

不飽和粘土の水浸による残留強度の変化

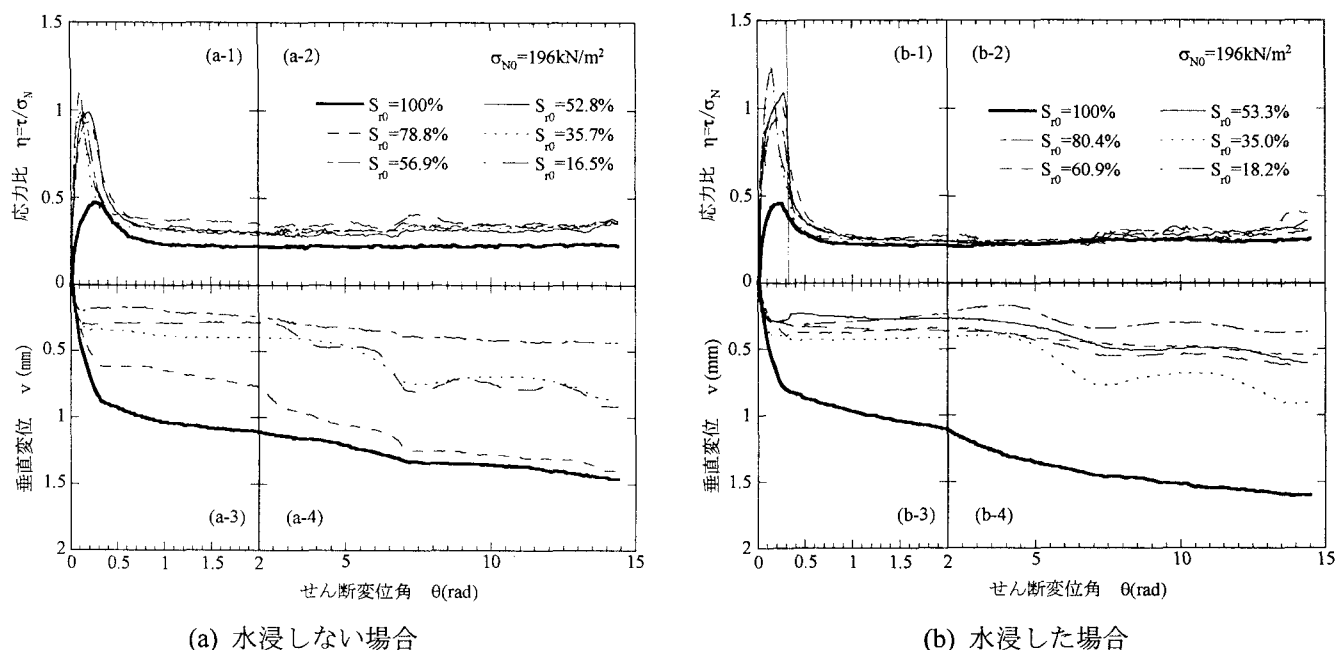
信州大学工学部 ○武藤裕久

信州大学工学部 正 梅崎健夫, 正 河村 隆

1. はじめに 不飽和地盤において、降雨や融雪などによって地すべりが発生する場合には、不飽和状態の地盤が水浸された時の残留強度を評価する必要がある。本文では、不飽和粘土の小型リングせん断試験¹⁾中に供試体を水浸し、不飽和粘土の残留強度に及ぼす水浸の影響について検討した。

