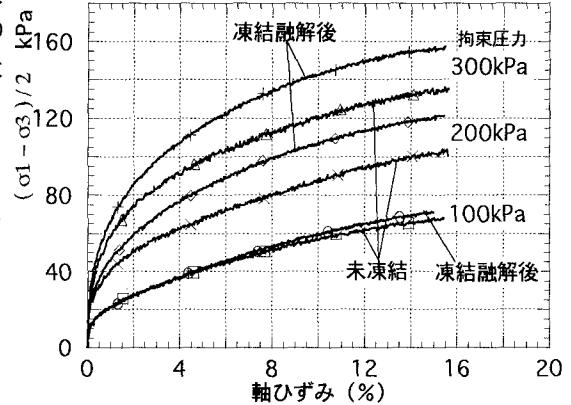


図3 凍結融解土と未凍結土の応力-ひずみ

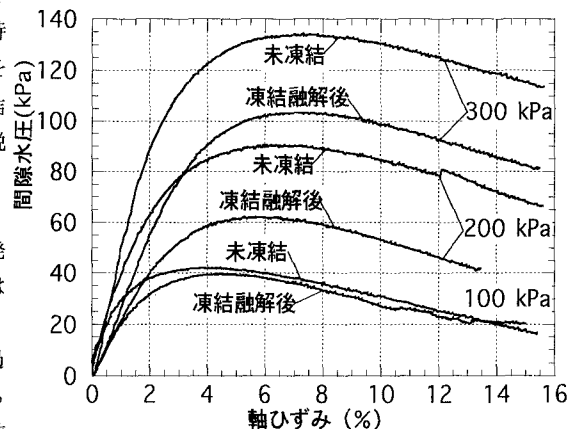


図4 非排水せん断中の発生間隙水圧

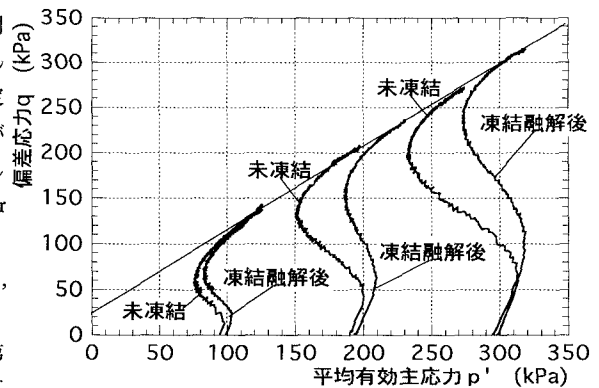


図5 有効応力経路