

静・動的載荷兼用小型リングせん断試験機による静的試験方法の確立

山口大学大学院 学生会員 ○上鶴瀬 一真

山口大学大学院 正会員 鈴木 素之

1. はじめに

静的および動的載荷試験が同一の試験機で可能となる小型リングせん断試験機を導入した。主な改良部分は動的試験の発振設定のデジタル化と載荷速度領域の広範囲化されたことである。これにより精度の高い制御の下での試験結果が得られることが期待される。加えて不攪乱試料を用いた小型環状供試体の静的・動的リングせん断試験はこれまでにほとんど行われていない。これより、本研究では、不攪乱試料の強度特性・せん断挙動を明らかにするために、本試験機を用いた静的・動的試験方法の確立を目的とした。現在、供試体サイズが世界最小レベルのものに対する従来の試験方法の適用性が検証されておらず、データ整理法なども確立されていない。そこで、本研究ではせん断挙動が既知の試料¹⁾を用いて小型リングせん断試験を行い、中型リングせん断試験結果の比較により、本試験機を用いた静的試験方法の妥当性を検証した。

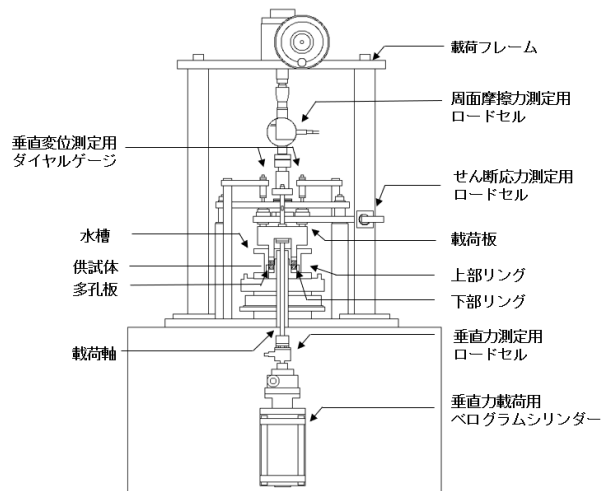


図-1 静・動的載荷兼用小型リングせん断試験装置(模式図)

表-1 土試料の物理特性¹⁾

試料名	ρ_s (g/cm ³)	w _L (%)	w _p (%)	I _p	F _{clay} (%)
白石 A	2.710	70.9	45.9	25.0	24.0

2. 静・動的載荷兼用小型リングせん断試験機

図-1 に静・動的載荷兼用小型リングせん断試験装置を示す。

測定項目はせん断荷重、垂直荷重、垂直変位および周面摩擦力である。

各測定値はデータロガーによって記録される。本装置はハーモニックドライブ方式の載荷システムを採用しており、単調載荷の場合は変位制御、動的載荷の場合はトルク制御(荷重制御)による載荷が可能となる。静的試験はせん断変位速度とせん断打ち切り時の角度の数値を設定した後、正転あるいは反転で単調載荷を開始する。載荷速度は動的試験に対応するため、既設の中型リングせん断試験装置の載荷速度よりも広範な載荷速度領域(0.001～1350.000deg/min)まで載荷速度を変化させることができる。動的試験はトルク制御(荷重制御)または角度制御で行う。せん断の正転範囲は+0.01deg～+9000deg、反転範囲は-0.01～+9000degである。発振回数は99,999,999回まで設定可能である。本試験機は発振の振幅・周波数・波形などの設定をデジタル化することで、理想的な繰返しせん断を行うことができる。

3. 試験方法

今回用いた試料は地すべり斜面で採取された白石 A¹⁾である。白石 A の物理的性質を表-1 に示している。供試体は、試料の含水比が液性限界の1.2倍となるように純水を加えて練り返し、予圧密法により作成した。予圧密圧力はせん断試験機の圧密応力の大きさの85%とした。予圧密の打ち切り時間は3t法により決定した。その後、トリミング法を用いて外径7.0cm、内径4.2cm、高さ2cmの小型環状供試体に成形した。成形した供試体をせん断箱に設置し、60分間圧密した。なお、圧密打ち切り時間は同様3t法によって確認している。

せん断試験の打ち切り時のせん断変位に依存しないよう客観的に残留強度を決定するために、最大応力比後の応力比とせん断変位角の実施値に対して双曲線近似を適用し、その漸近値を残留状態の応力比と決定する方法を用いた²⁾。また、せん断面上の垂直応力は測定したリング周面摩擦を考慮して算出した²⁾。

キーワード リングせん断試験機, 残留強度, 地すべり

4. 試験結果

試験ケースはせん断変位速度を 0.5mm/min, 垂直応力をせん断初期垂直応力 $\sigma_{N0} = 58.8\text{kPa}$, 78.4kPa , 98kPa の 3 パターンとした. 最大せん断変位角は 450deg (せん断変位 220mm に相当) とした. 供試体寸法の違いを統一的に整理するためにせん断変位ではなく, せん断変位角 θ を用いた.

