

凍結 - 融解後のせん断強度増加に関する考察

足利工業大学 正会員 西村友良
 建設業労働災害防止協会 唐沢 均
 足利工業大学 学生会員 柿崎佳和 横尾将貴

1 まえがき

本研究では不飽和凍結 - 融解土のせん断強度を検討するため、サクシオンを応力変数として取り扱い、凍結 - 融解三軸圧縮試験を行い、サクシオンとせん断強度の関係を明らかにしている。得られた実験結果から土中のサクシオンの大きさにかかわらず、凍結前に比べて融解後にせん断抵抗力が増大する性状が見られ、水分保持特性ならびに凍結時の体積収縮を考慮して、強度増加の原因について考察している。

2 試料と実験方法

本研究に用いた試料はシルト質土であり、試料の物理的性質は土粒子密度 2.65g/cm^3 、最大粒径 4.75mm 、砂分 76.6% 、シルト分 12.1% 、粘土分 11.3% であり $w_L = 75.0\%$ 、 $w_P = 52.9\%$ であった。試料(矢板土)を最適含水比(50%)に調整した後、静的に締固めた供試体を蒸気圧法によって高サクシオンを与えた。使用した塩は、硝酸カリウムと硝酸マグネシウムである。それぞれの塩は密閉されたガラスデシケータ内で蒸気圧を制御し、土中に 6940kPa と 83400kPa のサクシオンを与えた。このように高サクシオンを受けた供試体は三次元凍結 - 融解三軸圧縮試験機にセットされ、 600kPa の等方圧縮応力を与えられた後、 100kPa の等方圧縮応力まで除荷され、クローズドシステムにおいて凍結 - 融解作用を受けた。温度制御範囲は $+20$ から -15 であった。融解後、排気・排水状態でせん断試験を行った。また比較検討のため、サクシオン制御を行わない供試体と凍結 - 融解作用を与えない供試体についてもせん断試験を実施した。

3 実験結果

図 - 1 に基底応力 100kPa における非凍結土の応力 - ひずみ曲線を示す。高サクシオンを受ける前の供試体は、ひずみ硬化の挙動を示している。次に高サクシオンを受けることで軸ひずみ発生付近での変形係数が増大し、最大軸差応力が明確に増加している。さらに降伏後の軸差応力の低下が見られ、特に、 83400kPa のサクシオンを受けた供試体は、ひずみ軟化挙動を明示しサクシオンの影響であるといえる。一方、凍結 - 融解作用を受けた不飽和土の応力 - ひずみ曲線を図 - 2 に示す。凍結 - 融解作用を受けた場合でも、応力 - ひずみ曲線の形状には、非凍結土の場合に類似してサクシオンの効果が見られ、ひずみ硬化からひずみ軟化現象へ移行している。次に、図 - 1 と図 - 2 を比較し、最大軸差応力に注目すると、同一のサクシオンを有する供試体は、凍結 - 融解作用を与えられたことで、最大軸差応力が低下するのではなく、反対に増大している。実験開始前の仮定では、凍結 - 融解作用が土のせん断抵抗力を減少させると考えていた。強度増加の原因について、土の水分保持特性の変化および凍結時の体積変化の二項目から検討する。図 - 3 (非凍結土) 図 - 4 (凍結 - 融解土) に加圧板法および蒸気圧法によって求めた試料の水分保持曲線を示す。図中の描かれている水分保持曲線は実測点に対して、Fredlund and Xing(1994)によって提案されたモデル式(式(1))を適用している。

$$\theta = \theta_s \left(1 - \frac{\ln\left(1 + \frac{\psi}{\psi_r}\right)}{\ln\left(1 + \frac{10^6}{\psi_r}\right)} \right) \frac{1}{\left(\ln\left(e + \frac{\psi}{a}\right) \right)^m} \quad (1)$$

式(1)中のパラメータ m と n の性質として、 m が小さいと高いサクシオン領域における水分保持曲線の傾きが大きく n が大きいと低サクシオン領域における水分保持曲線の傾きが大きくなる。求められた凍結 - 融解土の水分保持曲線は凍結前に比べて、AEV 値を過ぎた辺りの Transition Stage における曲線の傾きが大きく、急に含水比

キーワード: 不飽和土、凍結 - 融解土、サクシオン/連絡先: 栃木県足利市大前町 268 TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

が低下している。そしてサクシオンが 1000kPa 以上の高サクシオン領域では水分保持曲線の傾きが小さくなっており、非凍結土に対して保水性が失われていることがわかる。このように凍結 - 融解作用によって土の水分保持特性に変化が現れたことは、融解後のせん断強度にも影響すると考えられる。そこで、不飽和土の土粒子間に働く抵抗力にはサクシオンが密接に関係していることから基底応力とサクシオンを応力変数とする破壊規準に水分保持特性を導入した不飽和土のせん断強度式（式(2)）を用いて非凍結土と凍結 - 融解土のサクシオンとせん断強度の関係を図 - 5 に示す。

$$\tau = c' + (u_a - u_w) \Theta^K \tan \phi' + (\sigma - u_a) \tan \phi' \quad (2)$$

