## 微小変形特性に基づく凍結採取試料の乱れの評価

東京大学生産技術研究所 正会員 O清田 隆, 古関 潤一, 佐藤 剛司

**目的**: 細粒分含有率や有効上載圧の影響を配慮して採取された原位置凍結試料は、年代効果や土粒子構造を保持した品 質の良い試料と位置づけられている。しかし、採取後の試料の扱い方によっては室内試験結果がその影響を受ける可能性 がある。本研究では、細粒分の少ない凍結採取試料の微小変形特性に及ぼす融解拘束圧の影響を検討した。また、再構成 試料を用いて凍結時の供試体体積変化を計測した。

試料と実験方法: 完新統(以下、沖積層: $D_{50}$ = 0.188 mm, FC= 1.2%,  $U_c$ = 2.0)と更新統(以下、洪積層: $D_{50}$ = 0.189 mm, FC= 2.9%,  $U_c$ = 2.1)より採取された凍結試料(高さ 10 cm、直径 5cm)を用いた。実験は三軸試験機を用いた。凍結供試体の整形、メンブレン装着から試験機へのセット、初期サイズ計測、および拘束圧の載荷までの作業は、すべて-20℃に保たれた冷凍室内において実施し、その後、常温下(25℃程度)において融解を実施した。融解拘束圧は、30 kPa および

98 kPa(いずれも背圧に負圧を載荷)とした。融解中の供試体鉛直・側方ひずみの 計測は、図1に示すようにギャップセンサーを用いて実施した。なお。三軸セルを 冷凍室から搬出し、ひずみ計測を開始するまでの所要時間は約10~20分である。 融解後、融解拘束圧を保持した状態で飽和を行い、原位置有効上載圧まで等方圧密 しながら微小変形特性の計測を実施した。静的微小変形特性(静的鉛直ヤング率  $E_s$ )は、LDT(図1)によるひずみ両振幅 $\epsilon_{qDA}$ =0.002%の排水微小繰返し載荷によ る応力ーひずみ関係の勾配より求めた。また、動的微小変形特性としては、キャッ プ部をねじる方向に設置されたアクチュエーターによる起振波(S 波)を、供試体 側面に設置された上下二つの加速度計(図1)により受信し、それらの波形の立ち 上がり点の時間差と区間距離より S 波速度  $V_s$ を求めて、供試体密度 $\rho$ を用い動的せ ん断剛性率  $G_d$ を得た( $G_d = \rho V_s^2$ )。供試体端面の摩擦や乱れの影響を受けないよう に、静的・動的ともに、供試体の中央部の局所的なひずみを計測した。また、沖積



図1 計測機器概要

層の再構成試料の凍結時ひずみも計測している。凍結方法としては、温度を零度程度に保ったデシケーター内に三軸セル を入れ、銅製ペデスタル内部に-20℃の不凍液を循環させて実施した。凍結ひずみの計測方法は、融解時と同じである。 **凍結試料融解結果**: 凍結試料融解時の結果の代表例として、図2に沖積層の拘束圧 98 kPa における融解時軸ひずみと

(側方ひずみ、および供試体表面温度の時刻歴を示す。供試体は時間と共に収縮するが、融解を開始してから約6時間程度 で各ひずみは収束する傾向がある。また、融解開始直後<u>僅かな時間で融解ひずみの大部分が生じており</u>、融解開始から 30分から1時間後に、ひずみの<u>ピーク</u>が確認された。融解時にひずみのピークが生じる原因としては、温度の変化に伴 う間隙水の密度の変化が考えられる。水は、摂氏0℃付近では温度が低下すると密度も低下(体積膨張)し、温度が上昇 すると密度も上昇(体積収縮)するが、更に温度が上昇するとその密度は再度低下する。この温度変化に伴う水の密度の 変相点は約4℃であるが、融解ひずみのピークと供試体表面温度が4℃となるタイミングは概ね一致している。図3に各 試料の最終的な融解体積ひずみと融解拘束圧の関係を示すが、融解体積ひずみは融解拘束圧が高い方が大きくなっており、 その差は沖積層、洪積層共に1%程度である。しかし、融解後の所定の応力までの等方圧密により、融解拘束圧の違いに よる体積ひずみの差は縮まっている(図中の囲い)。なお、98kPaにて融解された沖積層については、100kPaまでの等方 圧密時の体積ひずみは計測されていない。また、再構成試料の凍結時(図4)においても、供試体温度が4℃の時に体積 収縮ひずみのピークが僅かに認められ、その後温度の低下に伴い膨張する傾向が認められた。

