

東北大学 学生員 ○ 姚 義 久
同 正 員 柳 沢 栄 司

1. まえがき

凍結に伴う土圧の増加や、凍上圧によるタンクの変位など、土の凍結の問題が急速に注目を浴びて来ているが、北海道や東北地方のような寒いわゆる季節凍土地帯では、従来から自然凍結による凍上や凍害が起こっており、道路や建物また地下導管などの建設にあたっては、凍上対策が行なわれている。凍害の一部には土が凍結-融解作用をくり返して受けて軟弱化するため、支持力が低下し、道路の舗装、路肩、路盤などに生ずる例がある。従来凍結-融解を受けた土の軟弱化現象に関しては多くの研究例がなされてきたが^①、凍結-融解を受けた土の力学的性質^②について、十分な検討は行なわれていないのが現状である。そこで、本研究は凍結-融解による粘性土の強度特性と圧密特性について、closed-systemで三軸試験(CU)と圧密試験を行ない、凍結-融解のサイクル数を変えた供試体についてその力学的性質の変化を検討したので、その結果について報告する。

2. 実験概要

実験に用いた試料は青森山口ロームを採取したもので、乾燥した後に篩過し、20 mm フリイを通過したものである。飽和した供試体を作るために、煮沸してから、試料を直径15 cm、高さ30 cmの圧密装置で、先行圧密圧力2.05 kgf/cm²で約2週間圧密した。この時の試料の物理的性質は表-1に示す通りであり、日本統一土質分類ではCLとなる。この試料は砂分46%, シルト分11%, 粘土分43%, 含水比33.5%であり、割合にシルト分の少ない、含水比の低い低塑性の粘性土であることなどから、凍上や凍結-融解の影響を比較的受けにくい土質である。この試料を田菱方に切り出し、所望のサイクル数の凍結-融解を与えた後、直径5 cm、高さ12.5 cmの内筒供試体を作成し、圧密非排水状態で試験を行なったと共に圧密試験をも行なった。なお比較のために凍結-融解を受けない供試体についても同様の試験を行なった。

表-1 試料の土性値

G_s	w_L (%)	I_p	σ_{10} (mm)	σ_{30} (mm)	σ_{60} (mm)
2.71	48.8	22.6	0.0002	0.0018	0.14
w (%)	γ_t (g/cm ³)	e		t_c (cm/sec)	
33.4~32.6	1.81~1.88	0.92~0.95		2.07×10^{-5}	

凍結-融解を与える方法は、試料を外部からの水分の供給がないようにして、-18℃で24時間凍結し、その後20℃に保った恒温恒湿槽で24時間融解する。この行程を1サイクルとした。

3. 実験結果及び考察

3-1 凍結-融解を受けた土の強度特性

凍結-融解を受けた供試体と受けない供試体のCU試験における $\sigma_3 = 1.0$ kgf/cm²の時の軸差応力と軸ひずみの関係を示すと、図-1のようになる。凍結供試体はピーク値不明瞭な脆性的な破壊を示すのに対して、凍結-融解を受けた供試体はピーク値を持った脆性的な破壊を示すことが分かる。ピーク強度とその時のひずみの関係を求めてみると、ピーク値に至るひずみ量は1サイクルより3サイクルの方が小さいことが分かる。従って供試体が凍結-融解を受けると、軸差応力の最大値は、凍結-融解の回

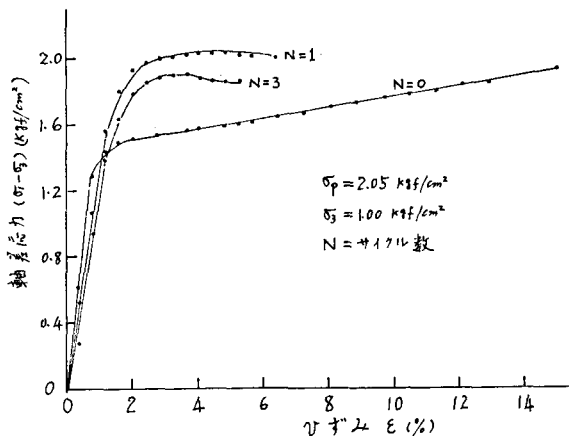


図-1 軸差応力とひずみの関係

数に依存して低下する。これは氷晶が成長する時に、土粒子配列の歪化、土壌固結化などを引き起こし、一部の空隙を押し広げる作用を有する。このため凍結-融解土の強さは低下し、融解させても元の状態に回復できず、全体として脚縮状態のまま次の凍結-融解サイクルに入るため、また同じ作用がくり返されて、土の強さは累加的に低下していくものと考えられる。従って前述のような凍上や凍結-融解の影響を比較的程度に低い土質であっても、低拘束圧の場合には凍結-融解作用による強度低下が顕著ではないが見られる。closed-systemの凍結では、水の出入がないために、水の凍結による土粒子構造への作用が小さいので強度の変化は比較的小さい。凍結-融解を受けた供試体と受けない供試体のCU試験における応力経路を示すと、図-2のようになる。全応力と有効応力両表示とも、凍結-融解作用による粘着力はサイクル数においてあまり変化しない。しかし内部摩擦角はサイクル数を増加するに従ってやや小さくなる。これは前述した原因のほか、シルトの含有量が少ないと考えられる。

