

## リングせん断試験と三軸圧縮試験による砂の繰返し変形特性について (Cyclic deformation characteristics on sand by ring shear and triaxial tests)

○君嶋 美優\*・王 博涵\*\*・毛利 栄征\*

(Miyu Kimijima・Bohan Wang・Yoshiyuki Mohri)

### 1 はじめに

近年頻発する自然災害において、斜面崩壊やため池堤体の決壊などの被害が頻発している。

田中(2015)は、堤体の破壊現象を定量的に予測するための安定解析において、ピーク強度から残留強度までを合理的に取り入れた解析の適応の重要性を指摘している。このことは、土の真の残留強度の把握や繰返しせん断による強度低下現象の解明が必要であることを意味している。

### 2 研究目的

具体的には、すべり破壊面の大変形領域までの残留強度を求め、強度低下特性を明らかに必要がある。本研究では、独自に開発したリングせん断試験機を用いて、現行の繰返し非排水三軸圧縮試験との比較を行った。

### 3 試験概要

#### 3.1 リングせん断試験機概要

リングせん断試験機全景を Fig.1 に示す。試験試料は、内径 90mm、外径 150mm、高さ 40mm の中空円筒供試体であり、繰返しはバッククラッシュのない機構を採用して変位制御をおこなっている。その他の詳細については、君嶋(2019)にまとめている。

#### 3.2 試験方法

試料は佐原砂(最大粒径=2.00mm,  $F_c=13\%$ ,  $\rho_s=2.755\text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{d\max}=1.762\text{ g/cm}^3$ ,  $w_{\text{opt}}=15.60\%$ )を使用した。含水比を

$w_{\text{opt}}$  に調整し、 $\rho_d=1.46\text{ g/cm}^3$ (締固め度  $D_c=85\%$ )になるよう締固め法により供試体を作成した。以下では繰返し非排水三軸圧縮試験を繰返し三軸試験、繰返しリングせん断試験を繰返しリング試験と表記する。



Fig.1 試験機全景

繰返し三軸試験は直径 50mm、高さ 100mm の供試体で、繰返し応力  $\sigma_d$  を 1.0mm/分の定ひずみ速度で両振幅ひずみ  $DA=10\%$  まで与えたのち、0.1mm/分の載荷スピードで単調静的圧縮によって強度を確認した。繰返しリング試験ではせん断ひずみの定義ができないが、繰返し三軸試験の  $DA10\%=10\text{mm}$  はせん断面上における相対変位に投影 ( $45^\circ + \phi/2$ ) すると 11.6mm に相当するため、せん断変位  $11.6\text{mm}=DA10\%$  と定義した。繰返し三軸試験の非排水条件と対応させるため定体積条件で実施し、供試体上面に  $\sigma_v=100\text{ kPa}$  を載荷して一次元圧密した後、定体積条件を維持し繰返しせん断応力  $\tau_{\text{cycl}}$  で繰返し  $DA=10\%$  まで繰返しせん断した。繰返しせん断終了後は単調せん断へ移行し 60mm 以上のせん断を与えた。せん断速度は、繰返しせん断は 1mm/分、単調せん断は 0.2mm/分としている。

\* 茨城大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Ibaraki University、\*\*\*東京農工大学連合農学研究所, United Graduate School Of Agriculture Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード: リングせん断試験、残留強度、強度低下、土の動力学的性質

## 4 結果

繰返し三軸試験、繰返しリング試験が  $DA=10\%$  に達したときの繰返し回数  $N$  について Fig.2 に示す。両試験とも  $\tau/\sigma-N$  の関係は相対的に類似した傾向がみられたが、繰返しリング試験の方が同じ  $N$  に対する応力振幅比が大きく、 $N=20$  での応力振幅比を採ると繰返し三軸の約 140%であった。

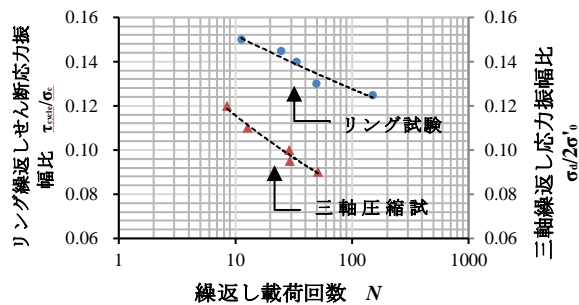
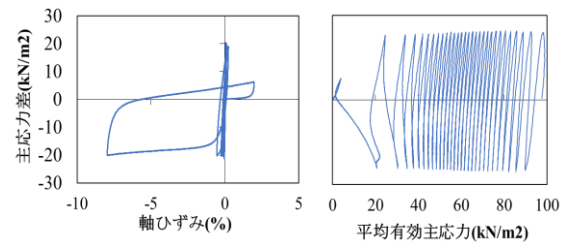


