

リングせん断特性に及ぼす供試体寸法の影響

信州大学工学部 学○西田浩太

信州大学工学部 正 梅崎健夫 正 河村 隆

1. はじめに 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が、通常の試験機においては多量の試料を必要とし、成形も困難であることから不攪乱土の残留強度を得ることは容易ではない。そこで、内径 75mm のシンウォールサンプラーよりも小さいサイズ（内半径 $r_1=21\text{mm}$ 、外半径 $r_2=35\text{mm}$ 、平均半径 $\bar{r}=28\text{mm}$ ）の供試体を設置できる小型リングせん断試験機（写真-1）を開発・作製した。本文では中型リングせん断試験機（内半径 $r_1=30\text{mm}$ 、外半径 $r_2=50\text{mm}$ 、平均半径 $\bar{r}=40\text{mm}$ ）における既往の試験結果¹⁾と比較することにより、小型リングせん断試験機の有効性を検討したものである。

2. 試料および試験方法 試料はNSF(B)粘土 ($G_s=2.726$, $w_L=73.9\%$, $I_p=40.8$) を用いた。試料に純水を加えて含水比 150% で練り返し、設定垂直応力 $\sigma_N^*=98, 196, 294\text{kN/m}^2$ の試験では予圧密圧力 $\sigma_v=0.85 \sigma_c$ (σ_c : 圧密圧力) で、 $\sigma_N^*=392, 490, 588\text{kN/m}^2$ の試験では $\sigma_v=343\text{kN/m}^2$ で 2 日間一次元的に予圧密した。その後予圧密試料を環状供試体 ($r_1=21\text{mm}$, $r_2=35\text{mm}$, $\bar{r}=28\text{mm}$, 高さ $h=20\text{mm}$) に成形した。供試体を試験装置に設置し、 $\sigma_c=\sigma_N^*$ で 60 分間圧密して正規圧密状態にした後、 σ_N^* 一定の小型リングせん断試験をせん断変位角 $\theta=14.3\text{rad}$ (せん断変位 $D=400\text{mm}$, 中型試験においては $\theta=10\text{rad}$ に相当) まで実施した。せん断中の上下リングの隙間は 0.1mm, 小型試験のせん断変位角速度 ($\dot{\theta}$) は 0.0025, 0.00357rad/min (それぞれ、せん断変位速度 $\dot{D}=0.07, 0.1\text{mm/min}$ に相当) である。 $\sigma_N^*=392, 490\text{kN/m}^2$ の試験では $\theta=14.3\text{rad}$ までせん断した後、 $\sigma_N^*=\pm 4.9\text{kN/m}^2/\text{min}$ の速度で $\sigma_N^*=98\text{kN/m}^2$ まで減少し、再増加させる試験も実施した。せん断中の垂直応力 (σ_N) は供試体とリング周面の摩擦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。

3. 試験結果および考察 図-1 は 6 種類の異なる σ_N^* において実施した小型試験の応力経路を示す。図中に示した正規圧密状態のピーク強度線 ($c_{ds}=0$, $\phi_{ds}=22.9^\circ$) および残留強度線 ($c_{rs}=0$, $\phi_{rs}=10.8^\circ$) は、 $\sigma_N^*=392\sim 588\text{kN/m}^2$ のデータから求めたものである。残留状態において σ_N^* を減少・再増加させた場合には τ は残留強度線に沿って変化する¹⁾。

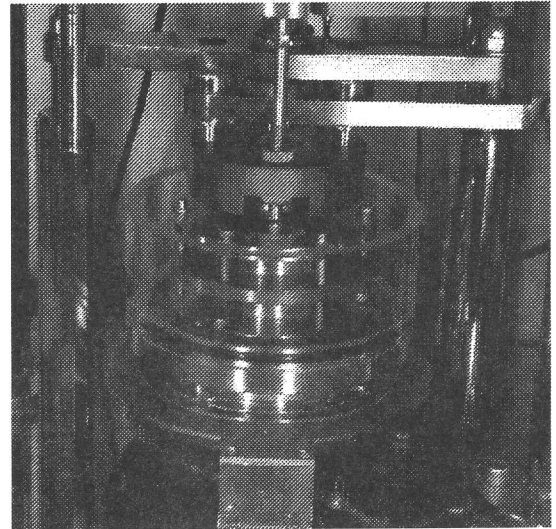


写真-1 小型リングせん断試験機

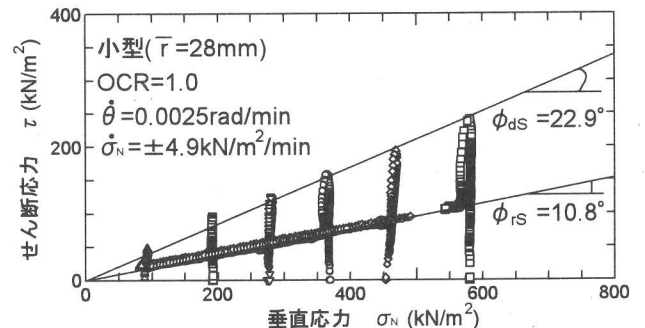


図-1 応力経路 (小型リングせん断試験)