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 σ_v で一次元的に予圧密した。真空蒸発法²⁾を適用して不飽和粘土供試体を作製するために、予圧密試料を直径80mm、高さ40mmに成形した後、真空デシケータ内に静置した。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。真空蒸発法は、締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手法である²⁾。作製した試料の初期飽和度は、 $S_{r0}=6\sim90\%$ である。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。成形による飽和度の変化は無視できることを確認している。小型リングせん断試験においては、初期垂直応力 $\sigma_{N0}=196\text{kN/m}^2$ 未満の低垂直応力域における強度定数が過大評価されることが報告されている¹⁾。そこで、 $\sigma_{N0}=\sigma_v=196\text{kN/m}^2$ とした。所定の σ_{N0} で60分間圧密した後、せん断中の垂直応力 σ_N を制御しない簡易定圧リングせん断試験を実施した。 σ_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断面上の平均的な値として算定している。せん断中の上下リングの隙間は0.1mmとし、せん断変位角速度 $\dot{\theta}=0.0025\text{rad/min}$ (せん断変位速度 $\dot{D}=0.1\text{mm/min}$ に相当)でせん断変位角 $\theta=14.4\text{rad}$ (せん断変位 $D=400\text{mm}$ に相当)までリングせん断を行った。ピーク強度に至った後の $\theta=0.3\text{rad}$ において、純水により水浸させてさらにせん断を実施した。一方、水浸を行わない試験も実施した。この場合、気密シートで水浸箱を覆うことにより飽和度を一定に保持した。

3. 試験結果および考察 図-1(a), (b)に応力比 η ($=\tau/\sigma_N$, τ :せん断応力)および垂直変位 v と θ の関係を示す。飽和粘土の η および $v\sim\theta$ 関係は、水浸の有無に関わらずほぼ同じ挙動を示している。水浸しない場合の $\eta\sim\theta$ 関係(図-1(a-1), (a-2))は、 S_{r0} の低下に伴い大きなピーク強度 τ_d を示した後、減少し、飽和粘土よりも大

