

## 不飽和粘土のリングせん断試験

信州大学工学部 ○河原田知行

信州大学工学部 正 梅崎 健夫

信州大学工学部 正 河村 隆

**1. はじめに** 地すべり粘土の残留強度を測定するためにリングせん断試験が実施される。地すべりは飽和地盤においてだけでなく、不飽和地盤においても起こっているが、不飽和粘土の不攪乱試料を用いたリングせん断試験は比較的大きな試料を必要とし、試料作製や供試体の形成が困難であることからあまり行われていない。

本文では、小型リングせん断試験装置<sup>1)</sup>を用いて、真空蒸発法<sup>2)~4)</sup>により作製した不飽和粘土供試体のリングせん断試験を実施した。得られた試験結果に基づいて、飽和度が異なる場合のピーク強度および残留強度について検討した。

**2. 試験の概要** 試料には NSF(B)粘土（土粒子密度  $\rho_s=2.726\text{g/cm}^3$ 、液性限界  $w_L=73.9\%$ 、塑性指数  $I_p=40.8$ ）を用いた。試料に純水を加えて液性限界の約 2 倍の含水比（約 150%）で練返し、所定の鉛直圧密圧力  $\sigma_v$  で一次元的に予圧密した。小型リングせん断試験において初期垂直応力  $\sigma_{N0} \leq 196\text{kN/m}^2$  の低垂直応力域において正規圧密粘土の強度定数が過大評価されることが報告されている<sup>1), 5)</sup>。そこで、初期垂直応力  $\sigma_{N0}$  および  $\sigma_v$  を  $\sigma_{N0}=\sigma_v=196\text{kN/m}^2$ 、 $294\text{kN/m}^2$  とした。予圧密試料に真空蒸発法<sup>2)~4)</sup>を適用して不飽和試料を作製した。真空蒸発法は、締め固めによる動的荷重や空気圧負荷による透水力など予圧密圧力以外の応力履歴を供試体に与えることが少なく、透水性の低い粘土に対して不飽和粘土試料を作製できる方法である。直径 80mm、高さ 40mm に成形した予圧密試料を図-1 に示すように、真空デシケータ内に静置し、真空ポンプにより水の飽和蒸気圧付近まで減圧することにより、試料内の間隙水を蒸発させて不飽和粘土試料を作製した。作製した試料の初期飽和度  $S_{r0}$  は  $\sigma_v=196\text{kN/m}^2$  において  $S_{r0}=33\% \sim 100\%$ 、 $\sigma_v=294\text{kN/m}^2$  において  $S_{r0}=91 \sim 100\%$  である。不飽和試料を外径 70mm、内径 42mm、初期高さ 20mm の環状供試体に成形し、試験装置に設置した。所定の圧密圧力  $\sigma_v=196\text{kN/m}^2$ 、 $294\text{kN/m}^2$  で 60 分間圧密した後、せん断中に垂直応力  $\sigma_N$  を制御しない簡易定圧リングせん断試験をせん断変位角速度  $\dot{\theta}=0.0025\text{rad/min}$ （せん断変位速度 0.1mm/min に相当）でせん断変位角  $\theta=14.3\text{rad}$ （せん断変位  $D=400\text{mm}$  に相当）まで実施した。せん断中の上下リングの隙間を 0.1mm に設定し、飽和度を一定に保持するため、水浸を行わず、図-2 に示すように、ポリプロピレンシートおよびポリエチレンシートでアクリル水槽の上から覆った。なお、せん断中の垂直応力  $\sigma_N$  は供試体とリングの間の周面摩擦応力を考慮したせん断面上の平均的な値として算定している。

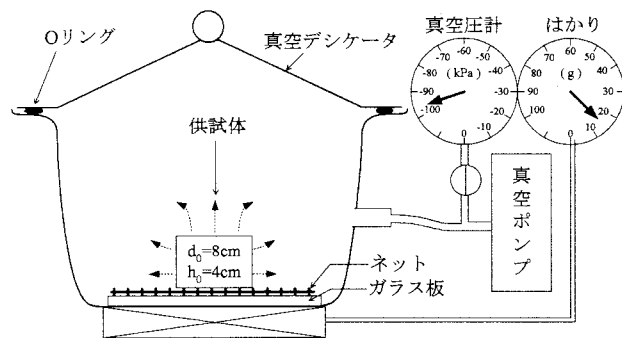


図-1 真空蒸発法の概略

**3. 試験結果および考察** 図-3(a), (b)にせん断過程におけるせん断応力  $\tau$  および応力比  $\eta=\tau/\sigma_N$  と  $\theta$  の関係を示す。ここで、 $\sigma_{N0}=196, 294\text{kN/m}^2$  のいずれにおいても  $\theta \leq 3\text{rad}$  において、 $\tau$  はピークを示した後に漸次減少し、ほぼ一定値に収れんする。このとき、ピークおよび残留状態に至るまでの変位は、初期飽和度が低下するほど小さくなる傾向が見られる。

