

## サクシオン制御を伴う不飽和土の凍結－融解三軸圧縮試験

足利工業大学 学生員 ○唐沢 均  
足利工業大学 正会員 西村 友良

### 1. はじめに

冬期の低温による土の凍結・凍上は寒冷地における山岳道路・付帯施設などに凍害として被害をもたらしている。凍上による原因解明の一つとして標準的な凍上試験装置などがあるが、試験方法の確立は不可欠である。土の凍上において自然凍上と人工凍上に分野が分別されている。自然凍上の分野とは、地表面近くの自然凍結による土の凍上を取り扱う分野であり、具体的には低拘束圧下の不飽和状態の土を対象とする。しかし、不飽和土中にはサクシオンが存在し、このサクシオンは拘束圧力とともに、不飽和土の変形・強度特性を論じる際に不可欠な応力変数である。よってサクシオン制御を取り入れた土の凍結－融解に関する実験を試みる必要がある。本研究では静的に締固めた不飽和土に蒸気圧法を用いてサクシオンを制御させた後クローズドシステム条件で三次元凍結－融解三軸圧縮試験を行った。それらの実験結果について報告し、異なるサクシオンを有する不飽和供試体のせん断強さに与える凍結－融解作用の影響について考察する。

### 2. 試料と実験方法

実験に用いた試料はシルト質土であり、土の保水特性を検討する上で重要となる水分保持曲線<sup>1)</sup>は Fig. -1 に示すとおりである。この水分保持曲線は、加圧板法と蒸気圧法を用いて求められた。この試料は高いサクシオン領域においてもサクシオンに対する含水比減少が明確である。供試体は静的に締固めて作製した。供試体初期条件は含水比 48%、乾燥密度 0.99 g/cm<sup>3</sup>、間隙比 1.569、飽和度 78%であった。供試体はガラスデシケータ内に塩と共存させ、蒸気圧法によって高いサクシオンを制御した。本実験において用いた塩は Table-1 に示す。供試体内の間隙空気と、それぞれの湿度が平衡に至るまで約 1 ヶ月の時間を設けた。それぞれの環境下で高いサクシオンを受けた供試体の含水比は 48%から 35.1%と 31.5%にまで減少した。サクシオン制御を受けた供試体は凍結－融解可能な三軸圧縮試験機にセットされた。この凍結－融解三軸圧縮試験機は二重セル構造であり、内・外セル内には不凍液が入れられている。また、内セルの外側には内セルを取り巻くように銅管が備え付けられている。その銅管内の不凍液は三軸室の外部の低温恒温槽から供給される。低温恒温槽内の不凍液を温度コントロール制御することで、三軸セル内の不凍液および内セル中にある供試体の温度制御が可能になる。本研究ではクローズドシステムの状態で +20℃から -15℃へと冷熱を与え、三次元的な凍結－融解作用を 1 サイクル与えた後、毎分 0.015%の軸ひずみ速度で軸圧縮力を供試体に与えた。また、凍結－融解作用の有無の影響を検討するために、高いサクシオンを受けた非凍結の不飽和供試体に対しても三軸圧縮試験を実施した。さらに、高サクシオン制御を実施していない供試体についても凍結－融解作用を行った場合とそうでない場合について実験を行っている。

### 3. 実験結果

凍結－融解作用を与える前に不飽和供試体へサクシオン制御を行っている。サクシオン制御による含水比低下は既知であるが、圧縮変形に対するサクシオン効果を把握するために、排気・排水状態で等方圧縮試験を行った。等方的な外力にたいする間隙比の変化を圧縮曲線として Fig. -2～4 に示す。圧縮性の評価のために圧縮曲線から圧縮指数を求めた。高いサクシオンを受けていない締固め直後の供試体の圧縮指数は 0.22 であった。一方、高いサクシオンを与えることによって、土粒子間の変形に対する抵抗力が増大したため湿度 95%、湿度 54%に平衡した供試体の圧縮指数は 0.16 と 0.07 にまで減少している。また、湿度を低下することで小さな圧縮指数を得ることは、サクシオンの差異が圧縮性に影響することを示している。サクシオンが異なる不飽和土の応力－ひずみ曲線に凍結－融解作用が、どのように影響を示すかを検討するために Fig. -5、Fig. -6 にそれぞれの応力－ひずみ曲線を描く Fig. -5

キーワード 不飽和土 凍結－融解 サクシオン 蒸気圧法 三軸圧縮試験

連絡先 〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 TEL 0284-62-0605 FAX 0284-64-1061

は凍結-融解作用を受けていない不飽和供試体の拘束圧力 100kPa 条件下での応力-ひずみ曲線である。高いサクシオンを受けたことによる影響が応力-ひずみ曲線に明確に現れていることがわかる。第一に軸ひずみの発生とともに軸差応力の増加割合が平衡した湿度の減少（サクシオンの増大）とともに大きくなっている。いわゆる剛性の増大である。次に剛性の増大にともなう最大軸差応力の増大である。さらには最大軸差応力を過ぎた後の軸差応力の減少の割合も明確な違いが現れている。凍結-融解作用によって応力-ひずみ曲線は Fig. -5 から Fig. -6 へ変化する。凍結-融解作用によって、いずれのサクシオンにおいても最大軸差応力が大きくなっていることがわかる。また、応力-ひずみ曲線の形状において変化が見られる湿度 54%場合にはピーク時の曲線の形状が若干緩やかになっている。