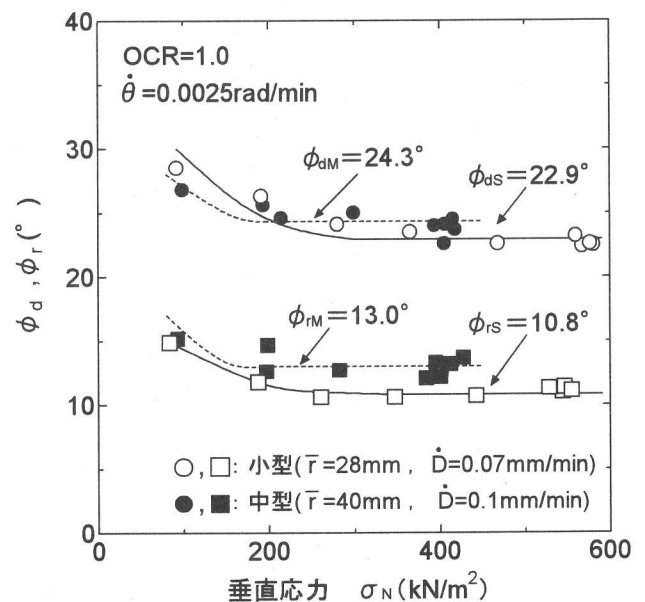


図-2 ϕ_d および $\phi_r \sim \sigma_N$ 関係

図-2 は σ_N^* を数種類変えて行なった小型および中型試験に対するピーク強度および残留強度時における内部

摩擦角 (ϕ_{ds} , ϕ_{rs}) および (ϕ_{dm} , ϕ_{rm}) と σ_N の関係を示したものである。ただし、小型および中型試験ともに $c_d=c_r=0$ と仮定している。小型試験の内部摩擦角 (ϕ_{ds} , ϕ_{rs}) のほうが中型試験のそれらより約 $1\sim 2^\circ$ 小さい。一方、既往の研究成果¹⁾より種々の供試体寸法のリングせん断試験および繰返し一面せん断試験において、 σ_N が 100kN/m^2 以下の領域においては垂直応力の減少に対して、ピーク強度および残留強度における内部摩擦角が増加することが報告されている。小型試験においても同様の傾向が見られ、 σ_N が 200kN/m^2 以下になると内部摩擦角は増加する。

図-3に中型試験における ϕ_d および $\phi_r \sim \dot{\theta}$ 関係を示す。この場合、NSF(B)粘土では図に示す範囲内において排水条件が近似的に満足されており、ピーク強度は $\dot{\theta}$ の増加に対してほぼ一定である。しかし、残留強度はこの $\dot{\theta}$ の範囲においても $\dot{\theta}$ の増加に対して直線的に若干増加する。また、図中には小型試験の結果も示しており、この場合の内部摩擦角はほぼ等しい。

図-4 (a) および (b) に $\dot{\theta}=0.0025\text{rad/min}$ の条件で実施した小型試験と中型試験の $(\tau/\sigma_N) \sim \theta$ および $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係を示す。小型試験における $\theta=2\text{rad}$ は $D=56\text{mm}$ に相当し、(a) と (b) のスケールを小型試験にあわせて表示している。図-4 (a) に示すように、 $(\tau/\sigma_N) \sim \theta$ 関係においては中型、小型試験ともにピーク強度到達における θ はほぼ等しく、ピーク後の挙動も大きい差異は見られない。ただし、図-2に示したように、小型試験と中型試験では内部摩擦角が異なるので同一の関係とはならない。一方、 $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係で整理した場合においては小型試験と中型試験の $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係は大きく異なっている(図-4 (b))。これらのことは図-5 (a), (b) に示すように $\dot{D}=0.1\text{mm/min}$ の条件で実施した場合においても同じである。

4. まとめ 得られた主な知見は以下の通りである。(1) 小型リングせん断試験においては、 $\sigma_N \geq 200\text{kN/m}^2$ の領域においてピーク強度および残留強度時の内部摩擦角がほぼ一定となる。また、そのときの値は中型試験のそれとほぼ等しく妥当な結果が得られた。(2) 供試体寸法が異なるリングせん断試験においては、 $(\tau/\sigma_N) \sim \theta$ 関係のほうが $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係よりも統一的な挙動を示す。

【参考文献】1) 鈴木, 梅崎, 川上, 山本: 直接型せん断試験における土の残留強度, 土木学会論文集, No645/III-50, pp.37-50, 2000.