図-4 にせん断過程における応力経路を示す。図中には飽和粘土のピーク強度線（ $\phi_d=24.3^\circ$ 、 $c_d=0$ ）および残留強

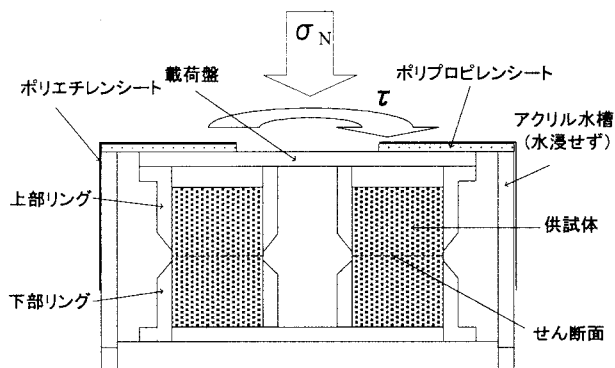


図-2 不飽和粘土のリングせん断試験装置の断面図

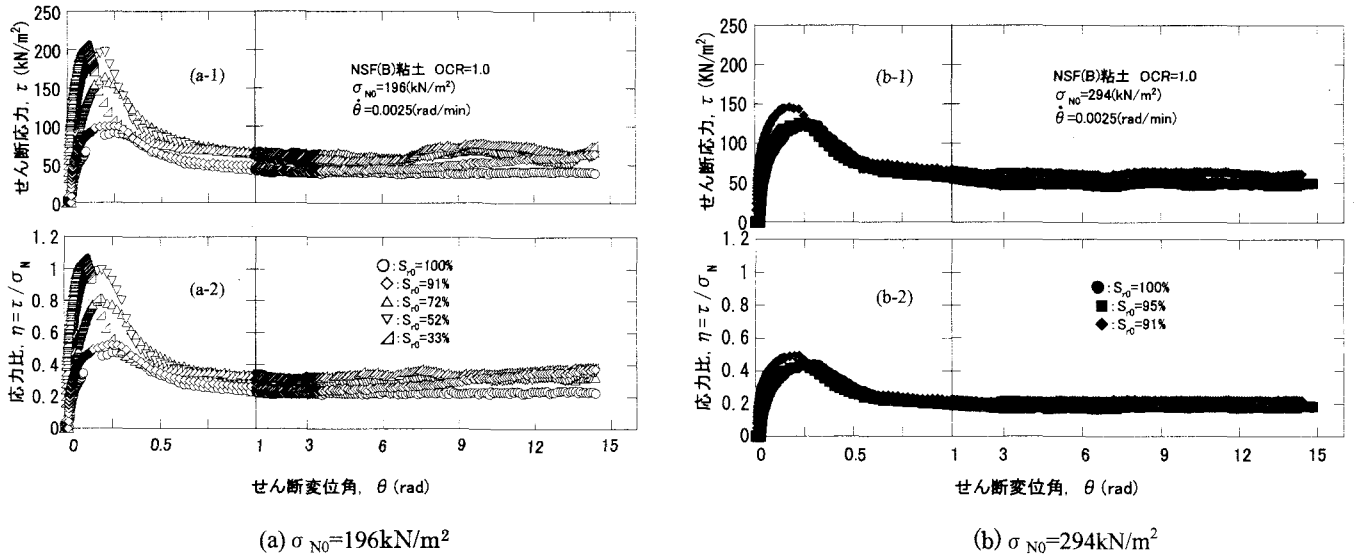


図-3 せん断過程における $\tau, \eta - \theta$  関係

度線 ( $\phi_r = 12.5^\circ$ ,  $c_r = 0$ ) も示している。  $\phi_d$  および  $\phi_r$  は内部摩擦角、  $c_d$  および  $c_r$  は粘着力である。 不飽和粘土の応力経路は飽和粘土のピーク強度線を越える挙動を示しており、その割合は飽和度が低いほど大きい。 一方、不飽和粘土の残留強度は飽和粘土の残留強度線とピーク強度線の間にある。