土の強度定数 c' および ϕ' は非凍結土のモール・クーロン破壊規準から求めた値を代入した。また図 - 5 中には非凍結土の実測せん断強度もプロットしている。非凍結土に比べて凍結 - 融解土では土のせん断強度は低下している。強度低下の理由は高サクシオン領域における水分保持曲線の傾きが凍結 - 融解作用を受けたことで非凍結土よりも小さくなっており、土粒子間の保水能力の減少が土粒子間の結合力の低下に関連したと考えられる。しかし三軸圧縮試験の結果では図 - 1、2 のように融解後にせん断強度が増加している。さらに凍結時の体積変化を考慮する。凍結時には図 - 6 に示すように間隙比が減少した。この凍結時の間隙比の減少分に相当する外的応力を等方圧縮曲線の延長上にあるものとして推定すると供試体が受けた 600kPa の等方圧縮応力よりも高い等方圧縮応力が作用したと仮定出来る。ここで 83400kPa のサクシオンを有する供試体に、800kPa の等方圧縮応力を載荷した後、基底応力 100kPa でせん断した時の応力 - ひずみ曲線を図 - 7 に示す。2 つの応力 - ひずみ曲線から得られる最大軸差応力はほぼ近い性状を示した。

4 まとめ

融解後の不飽和土のせん断強度増加は土の水分保持特性の変化でなく、凍結時の体積収縮の減少いわゆる間隙比の低下が原因であり、見かけ上の等方圧縮応力の増加として評価される。

謝辞 財団法人前田記念工学振興財団より平成 14 年度研究助成を受けた。

ここに厚く謝意を表します。

参考文献 Fredlund, D.G and Xing, A.: Equations for the soil water characteristic curve, Canadian Geotechnical Journal, Vol.31, No.3, pp.521-532, 1994.

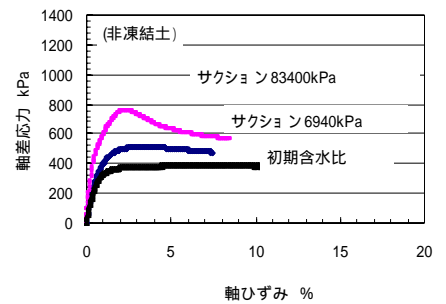


図 - 1 応力 - ひずみ曲線

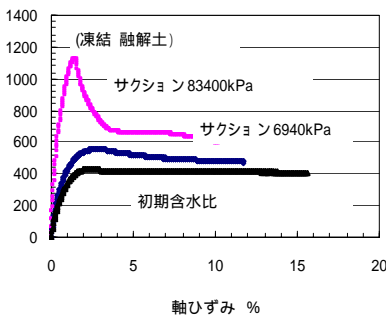


図 - 2 応力 - ひずみ曲線

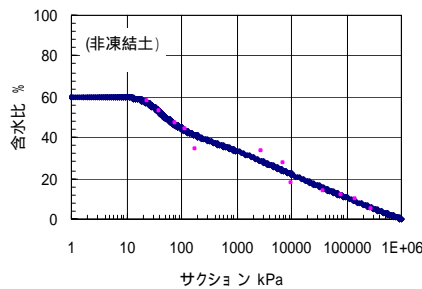


図 - 3 水分保持曲線

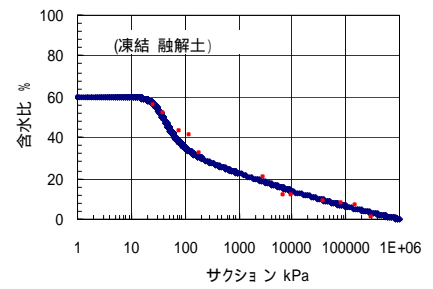


図 - 4 水分保持曲線

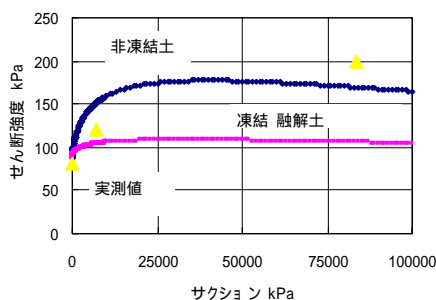


図 - 5 水分保持特性から推測されたせん断強度

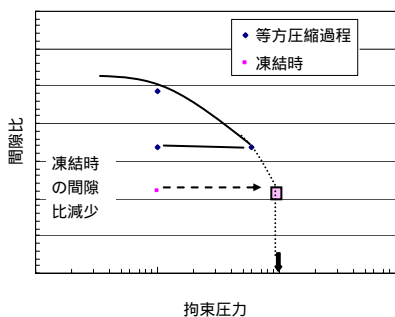


図 - 6 間隙比減少と等方圧縮応力の増加

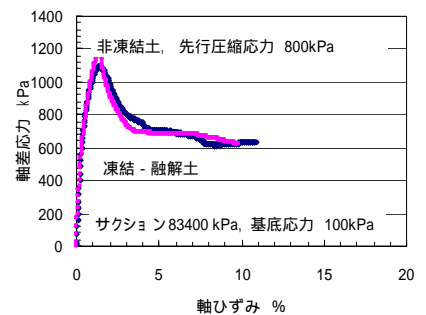


図 - 7 見かけの等方圧縮応力増加の効果