3-2 凍結-融解を受けた土の圧縮特性

凍結-融解作用を受けた土の土粒子構造の変化を明白にするために、凍結-融解後に圧縮試験を行った。図-3に示すように凍結-融解後の土のe-log p曲線については、圧縮係数 C_c がサイクル数を増加するに従って大きくなり、圧縮臨界応力 P_c の低下も生じる。なおCU試験における $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 時の間隙圧係数 A_v を求め、 A_v と圧縮圧力 p の間は図-4のようになる。 σ_3 の上昇と共に A_v は増加しており、その値は特に $\sigma_3 = 0.5, 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合1サイクルより3サイクルの方が大きくなっている。これは凍結-融解作用により圧縮臨界応力が低下し、過圧縮状態から正規圧縮状態に移行していくと考えられる。

4. あとがき

以上のことをまとめると、(1)応力-ひずみ関係より凍結土はピーク値不明瞭な延性の破壊を示すが、凍結-融解土は脆性的な破壊を示す。軸圧力はサイクル数に依存して低下する。(2)全応力と有効応力とも粘着力はサイクル数によってあまり変化しないが内部摩擦角は小さくなる。(3)凍結-融解作用により過圧縮状態から正規圧縮状態に移行して行く。なお本研究をするに当たり、中央研究仙台支店長大野啓旦氏には研究面で色々お世話になったことを記し謝意を表します。

参考文献：①青山、小川、福田“凍結-融解を受けた土の力学的特性”土木学会第44回年次学術講演会梗概集

②福田、小川“凍上の発生機構と凍結-融解後の土の性質”第17回土質工学研究委員会

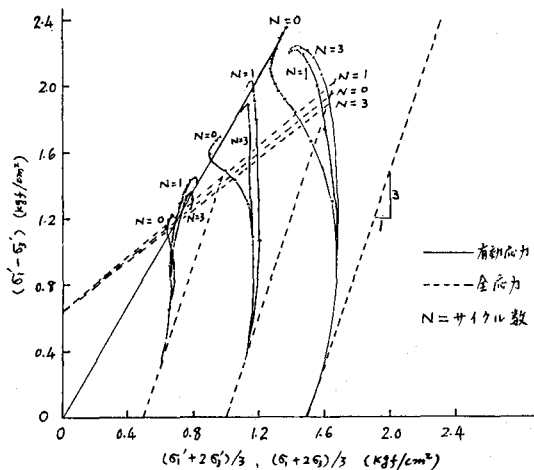


図-2 CU試験応力経路

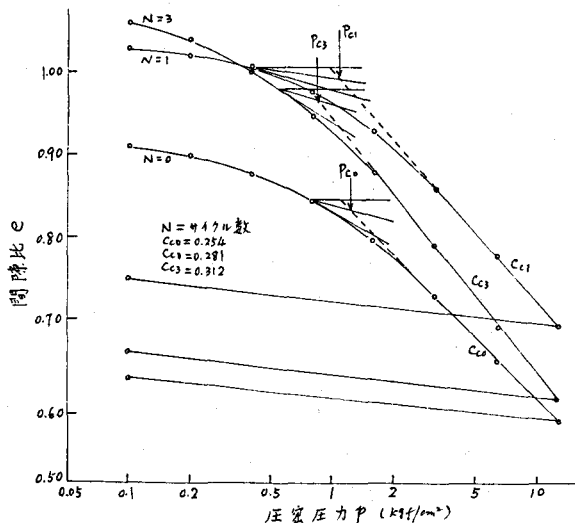


図-3 e-log p 曲線

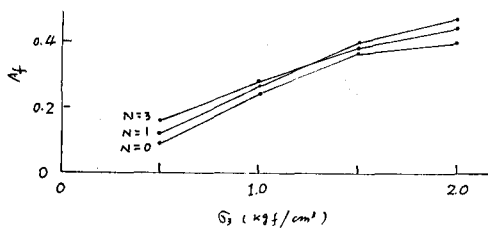


図-4 間隙圧係数 A_v と圧縮圧力 σ_3 の関係