

リングせん断試験を用いた地震地すべりにおける層理面の静的および動的残留強度特性

山口大学大学院 学生会員 ○山本 拓矢
 山口大学大学院 正会員 鈴木 素之
 山口大学大学院 学生会員 井上 優朋
 山口大学大学院 学生会員 Hai Nguyen Van

1. はじめに 地震地すべりは砂岩泥岩互層や砂岩シルト岩互層などの層理面をすべり面として発生する。しかし、層理面の静的あるいは動的せん断挙動や強度特性はこれまで必ずしも十分に解明されていない。そこで、層理面での地震時の応力状態を再現するため、層理面を模擬した強度不連続面として固結強度の異なる粘土を貼り合わせた供試体（図-1）を作製して、破壊に至るまでの繰返しせん断挙動および強度特性を調べる実験を進めている¹⁾。本研究では固結および非固結供試体、更にそれらを貼り合わせた供試体に対してそれぞれ圧密・定体積繰返し載荷リングせん断試験を実施し、破壊に至るまでの繰返しせん断挙動について検討した。また、非固結粘土に対して圧密・定圧・定速リングせん断試験を行い、ピーク強度および残留強度特性について検討した。本文では、両リングせん断試験結果に基づいて、非固結、固結および貼り合わせ供試体の破壊に至るまでの繰返しせん断挙動、破壊時の応力比と繰返し回数関係を主に考察した。

2. 研究に用いた土試料 本研究では、試料としてカオリンを用いた。試料の物理的性質は土粒子の密度 $\rho_s=2.672\text{g/m}^3$ 、液性限界 $w_L=78.9\%$ 、塑性指数 37.5、粘土分含有率 90.2%である。圧密・定圧・定速リングせん断試験では外径 10 cm、内径 8 cm、高さ 2 cm の中型環状供試体を用いた。一方、圧密・定体積繰返し載荷リングせん断試験では外径 7 cm、内径 4.2 cm、高さ 2 cm の小型環状供試体を用いた。いずれの供試体も別の圧密容器で予圧密した試料から切り出し、トリミング法により成形した。図-1 に非固結（固結）単一供試体と貼り合わせ供試体の概念図を示している。

3. 試験方法

3.1 圧密・定圧・定速リングせん断試験 この試験では、Bishop 型のリングせん断試験装置を用いて、正規圧密供試体を一定のせん断速度と垂直応力 σ_N のもとでせん断した。試料は非固結カオリンであり、 $\sigma_N=196, 294, 392\text{ kPa}$ の 3 ケース、せん断速度は $0.0005\sim 0.5\text{ rad/min}$ ($0.02\sim 20\text{ mm/min}$) の範囲の 4 ケースで試験を実施した。

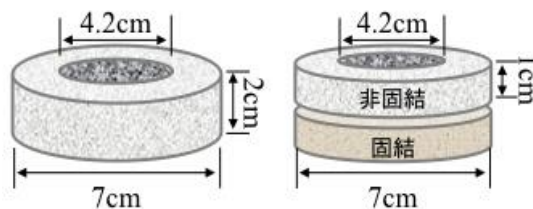


図-1 供試体の概念図

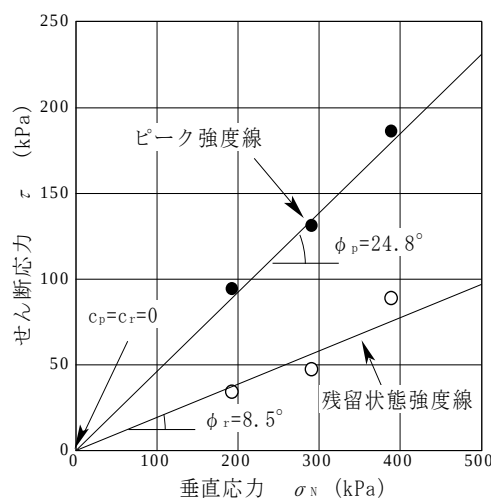


図-2 非固結供試体のピークおよび残留状態強度線

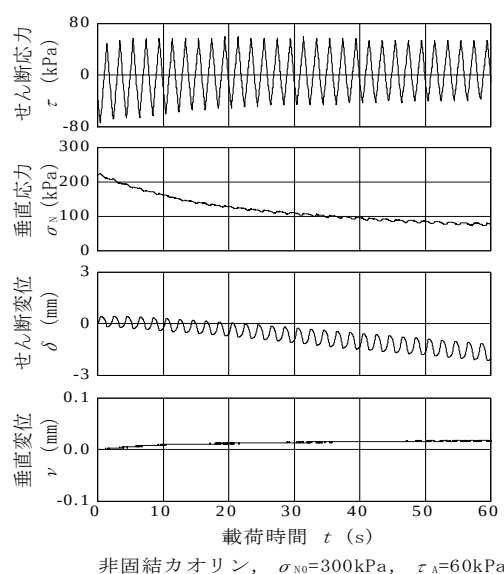


図-3 非固結供試体の時刻歴

キーワード リングせん断試験, 層理面, 残留強度

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学理工学研究科 鈴木素之 TEL 0836-85-9303

3.2 圧密・定体積繰返し载荷リングせん断試験 地震時の繰返し载荷を再現するため、定体積条件で繰返しせん断が可能なるリングせん断試験装置を開発した¹⁾。その装置を用いて正規圧密供試体を所定の垂直応力の下、定体積条件でせん断応力を円周方向に所定の周波数(0.5Hz)で繰返し载荷せん断を行った。非固結、固結および貼り合わせ供試体に対して、異なる複数のせん断応力の下で実施した。なお、試験時の垂直応力は $\sigma_N=100, 200, 300$ kPaとした。