微小変形特性結果: 等方圧密過程において計測した各凍結試料の微小変形特性(間隙比関数<sup>1)</sup>で正規化)を図 5,6 に示 す。ここで、 $E_s$ は鉛直有効応力 $\sigma_r$ 、 $G_d$ は $(\sigma_r, \sigma_h)^{05}$ との関係を示す。いずれの試料とも、応力の増加とともに $E_s$ , $G_d$ の値は 増加している。沖積層の最終圧密応力時における、融解拘束圧 98 kPa と 30 kPa の試料の微小変形特性の平均値の差は、  $E_s$ では約 7 %、 $G_d$ では約 14 %、<u>後者の方が低い値</u>となっている。一方、洪積層については、 $E_s$ では約 10 %、 $G_d$ では約 4%、融解拘束圧 30 kPa の試料の方が高くなっているが、極端に低い値を示す試料の結果を除けば、 $G_d$ の値は融解拘束圧

キーワード:凍結試料、凍結融解試験、微小変形特性、S波速度、年代効果

連絡先:〒153-8505 東京都目黒区 4-6-1 東京大学生産技術研究所 (TEL)03-5452-6421 kiyota@iis.u-tokyo.ac.jp



98 kPaの試料の方が5%程度大きくなる。また、Gaについては PS 検層の結果も示しており、その値は、洪積層では全体 のばらつきの範疇に分布するが、沖積層では融解拘束圧 98 kPaの結果と概ね一致する。図3に示したように、低い拘束 圧で融解された試料の残留体積ひずみは、圧密により高融解拘束圧試料と同等の値になったが、微小変形特性は低下する 傾向を呈し、特に沖積層の Gaの低下は顕著である。原位置 PS 検層結果と室内試験における微小変形特性の差が供試体の 乱れを反映するものと仮定すると、融解拘束圧が低下したことで沖積層では乱れが生じたことになる。一方、洪積層では 明確な差は生じていない。原位置凍結時の拘束圧より低い拘束圧で融解させることは、微視的には土粒子周りの氷が解け た瞬間に、応力開放が土粒子構造に急激に作用し、セメンテーション効果を持たない沖積層では土粒子構造に乱れが生じ、 微小変形特性(特にG<sub>d</sub>)が低下した可能性が考えられる。

まとめ: ①凍結試料採取を目的と した地盤凍結時には、地盤内温度が 4℃から 0℃の間隙水膨張領域とな る間では、特に慎重に凍結速度を制 御する必要がある。

②地盤凍結時の体積膨張により試 料が乱れることは知られているが<sup>2)</sup>、 年代効果が薄いと考えられる沖積 層試料では、融解拘束圧の低下によ って微小変形特性が低下すること が確認された。従って、試料採取時 から拘束圧を与えるまでは、供試体 周辺温度に常に配慮すべきであり、 数分でも常温下に曝すことは避け た方が良い。



③凍結試料(特に沖積層)の融解時 の拘束圧は、原位置凍結時の応力状

《謝辞》本研究に用いた試料は、独立行政法人土木研究所よりご提供頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

《参考文献》1) Hardin, B.O. and Richart, F.E. (1963): Elastic wave velocities granular soils, Journal of ASCE, 89(1), 33-65. 2) Goto, S. (1993): Influence of freeze and thaw cycle on liquefaction resistance of sandy soils, S&F, 33(4), 148-158.