図-5 にピーク強度 $\tau_d$ および残留強度 $\tau_r$ と $S_{r0}$ の関係を示す。  $\sigma_{N0} = 196 \text{ kN/m}^2$  の場合、  $\tau_d$  および  $\tau_r$  とともに  $S_{r0}$  の低下とともに直線的に増加している。 増加の割合は、ピーク強度では $\alpha_1 = 1.76$ 、残留強度では $\beta_1 = 0.4$ の結果が得られた。 また、  $\sigma_{N0} = 294 \text{ kN/m}^2$  の場合においても同じような傾向が見られる。

**4. まとめ** 真空蒸発法を用いて作製した不飽和粘土供試体のリングせん断試験を実施し、飽和度が異なる場合のピーク強度および残留強度について検討した。 結論を以下に示す。

- (1) せん断応力がピークおよび残留状態に至るまでの変位は飽和度が低下するにともない小さくなる。
- (2) 不飽和粘土のピーク強度および残留強度は飽和粘土のそれよりも大きく初期飽和度の低下とともに直線的に増加する。 NSF(B)粘土の場合、その増加割合はピーク強度では $\alpha_1 = 1.76$ 、残留強度では $\beta_1 = 0.4$ である。

【参考文献】 1) 西田浩太, 梅崎健夫, 河村隆: 小型リングせん断試験における試験結果の解釈, 第 38 回地盤工学研究発表会, 2 分冊の 1, pp.621-622, 2003. 2) 井上友博, 梅崎健夫, 河村隆: 真空蒸発法で作製した不飽和粘土供試体の圧密・強度特性, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp.923-924, 2004. 3) 井上友博, 梅崎健夫, 河村隆: 真空蒸発法で作製した不飽和粘土供試体の圧密・強度特性 (その 2), 第 59 回年次学術講演会, III-16, pp.31-32, 2004. 4) 井上友博, 梅崎健夫, 河村隆: 真空蒸発法による不飽和粘土供試体の作成法 (その 1), 平成 16 年度土木学会中部支部, 2004(投稿中). 5) 小西佐多男, 梅崎健夫, 河村隆: 低垂直応力域における粘土のリングせん断試験方法の検討, 第 39 回地盤工学研究発表会, 2 分冊の 1, pp.329-330, 2004.

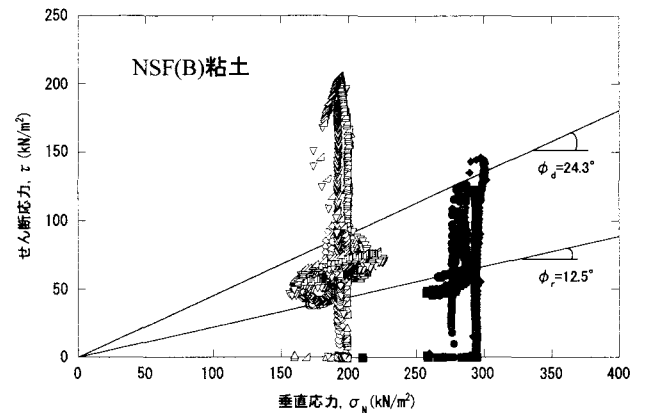


図-4 せん断過程における応力経路

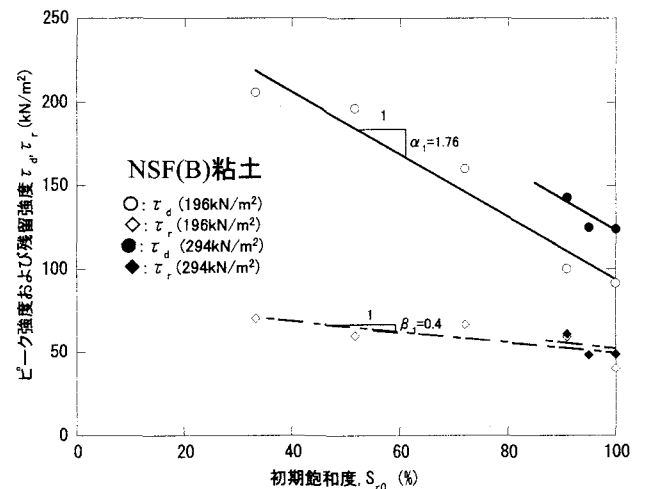


図-5 ピーク強度および残留強度と飽和度の関係