Fig.2 繰返し応力振幅比-繰返し

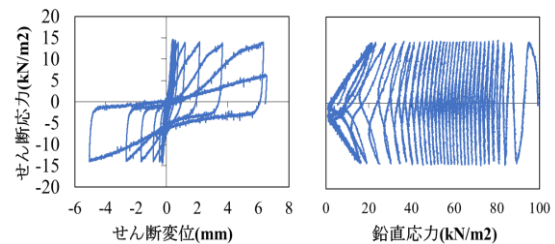
繰返し三軸試験 ( $\sigma_d=20\text{kPa}$ ,  $N=30$ ) と繰返しリング試験 ( $\tau_{\text{cycle}}=14\text{kPa}$ ,  $N=33.5$ ) の (a)応力-ひずみ、(b)応力経路を Fig. 3、Fig. 4 に示す。三軸試験(a)では、有効応力が大きく低下したサイクルにおいて急激に伸長側にひずみが発達している。一方、リング試験ではひずみが両せん断方向に均等に増幅し、 $\sigma_v=0$  状態に達した後もサイクリックモビリティを示し、ある程度のせん断抵抗を保持している。三軸試験は圧縮側で最大主応力、引張側で最小主応力となり、両方向に対称的な応力が作用しないため、ひずみに差が生じている。また、繰返しリング試験は不飽和試料であるため、見かけの粘着力によって拘束圧が低い状態でも強度を発揮していたと考えられる。

単調せん断のみのリング試験 ( $N=0$ ) と繰返しリング試験の  $\sigma_{\text{cycle}}=12.5\text{kPa}$ 、 $15\text{kPa}$  (繰返し回数  $N=151$ 、 $11.5$ ) のせん断応力  $\tau$ -変位  $\delta$  の関係を Fig.5 に示す。 $N=0$  ではピークを超えると軟化傾向がみられるが、繰返し試験では明確なピーク強度を示さず、繰返し回数が大きいほど最大強度の低下は著しい。繰返しによってせん断ひずみが累積し、強度低下を引き起こしたと考えられる。



(a) 主応力差-ひずみ (b) 応力経路

Fig.3 三軸圧縮試験結果 ( $\sigma_d=20\text{kPa}$ ,  $N=30$ )



(a) せん断応力-せん断変位 (b) 応力経路

Fig.4 繰返しリング試験結果 ( $\tau_{\text{cycle}}=14\text{kPa}$ ,  $N=33.5$ )

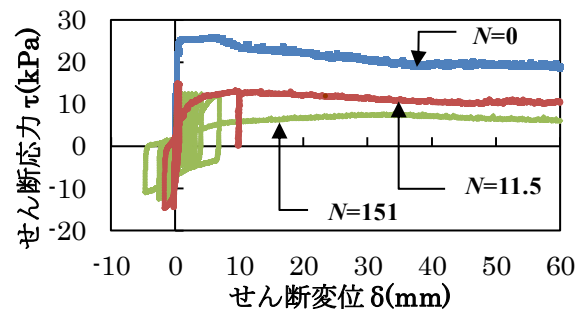


Fig.5 リングせん断試験  $\tau-\delta$  関係

## 5 結論

繰返しリングせん断試験と繰返し三軸圧縮試験による砂の強度・変形特性は概ね一致し、試料の状態等の違いについても明確に捉えることができた。今後は試験機を改良し、飽和状態の試料の強度低下特性や真の残留強度について明らかにし、簡便な繰返し非排水せん断特性を求める試験法を確立する。

## 参考文献

- 1) 田中忠次 (2015) : 堤体の地震時の安定性評価法の問題点、新しい評価法、地盤工学会誌, 63-3 (686), p33-49
- 2) 君嶋 (2019) : リングせん断試験による土の強度特性に関する研究、農業農村工学会大会講演会