

引張応力を考慮した不飽和粘性土の破壊規準

長岡技術科学大学大学院 学 酒井直樹
 長岡技術科学大学 正 豊田浩史
 (株) キタック 大淵貴

1. はじめに

日本のように多雨多湿な国では、地盤表層は飽和度の高い不飽和状態であることが多く、降雨時など斜面の崩壊機構の一つに不飽和土の問題が挙げられている。一方で、不飽和土の破壊規準としては、比較的、高拘束圧領域では、三軸試験結果により飽和土の破壊線に対して平行になること¹⁾²⁾が指摘されているが、現実の問題となるような三主応力状態下での破壊規準が明らかになっているとは言い難い。そこで、本研究の目的は、三軸試験機では再現できない三主応力状態下で、不飽和粘性土に対して排気・排水中空ねじりせん断試験を行い、引張応力状態 ($\sigma_3=0$) がせん断破壊に及ぼす影響を実験的に考察することである。

2. 試験の概要

試料 用いた試料は、新潟県柏崎市米山付近より採取した粘性土(米山粘性土、粘土分含有量=23.5%, IP=22.5)である。使用する供試体は、液性限界の2倍程度の含水比に調整したスラリーより真空で脱気し、約45kPaで一次元圧密を行い、高さ16cm、内径5cm、外径8cmの中空円筒状に成形したものである。

試験機 試験には、中空ねじりせん断試験装置を用いた。中空円筒型供試体には内圧、外圧、軸力、トルクを載荷することにより、複雑な条件での応力状態を再現することができる。体積変化は二重セルを用いて差圧計によって計測した。これらに加え、排水量、体積変化などをコンピュータで自動計測し、応力、ひずみを自動制御することで試験を行った。

試験過程 次のような過程を経て行われた。

(1) 等方圧密過程：所定の平均有効主応力 p' で圧

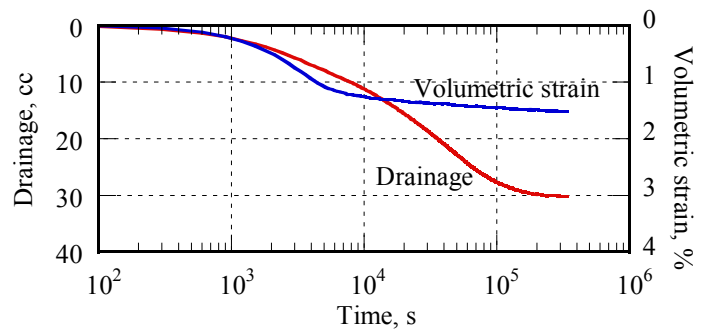


Fig.1 脱水中の排水量と体積ひずみの変化

密した。圧密時間は3t法より決定した。

(2) 不飽和化過程：二重負圧法により飽和した供試体に対し、セラミックディスクを用いた加圧板法により、サクシオン、基底応力一定条件のもと不飽和化を行った。脱水時間は、3t法に従った(Fig.1)。

(3) せん断過程：最大主応力方向 $\alpha=45^\circ$ ，中間主応力係数 $b=0.5$ の条件のもと、一定せん断ひずみ速度 (0.0012%/min) でせん断した。

3. 試験結果と考察

サクシオンの影響 $p_{net}=100\text{kPa}$ 一定で、サクシオン $s=0, 100, 200\text{kPa}$ と変化させた時の試験結果を、Fig.2に示す。Fig.2(a)より、サクシオンが増加することにより、飽和土の場合より、立ち上がりの傾きが急になり、破壊に至るまでのひずみ ε_s も小さくなることがわかった。体積変化特性(Fig.2(b))では、 ε_s の増加とともに体積は収縮し、破壊時にピークを迎えたあと膨張を示す。この傾向は、サクシオンが変わっても同じであり、体積変化は、サクシオン増加につれて膨張的になっていく傾向を示した。破壊形態を詳細に調べてみると、 $s=100, 200\text{kPa}$ の時は、せん断面が 45° に近い角度で入っていた。つまりこれは、せん断破壊ではなく、引張破壊に近いモードで破壊していることが推測できる。

基底応力 (p_{net}) の影響 p_{net} による影響を $s=100\text{kPa}$ の場合について、Fig.3 に示す。 p_{net} が小さいほど強度は小さく、膨張的な挙動を示していることがわかる。また、 $p_{net}=25\sim100\text{kPa}$ までと、 $p_{net}=200\sim300\text{kPa}$ まででは、破壊モードが異なり、前者は σ_3 がゼロに達しているため引張破壊を、後者は引張応力が発生していないので、せん断破壊を起こしていると考えられる。

引張応力状態を考慮した破壊規準 今回得られた結果を横軸に平均有効主応力(基底応力)を、縦軸に偏差応力をとったものにプロットしてみると、Fig.4 のようになる。サクシジョンの影響は $p_{net}=200\sim300\text{kPa}$ では、飽和土の破壊線に対して平行になる傾向がみられるものの、 $p_{net}=100\text{kPa}$ 以下の結果では、従来言われている不飽和土の破壊規準に沿わないことがわかる。これらの結果は、いずれも引張破壊を起こした可能性がある。この破壊モードは、 p_{net} 一定でのせん断試験であるため、 σ_3 の減少過程で引き起こされたものである。実験条件と $\sigma_3=0$ を考慮することにより、 $q=\sqrt{3}p$ という関係式が得られ、その式を図示すると、 $p_{net}=100\text{kPa}$ 以下での結果をうまく説明できることがわかる。つまり、若干の引張応力には耐え得るものの、引張応力が载荷されると即座に破壊する傾向があり、実験的には、 $\sigma_3=0$ での破壊を仮定しても問題はないと思われる。

