

間隙水圧増加試験による粘土の変形挙動

(株)ドーコン ○正 会 員 高橋 秀彰
北海道大学大学院 フェロー会員 三田地 利之

1. はじめに

著者らは、地すべりや斜面崩壊現象を支配する要因のうち、特に降雨、融雪等による間隙水圧の増加に着目し、斜面内の応力状態を想定した供試体に対する間隙水圧増加試験¹⁾を行い、試験結果に及ぼす圧密履歴の影響等の検討を行ってきた^{2), 3)}。本研究では、これまで用いてきた試料に加え、地すべり地から採取された粘土について地すべり現象の再現を目的とした試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験条件

2.1 試料

試料は市販の NSF-clay($\rho_s=2.77$, $LL=56$, $PL=28$)および地すべり現場より採取された夕張粘土($\rho_s=2.74$, $LL=55.7$, $PL=31.7$)を用いた。NSF-clay は粉末状の試料、夕張粘土は $425\mu\text{m}$ ふり通過分を、含水比が液性限界の2倍程度になるように蒸留水を加えて攪拌し、アクリルセル内で一次元圧密し、直径50mm、高さ100mmに成形したものを用いた。なお、予圧密圧力は NSF-clay では150kPa、夕張粘土では100kPaである。

2.2 試験装置

試験には通常の三軸試験装置を用い、軸圧、セル圧および背圧の载荷は電空変換器を介してコンピュータ制御により行った。背圧の载荷は二重管ピュレットから周囲ろ紙を介して行った。間隙水圧の測定は供試体底部中央で行った。

2.3 試験概要

想定する斜面内のすべり面上の土の要素の応力変化を三軸試験装置内で再現するため、圧密過程でせん断応力を载荷した供試体に対し、全応力一定の条件で間隙水圧を増加させる試験(Porewater Pressure Generation Test; 以下 PPG 試験)を行った。実際の斜面では過圧密状態が想定されるため、圧密過程では K_0 条件で载荷、除荷を行った。圧密時の载荷速度は $0.5(\text{kPa}/\text{min})$ であり、過圧密想定の場合の先行圧密応力は $\sigma'_y=400(\text{kPa})$ 除荷速度 $-1.0(\text{kPa}/\text{min})$ である。圧密および除荷は全て、3t 法により打ち切った。PPG 試験での背圧の増加速度は $0.1(\text{kPa}/\text{min})$ である。さらに PPG 試験との比較を行う目的で、同一の圧密履歴を与えた供試体について、非排水せん断試験(以下 CU 試験)を行った。せん断は応力制御で行い軸応力の载荷速度は $0.1(\text{kPa}/\text{min})$ である。

3. 試験結果

3.1 間隙水圧を一定速度で増加した試験の結果

圧密過程で所定のせん断応力を载荷した供試体に対して全応力(σ_v , σ_h)一定の条件で間隙水圧の载荷を行うと、図2に示すように応力点は圧密終了時の点から図中の左方向に水平に移動し、限界状態線(C.S.L)に近づく。間隙水圧増加過程初期においては、供試体は有効応力の減少に伴い図2に示すように $e \sim \log p'$ 曲線の膨潤線に沿って弾性的に吸水膨張するが、C.S.L に近づくにつれて塑性変形が生じる。この段階でせん断ひずみ速度が増大することから、本論文では、せん断ひずみ速度 $0.0003(\%/min)$ を示した点を降伏点とし、図3に示す平均有効主応力(p') ~ せん断ひずみ速度($d\epsilon_s/dt$)関係から、降伏点の決定を行った。

PPG 試験における粘土の変形挙動について、NSF-clay の正規圧密 $\sigma'_v=400(\text{kPa})$ と過圧密 OCR2 の試験を例にとって以下に述べる。図4-(a)にせん断ひずみ(ϵ_s) ~ 体積ひずみ(ϵ_v)関係を示す。正規圧密供試体では降伏点以降はほとんど体積ひずみが発生しないのに対し、過圧密供試体で