4. まとめ

本研究では、蒸気圧法を用いて高いサクシオンを与え含水比の異なる不飽和供試体に対して、凍結-融解三軸圧縮試験を行った。得られた結果としては、凍結-融解作用の有無に関わらず、サクシオンの高い不飽和土の方がせん断強さが大きい。そして凍結-融解作用によって、不飽和土のせん断応力が大きくなることがわかった。

参考文献 1) 西村、間隙比一定における不飽和土の直接せん断強度、第 37 回地盤工学研究発表会、(2002)。

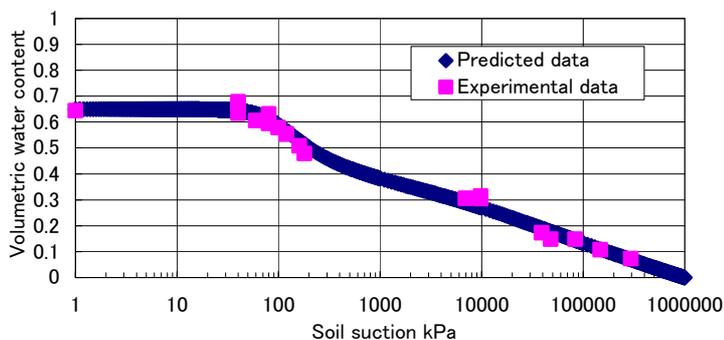


Fig.-1 Soil-water characteristic curve

Table-1 Relative humidity and suction of salt solution

Salt solution	Symbol	Relative humidity	Suction
Potassium Nitrate	KNO <sub>3</sub>	95%	6940 kPa
Magnesium Nitrate	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	54%	83400 kPa

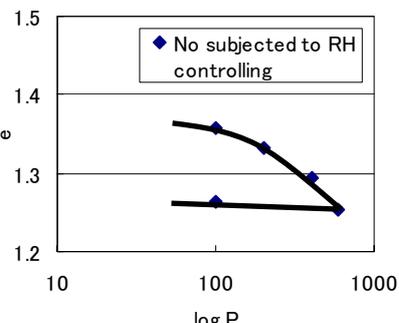


Fig.-2 e-log P.

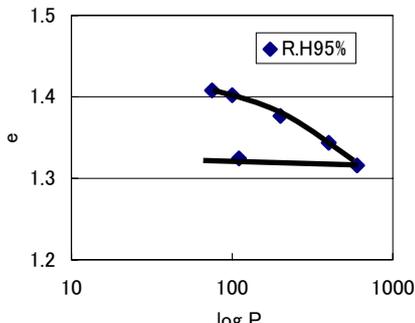


Fig.-3 e-log P.

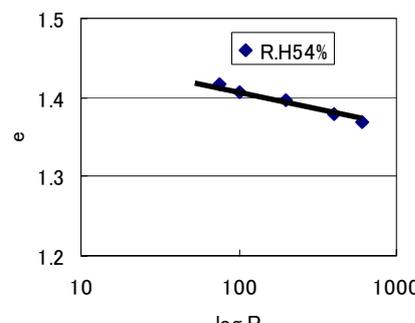


Fig.-4 e-log P.

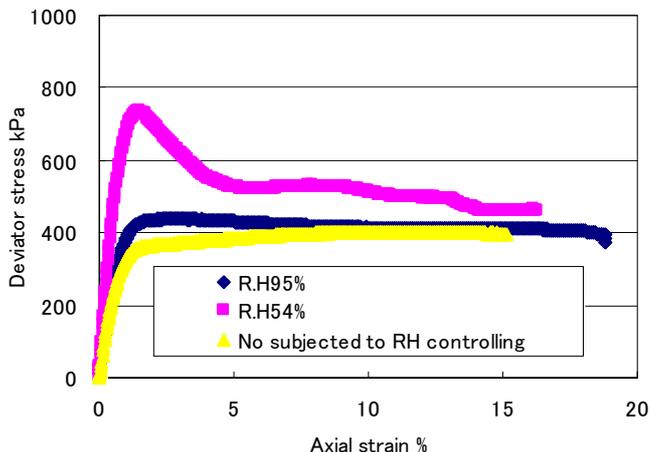


Fig.-5 Stress strain curve(100kPa).

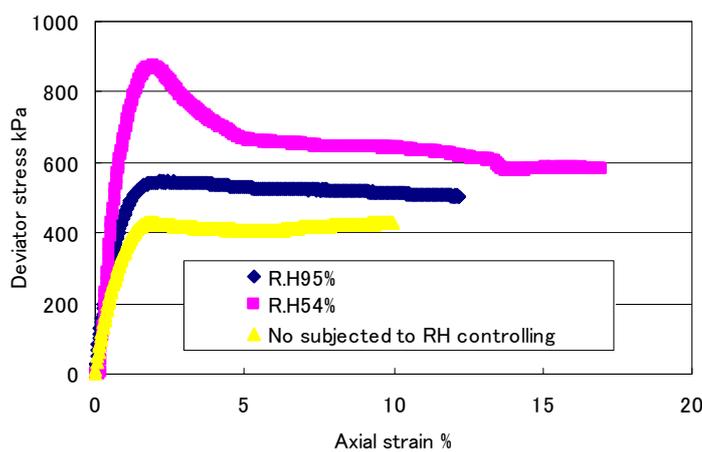


Fig.-6 Stress strain curve(100kPa).