

再構成粘土の繰返し単純せん断試験とそのシミュレーション

名城大学	正会員	小高 猛司
名城大学	正会員	板橋 一雄
ジェイアール東海コンサルタンツ(株)	正会員	○大嶽信二郎
元名城大学生		三宅 昌紀

1. はじめに

自然堆積粘土供試体の繰返し載荷時の変形・強度特性を正確かつ簡便に把握することを目的として、チューブサンプリング試料でも容易に試験が実施できる単純せん断試験機を試作して検討を行っている¹⁾。本報では、自然堆積粘土の前段として再構成粘土を用いた単調ならびに繰返し単純せん断試験の結果とともに、その特長を示す。また、この種の試験機では単純せん断変形の実現は難しいと言われているため、水-土骨格連成有限要素解析を用いて単純せん断試験のシミュレーションを実施することにより、供試体側面の拘束条件の違いが供試体内部の不均一性に及ぼす影響について考察も行った。

2. 実験試料と実験方法

実験試料は深草粘土であり、スラリー状に練り返した後、十分に脱気を行ってから100kPaで一次元的に予圧密した。その粘土を直径60mm、高さ30mmの供試体に成形し、圧力セルに設置した。設置後の供試体は二重負圧法で脱気し、有効拘束圧200kPa、背圧200kPaで等方圧密した後、等体積条件を正確に保持するために、垂直変位を固定して非排水せん断を行った。なお、せん断時に単純せん断モードを維持するように、供試体をメンブレンの外側から多層スリップリングで取り囲み、せん断方向に対して等変位に変形するように拘束している¹⁾。多層スリップリングとは、厚さ1mmの金属製のドーナツ状のリングであり、摩擦軽減のための皮膜が施してあり、それを30枚重ねて、せん断変形時の供試体側面の断面を拘束するものである。

3. 実験結果

図1は載荷速度0.1(%/min)の単調載荷試験結果であり、三軸試験結果も示している。三軸試験と単純せん断試験を比較するために、縦軸には偏差応力テンソルの第2不変量 $\sqrt{2J_2}$ を用いている。図(a)の応力～ひずみ関係におけるひずみは偏差ひずみテンソルの第2不変量 ε_s を用いている。この曲線をみると三軸試験の方が、単純せん断試験よりも最大応力は大きい値を示している。また、単純せん断試験の場合にはせん断面の発生により急激にひずみ軟化挙動が現れている。一方図(b)の有効応力経路を見ると、三軸試験、単純せん断試験ともにせん断初期には、正規圧密土的な塑性圧縮を示

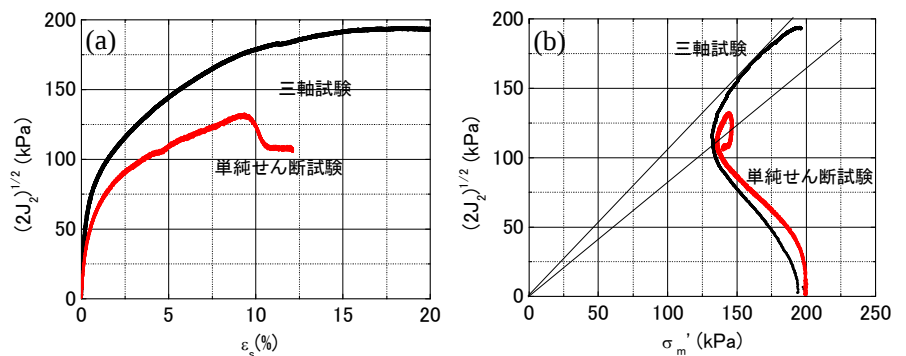


図1 単調載荷試験結果；(a)応力～ひずみ関係、(b)有効応力経路

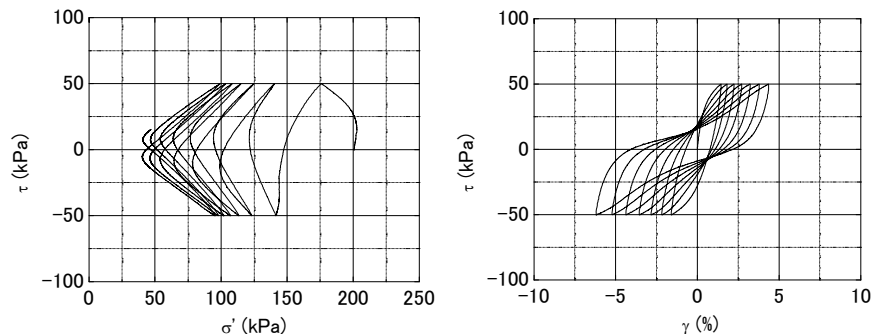


図2 繰返し試験結果；(a)応力～ひずみ関係、(b)有効応力経路

単純せん断，粘土，繰返しせん断，数値シミュレーション

し、その後変相を示して塑性膨張へ転じており、変相するまでは両者は非常に近い有効応力経路となっている。砂分・シルト分が多く含まれていたために、三軸試験においては変相後の硬化が著しく現れている。