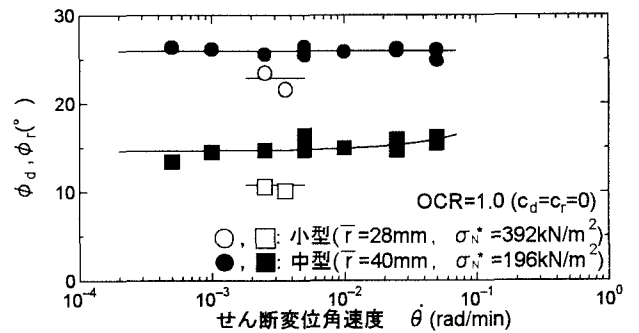


図-3 ϕ_d および $\phi_r \sim \dot{\theta}$ 関係

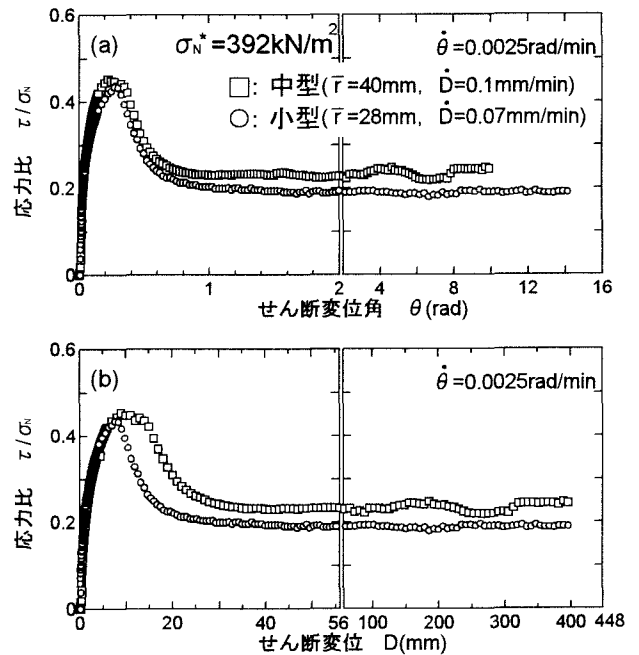


図-4 $(\tau/\sigma_N) \sim \theta$ および $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係 ($\dot{\theta}=0.0025\text{rad/min}$)

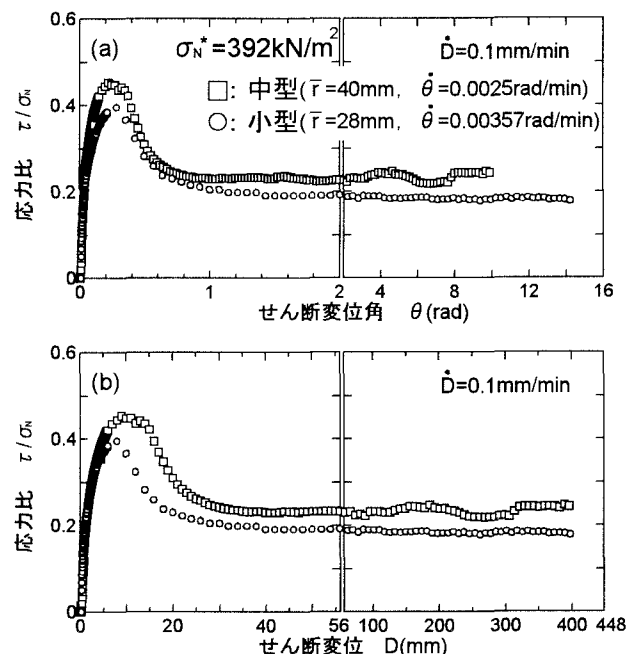


図-5 $(\tau/\sigma_N) \sim \theta$ および $(\tau/\sigma_N) \sim D$ 関係 ($\dot{D}=0.1\text{mm/min}$)