図-1 せん断過程における η , $v\sim\theta$ 関係

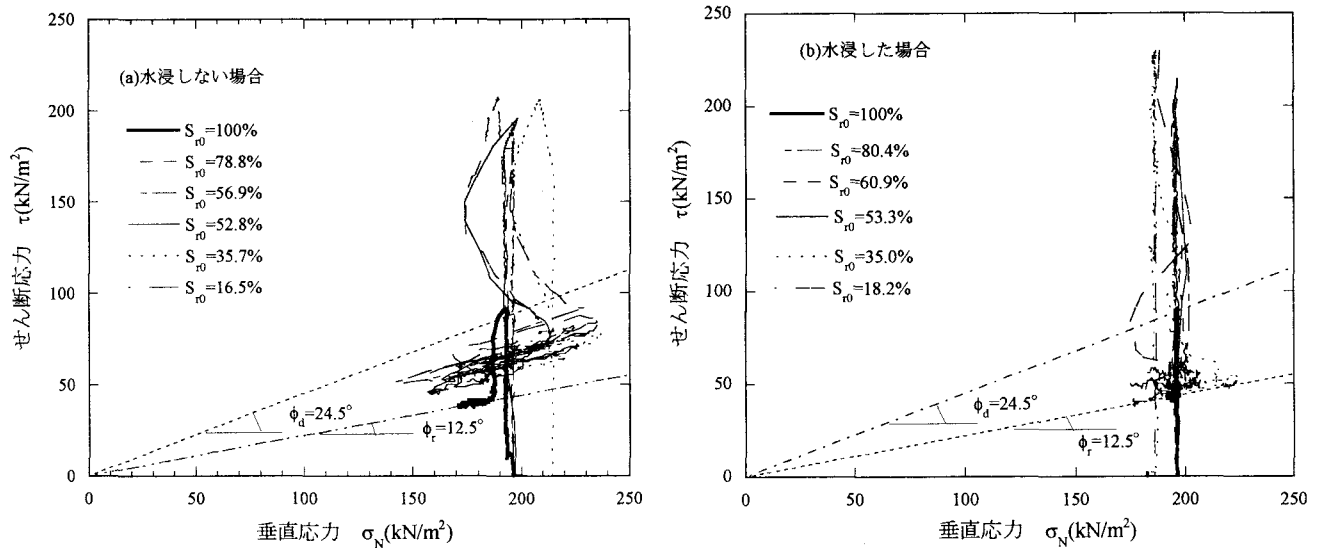


図-2 セン断過程における応力径路

きな残留強度 τ_r に至る。 $\theta=0.3\text{rad}$ において水浸した場合の $\eta \sim \theta$ 関係(図-1(b-1), (b-2))は、水浸を行った直後からせん断抵抗が急激に失われ、 $\theta=3\text{rad}$ 付近において飽和粘土における $\eta \sim \theta$ 関係とほぼ一致するが、 $\theta=7\text{rad}$ 付近以降において変動する傾向を示す。水浸しない場合の $\eta \sim \theta$ 関係(図-1(a-3), (a-4))は、せん断開始直後に急激に増加し、ピーク強度以降において漸次減少するが、水浸した場合の関係(図-1(b-3), (b-4))は、水浸直後から $\theta=5\text{rad}$ 付近まではほぼ一定となり、その後増加する傾向を示す。水浸した場合の $\eta \sim \theta$ 関係が、 $\theta=7\text{rad}$ 以降において変動しているのは、供試体の沈下のためにせん断面が変化しているためであると考えられる。せん断終了時の ν は、水浸した場合の方が小さい。

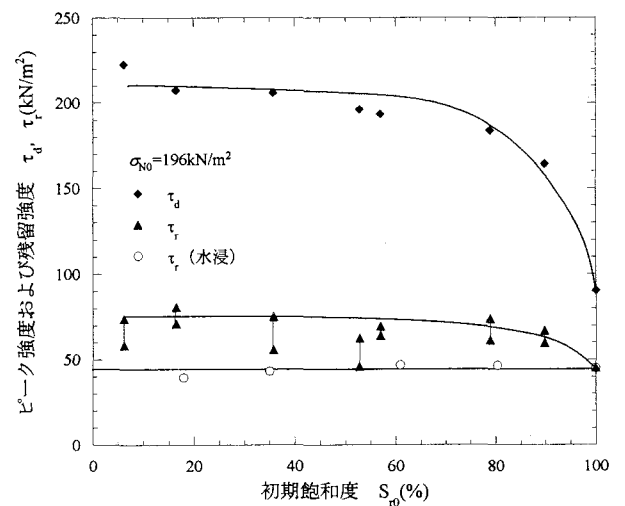


図-3 飽和度とピーク強度および残留強度の関係

図-2(a), (b)にせん断過程における応力径路を示す。(a)水浸しない場合の応力径路は、飽和粘土の残留強度線よりも上方で変動するのに対して、(b)水浸した場合はせん断応力が飽和粘土の残留強度線上を変動している。

図-3に S_{r0} とピーク強度 τ_d および残留強度 τ_r の関係を示す。飽和粘土の τ_r は、試験中の飽和度が一定であるため双曲線近似によって求めることができる³⁾が、不飽和粘土はせん断中に飽和度が変化してしまうために双曲線近似が適用できない。そこで、残留状態に達したと考えられる $\theta=10 \sim 14.4\text{rad}$ における τ_r の範囲を示した。水浸した場合、図-1(b-4)において考察したように、 $\theta=7\text{rad}$ 付近以降において $\eta \sim \theta$ 関係が変動しているため、 $\theta=5 \sim 7\text{rad}$ における τ から平均的に判断して τ_r を決定した。 S_{r0} の低下に伴い、 τ_d および τ_r は増加する傾向を示すが、水浸させた場合の残留強度は、いずれの S_{r0} においても飽和粘土の τ_r にほぼ等しい。

4. まとめ 真空蒸発法を用いて作製したNSF(B)粘土の不飽和粘土供試体のリングせん断試験を行い、せん断中に水浸させた場合の残留強度の変化について検討した。得られた結果を以下に示す。(1)飽和度の低下に伴い τ_r は増加する傾向にあるが、水浸させることによって飽和粘土の τ_r にほぼ等しくなる。(2)掘削などによってせん断応力の増加に伴って地すべりが進行する場合と地下水位の上昇によって有効応力が減少しその結果地すべりが進行する場合の強度定数は区別して考える必要がある。

【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: 真空蒸発法による飽和粘土供試体の作製法(その2), 第40回地盤工学研究発表会, pp.883-884, 2005. 3)鈴木素之, 梅崎健夫, 川上浩: リングせん断における粘土の残留強度とせん断変位の関係, 土木学会論文集 No.575, III-40, pp.141-158, 1997.