4. まとめ

不飽和粘性土に対して、サクシジョン、 p_{net} 一定、 $b=0.5$ のせん断試験を行い、引張応力 ($\sigma_3=0$) を考慮した新しい破壊規準を示すことができた。

<参考文献>

- 1) Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R., and Widger, R. A., Shear strength of unsaturated soils, Canadian Geotechnical Journal, 15(3), 313-321, 1978.
- 2) H. Toyota, N. Sakai and T. Nishimura, Effects of stress history due to unsaturation and drainage condition on shear properties of unsaturated cohesive soil, Soils and Foundations, 41(1), 13-24, 2001.

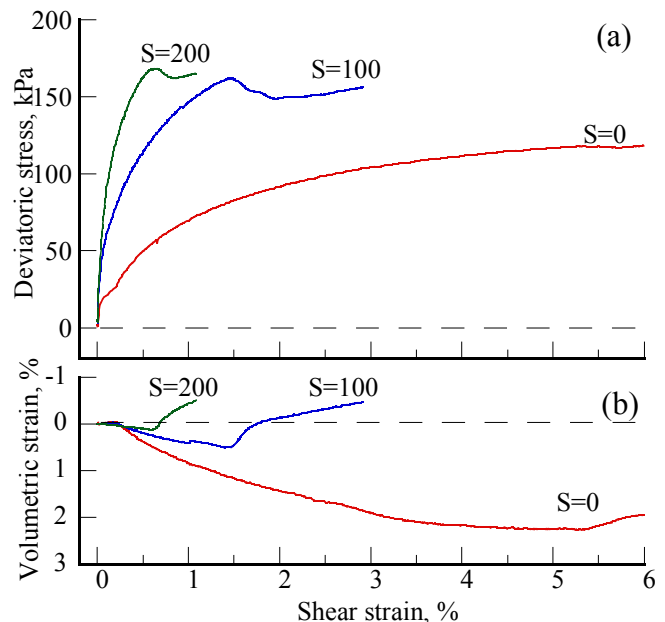


Fig. 2 せん断ひずみと偏差応力、体積ひずみの関係 (サクシジョン変化)

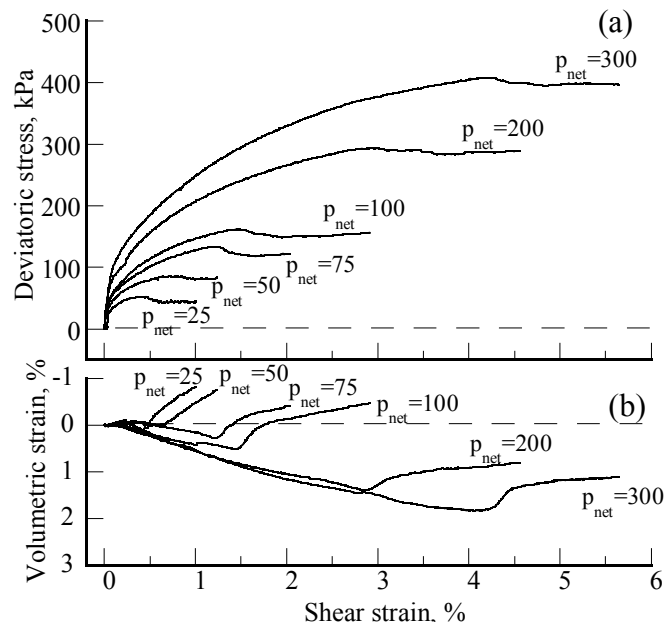


Fig. 3 せん断ひずみと偏差応力、体積ひずみの関係 (基底応力 p_{net} 変化)

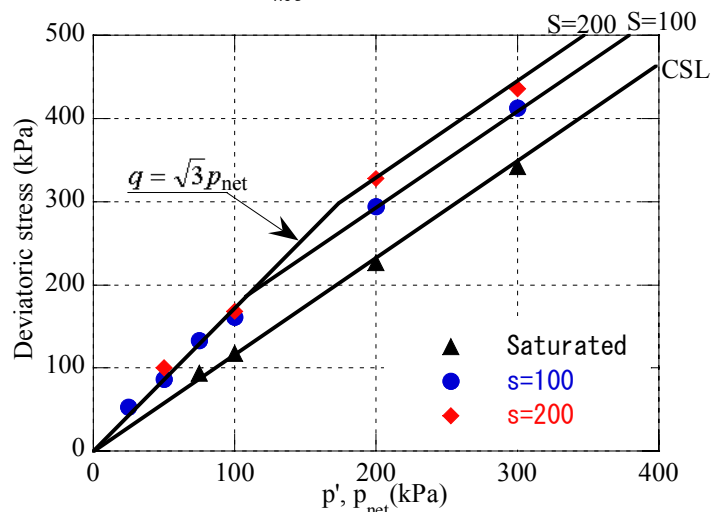


Fig. 4 引張応力を考慮した破壊規準