図2は繰り返し載荷単純せん断試験の結果であり、応力比 τ/σ'_m が0.25の場合の(a)有効応力経路ならびに(b)応力～ひずみ関係を示したものである。有効応力経路を見ると、いずれの載荷方向に対しても対称形の有効応力経路となり、徐々に有効応力が減少していることがわかる。応力～ひずみ曲線を見ると、

せん断ひずみの増加は両ひずみに対してほぼ均等になっていることがわかる。これらの挙動は圧縮・伸張を伴う三軸試験による繰り返し試験では決して観察できない。図3 は単純せん断試験の繰返し強度曲線である。縦軸は繰返し応力比であり、横軸は両ひずみ振幅が10%となった時の繰返し回数である。砂分・シルト分が多いのを反映して、砂の液状化強度曲線に近く、繰返し強度が若干小さいものとなっている。

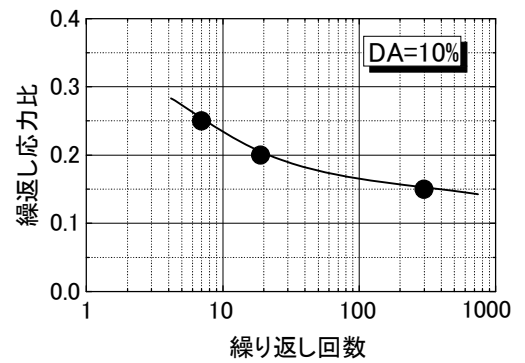


図3 繰返し強度曲線

4. 単純せん断試験の数値シミュレーション

単純せん断試験中の供試体のひずみの不均一性を検討するために数値シミュレーションを実施した。解析には、SYS カムクレイモデルを組み込んだ水－土骨格連成有限要素解析である **GEOASIA** を用いた²⁾。解析領域は供試体の縦横比と同じく幅 6cm×高さ 3cm とし、2次元平面ひずみ条件で解析を実施した。上下端面を鉛直方向に固定し、下端は水平方向にも固定し、上端部全節点のみを強制的に水平移動させた。実験と同様に境界非排水条件とし、供試体とペダスタルとは完全に密着しているものと仮定している。さらに、両側面を完全にフリー(CASE 1)、両側面の同一高さの2節点を等変位に拘束(CASE 2)、の2種類の解析を実施した。

供試体の弾塑性パラメータは、繰返し粘土の標準的な値を用いている。

図4および図5に供試体内の局所偏差ひずみの分布を示す。CASE 1では、せん断初期から若干、局所偏差ひずみに不均一な分布が発生しているが、CASE 2では、せん断が進行しても供試体内の偏差ひずみは均一なままである。

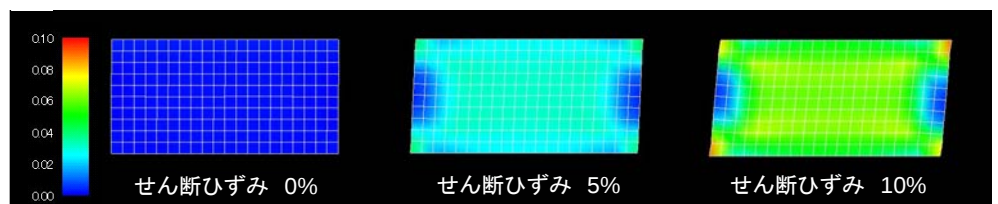


図4 両端面フリー境界の解析結果 (CASE 1)



図5 端面同一高さ2節点拘束境界の解析結果 (CASE 2)

5. まとめ

実際の単純せん断試験では、スリッピングで両端部が拘束されているが、圧密中に体積収縮して供試体との間に若干のあそびが発生するため、完全な等変位拘束境界にあるとも言い難く、今回解析した両条件の中間にあると考えられる。そのため、せん断ひずみが大きくなると供試体内のひずみの不均一性も増えることは注意しておく必要がある。しかし、繰返し載荷時の変形挙動を求めるためには、それほど大きなひずみレベルではないので、大きな問題にはならないと考えている。なお、三軸試験においても、せん断時の供試体の不均一性は避けられないものであることは周知の通りである。今後はより定量的に供試体の不均一性の進展が試験結果に及ぼす影響について検討する必要がある。

参考文献 1) 大嶽ら：単純せん断試験による再構成粘土の繰返しせん断強度，第43回地盤工学研究発表会，2008.
2) Asaoka and Noda, All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on Constitutive Modelling - Development, Implementation, Evaluation, and Application, Hong Kong, China, pp.11-27, 2007.