図-2 に白石 A のせん断応力 τ , 応力比 τ/σ_N , 垂直変位 v , 垂直応力変化割合 σ_N/σ_{N0} および θ の関係を示す. $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ のケースでは τ はせん断開始直後にピーク値をとり, その後急速に低下し, 残留状態に達している. 一方, $\sigma_{N0} = 58.8\text{kPa}$, 78.4kPa のケースにおける τ , τ/σ_N と θ の関係には変動がみられ, 残留状態に達しているかは判断できなかった. $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ のケースにおいて, σ_N/σ_{N0} と θ の関係において変動は小さいことから, 垂直応力が一定で試験が行われていたが $\sigma_{N0} = 58.8\text{kPa}$, 78.4kPa のケースでは変動が大きく, 定圧条件が保たれたとは言い難い. 一方, せん断時の供試体の体積変化をみると (v は正が収縮, 負が膨張としている), $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ のケースでは v 単調に増加しているの, 供試体は収縮しているが, それ以外のケースでは収縮が小さいことから, 何らかの問題があったと考えられる.

図-3 に中型リングせん断試験機を用いて $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ 他で行った白石 A の既往データ¹⁾に $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ のデータをプロットした. $\sigma_N/\sigma_{N0} \sim \theta$ 関係にわずかな違いはあるものの, せん断挙動は中型供試体データとおおむね同じ挙動であった.

図-4 にピークおよび残留状態の強度線を示す. 縦軸に τ , 横軸に σ_N をとって, 既存データと本試験データを比較した. これらの実測値に対して近似したものがピーク強度線および残留強度線である. $\sigma_{N0} = 58.8\text{kPa}$, 78.4kPa とともに残留強度がピーク強度を上回ったのはせん断応力がピーク値に達した後, 残留状態とはならなかったためである. 残留状態が得られた $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ においては既存データとピーク強度は若干異なったが, 残留強度はほぼ同じであり, 同様の応力経路を示していた.

5. 結論

本試験機を用いてせん断速度を一定として拘束圧を変化させた複数の条件で小型リングせん断試験を行い, 試験方法が確立されている中型リングせん断試験の結果との比較を行った. $\sigma_{N0} = 98\text{kPa}$ において垂直応力は一定の条件でせん断挙動は残留状態に達していることが確認できた. また, せん断挙動・応力経路も概ね同様の挙動を示した. これらの結果をもとに静・動的载荷兼用小型リングせん断試験装置を用いた静的試験方法は中型リングせん断試験の方法とデータ整理法を採用しても大筋問題ないことがわかった.

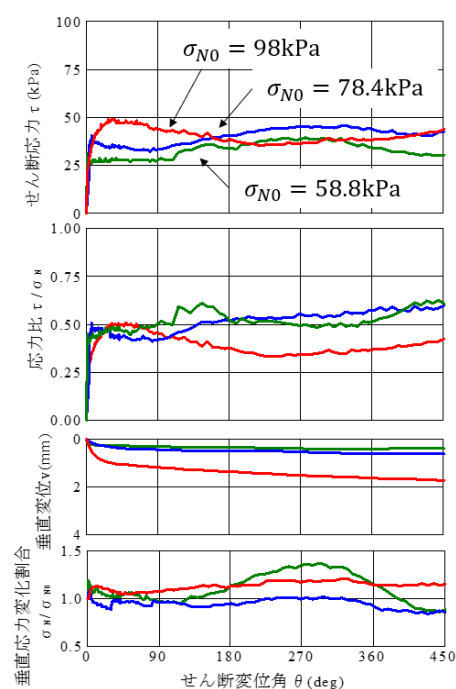


図-2 白石 A のせん断挙動

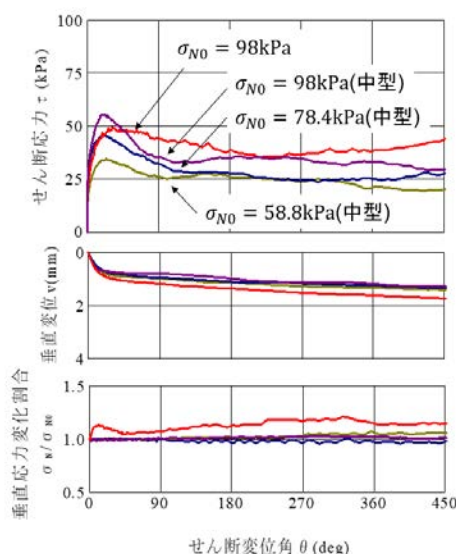


図-3 せん断挙動の比較

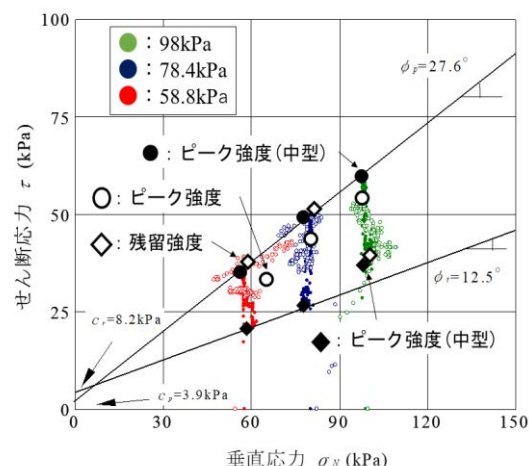


図-4 応力経路の比較

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H01519 の助成を受けたものです．ここに記して関係各位に謝意を表します．

参考文献

- 1) 時松那留, 鈴木素之, 宮前知弘, 阪口和之, 落合達也: 花崗閃緑岩斜面の地すべり再発メカニズムと土質特性に関する考察, 第 54 回地盤工学研究発表会, 発表講演集. pp, 1835-1836, 2019.
- 2) 鈴木素之, 梅崎健夫, 川上 浩: リングせん断試験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.