4. 圧密・定圧・定速リングせん断試験結果 図-2 に非固結供試体のピーク時および残留強度線を示す。ピーク時の内部摩擦角 $\phi_p=24.8^\circ$ 、粘着力 $c_p=0$ kPa、残留状態の内部摩擦角 $\phi_r=8.5^\circ$ 、粘着力 $c_r=0$ kPa が得られた。これは既往のカオリンの強度定数と同程度であった。

5. 圧密・定体積繰返し载荷リングせん断試験結果

5.1 応力比と繰返し回数の関係 図-3 に、非固結供試体の場合のせん断初期の垂直応力 $\sigma_{N0}=300$ kPa、せん断応力振幅 $\tau_A=60$ kPa のときの繰返しせん断挙動を示す。せん断応力 τ はせん断開始直後に負の領域でピークを示し、その後一定の振幅となっている。また、垂直変位 v はせん断中常にほぼゼロであり、定体積を保っている。また、 σ_N はせん断開始直後から減少し、その後一定となっている。このことから、せん断に伴い供試体は収縮し、それを抑えるために σ_N は漸次減少しているといえる。せん断変位 δ はせん断開始後徐々に大きくなり、その後、収束している。また、 δ は一方向で進展しており、すべての試料において同様の挙動がみられた。

図-4 に非固結、固結、貼り合わせ供試体の破壊時の応力比 τ/σ_N と繰返し回数 N_f の関係を示す。いずれの供試体においても τ/σ_N の増加に伴い N_f は小さくなる傾向が見られる。また、図示していないが、 σ_N が小さいほど、 N_f - τ/σ_N 曲線は上位に存在した。これは、 τ/σ_N に粘着力成分が考慮されていないためと考えられる。各供試体の強度特性を比較すると $\tau/\sigma_N \sim N_f$ 曲線は貼り合わせ供試体が最も小さく、非固結供試体、固結供試体の順に大きくなった。

5.2 応力比とせん断変位進行速度の関係 図-5 にせん断変位進行速度と応力比の関係を示す。せん断変位進行速度は繰返し载荷時のせん断変位の時刻歴から決定した。ここで、せん断変位の値は供試体の中心軸に対して反時計回りの方向を正と定義した。この図より、応力比が高くなるにつれて、せん断変位が一方向へ発達する速度が大きくなっていることがわかる。この傾向は供試体の違いによらず同様であり、図-4 に示した強度特性と整合している。

6. まとめ 本研究から得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 破壊時の繰返しせん断応力比 τ/σ_N と繰返し回数 N_f の関係において、固結、非固結および貼り合わせ供試体のいずれにおいても τ/σ_N の増加に伴い N_f は小さくなる。
- (2) いずれの供試体においても、初期垂直応力 σ_{N0} が大きいほど N_f - τ/σ_N 曲線は下位になり、破壊時のせん断強度が低くなる。
- (3) 貼り合わせ供試体の N_f - τ/σ_N 曲線は垂直応力の大きさによらず最も低い。
- (4) 応力比が高くなるにつれて、せん断変位の進行速度が大きくなった。

【参考文献】1) 大谷直毅，鈴木素之，杉村尚樹，山本拓矢：層理面を模擬した強度不連続面の繰返しリングせん断挙動，第49回地盤工学会研究発表会，pp.1683-1684，2014。

謝辞：本研究は科研費・基盤研究(C)(研究課題番号：23560591，代表者：鈴木素之)の助成を受けて実施した。

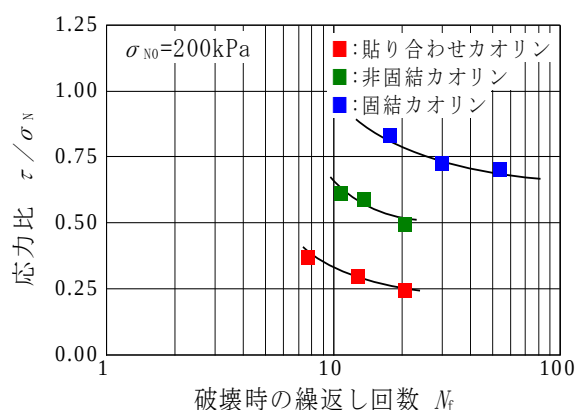


図-4 貼り合わせ供試体のせん断応力比と破壊時の繰返し回数の関係($\sigma_{N0}=200$ kPa)

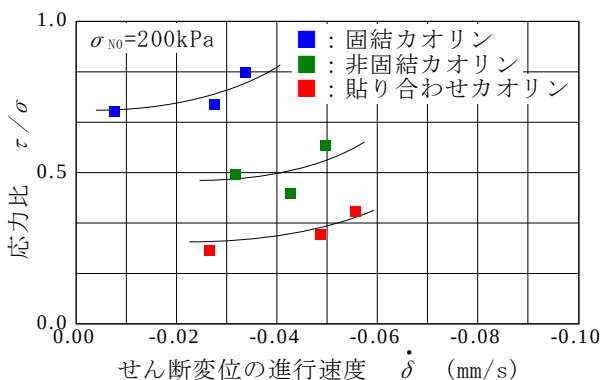


図-5 せん断変位の進行速度と応力比の関係($\sigma_{N0}=200$ kPa)