キーワード 間隙水圧、地すべり、斜面崩壊、三軸試験、せん断

連絡先 〒004-8585 北海道札幌市厚別区厚別中央 1-5-4-1 (株)ドーコン TEL 011-801-1500

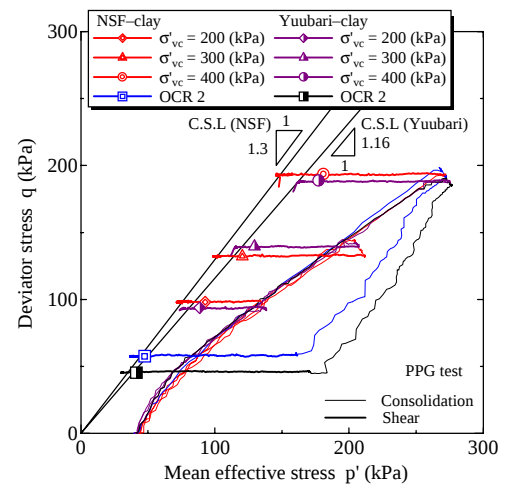


図1 応力経路

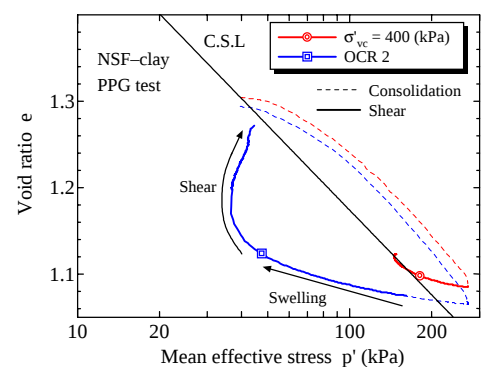


図2 $p' \sim e$ 関係

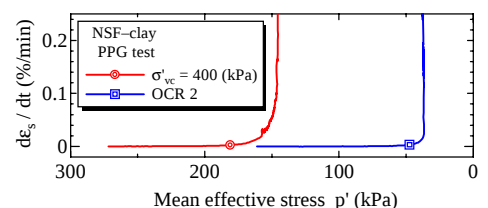


図3 $p' \sim d\epsilon_s/dt$ 関係

は降伏点以降も大きな体積ひずみが発生している。これは、図2に示すように過圧密供試体の PPG 試験では、有効応力の減少に伴う吸水膨張により降伏点は C.S.L から大きく離れた点に位置し、降伏点以降に応力点が C.S.L に向かう際に大きな間隙比の変化が起こっていることが要因と考えられる。本試験では周面ろ紙を介し供試体全体に間隙水圧の载荷を行っているが、このように急激な吸水挙動が発生した場合、供試体内の間隙水圧分布が一樣にならず、変形は局所化していることが考えられる。

図4-(b)に示すせん断ひずみ(ϵ_s)～せん断ひずみ速度($d\epsilon_s/dt$)関係については、CU 試験では正規圧密、過圧密供試体ともにせん断ひずみ速度は徐々に増加し、せん断ひずみが15%を超えたあたりから急増する傾向を示しているのに対し、PPG 試験では正規圧密供試体についてはCU 試験と同様の傾向を示しているが、過圧密供試体ではせん断初期からせん断ひずみ速度が増加している。これは、前述の変形の局所化が要因と考えられる。

図4-(c)にせん断ひずみ(ϵ_s)～応力比($\eta=q/p'$)関係を示す。PPG 試験の過圧密供試体では η に大きなピークが現れており、OCR2 の PPG 試験の η のピークは、OCR16 の CU 試験の η のピークよりも大きいという結果が得られた。PPG 試験では間隙水圧の増加とともに有効応力が減少し、供試体の過圧密化が進行することが要因であると考えられる。

図5に夕張粘土の試験結果を示す。夕張粘土についても NSF-clay と同様に、正規圧密供試体では CU 試験と類似した変形挙動が確認され、過圧密供試体では降伏点以降に大きな体積ひずみが発生すること、せん断初期からせん断ひずみ速度が増加すること、および η のピークは CU 試験よりも大きな値を示すことが確認された。

以上の実験結果は、急激な荷重を受けた際の粘土の破壊挙動に近いものであり、急激な間隙水圧の増加により発生する斜面崩壊現象に近いものであると考えられる。

3.2 間隙水圧の増加を限界状態付近で停止した試験の結果

地すべり現象では、限界状態付近での応力状態の変化により、緩慢な滑動および停止を繰り返しつつ変形が進行しているものと考えられる。しかし、間隙水圧を一定速度で増加し続けた場合、限界状態に到達するのに必要とされる以上の水圧が供試体に载荷されるため、せん断変形の卓越する降伏点以降の応力比で間隙水圧の増加を停止した試験を行った(図6)。図7に示すように、各応力比に対応したせん断ひずみが発生したのち、せん断ひずみ速度は間隙水圧の増加の停止に伴い減少する。限界状態の応力比($\eta=1.3$)やそれに極めて近い応力比($\eta=1.275$)での試験では、一度減少したせん断ひずみ速度が急増し破壊に至っているが、それ以下の応力比では極めて低速でのせん断の進行が見られた。応力制御方法を原位置の状況に近づけることにより、地すべり現象に見られる緩慢なせん断変形が、三軸試験装置内で再現できるものと考えられる。

4. 結論

- 1) 過圧密供試体の PPG 試験では、試験中の供試体の過圧密化により η の最大値が増加する傾向がある。また、せん断変形に伴う急激な吸水挙動により間隙水圧分布が一樣にならず、変形は局所化する傾向がある。
- 2) 一定速度で間隙水圧の増加を行った PPG 試験では、正規圧密供試体については、応力制御による CU 試験と同様の変形挙動を示した。また、限界状態付近で間隙水圧の増加を停止することにより、地すべり現象に見られる低速でのせん断の進行を再現できる可能性を示した。

参考文献

- 1)大塚悟ら：間隙水圧载荷試験による粘性土のせん断破壊機構，地すべり，Vol.37，No.4，2001，pp.10-17
- 2)高橋秀彰ら：異方過圧密履歴を受けた粘土の間隙水圧増加試験における変形挙動，第36回地盤工学研究発表会講演集，2001，pp.269-270
- 3)高橋秀彰，三田地利之：間隙水圧増加試験による地すべり粘土の変形挙動，地盤工学会北海道支部技術報告集，2002，pp.11-16

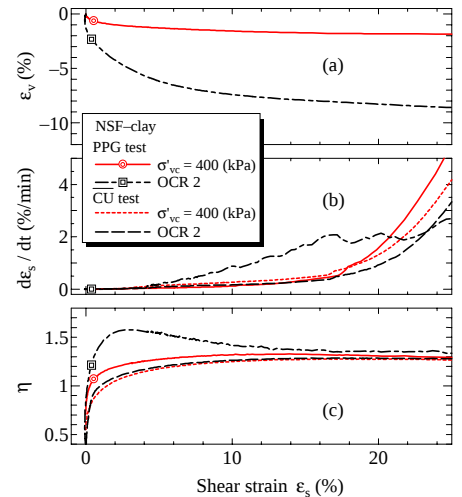


図4 $\epsilon_s \sim \epsilon_v, d\epsilon_s/dt, \eta$ 関係

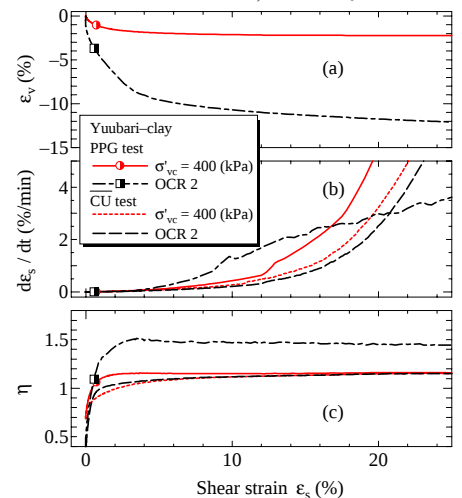


図5 $\epsilon_s \sim \epsilon_v, d\epsilon_s/dt, \eta$ 関係

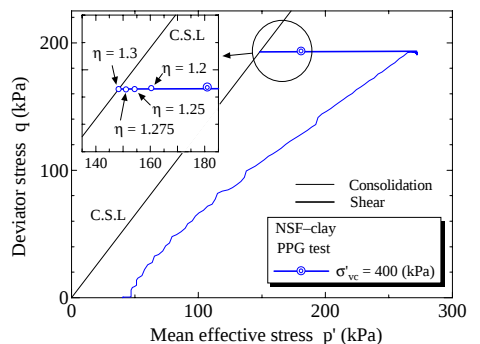


図6 応力経路

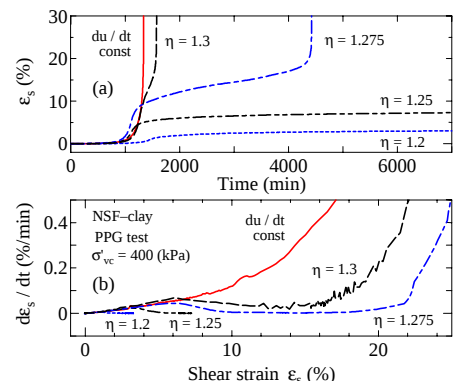


図7 $t \sim \epsilon_s$ 関係, $\epsilon_s \sim d\epsilon_s/dt$ 関係