

京都大学大学院	正会員	岡 二三生
京都大学大学院	正会員	小高 猛司
京都大学大学院	学生員	石垣 成直
京都大学大学院	学生員	○辻 千之

1.はじめに

粘性土ではひずみ速度を変化させて非排水せん断試験を行った場合に、各ひずみ速度固有の応力～ひずみ曲線が存在する Isotaches 性があると指摘されている^{1), 2)}。本報では、練返し粘土を用いて特に限界状態到達前後での粘性土のひずみ速度依存性挙動に着目して三軸圧縮試験を行った結果を述べる。

2.実験概要

実験試料は深草粘土をスラリー状に練返し、98kPa で予圧密再構成したものである。供試体はφ50 mm, h100mm の円柱形である。実験は以下の3種である。I) 単調載荷試験：0.005, 0.05, 0.5%/min の3種類のひずみ速度でせん断、II) ひずみ速度急変試験：0.005 と 0.5%/min のひずみ速度を数回急変、III) 異方圧密非排水せん断試験：異方圧密後 0.005 と 0.5%/min のひずみ速度でせん断。実験 I と II では3軸セルに設置した後、有効拘束圧 200kPa で20時間等方圧密した後に非排水せん断を行った。実験 III では有効拘束圧 80kPa で1.5時間等方圧密した後に、約4時間かけて徐々に q , p' いずれも 120kPa の異方応力状態に到達させた後13時間異方圧密を行い、その後非排水せん断を行った。

3.実験結果および考察

図1は単調載荷試験結果である。軸ひずみが3%程度までの限界状態到達以前においては、ひずみ速度が大きいほど軸差応力が大きくなる、ひずみ速度依存性が明確にわかる。しかし、ひずみレベルが大きくなり限界状態に到達した頃には、応力～ひずみ曲線の規則正しい Isotaches 性が成立しなくなるのがわかる。

図2、図3は軸ひずみ2%までの小ひずみレベルにおける軸差応力～軸ひずみ関係と過剰間隙水圧～軸ひずみ関係を比較したグラフである。過剰間隙水圧～軸ひずみ関係において、ひずみ速度が大きく異なっても、軸差応力のように大きな影響は受けず、どの実験もほとんど同じ曲線を描く。これは、過剰間隙水圧の発生

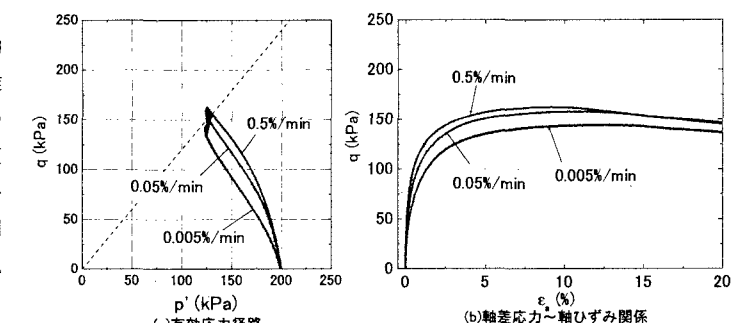


図1 単調載荷試験結果

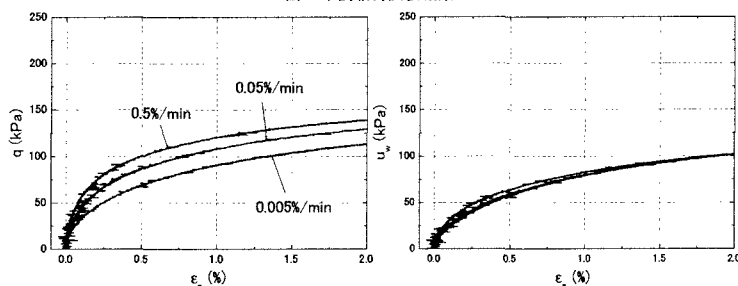


図2 軸差応力～軸ひずみ関係 ($\epsilon_a \leq 2\%$)

図3 過剰間隙水圧～軸ひずみ関係 ($\epsilon_a \leq 2\%$)

が小ひずみ領域においては軸ひずみのみに依存していることを示唆しており、ひずみ速度依存性を大きく受ける軸差応力に依存していない。過剰間隙水圧は、圧縮性材料が変形を受けたときに体積拘束条件を維持するための反力のようなものであるが、これは、実験からも変形量に比例して発生しているものと考えられる。その変形を与えるための力は、ひずみ速度に依存しており、結局、軸差応力はひずみ速度に依存するものの、あくまで応答としての過剰間隙水圧はひずみ速度の依存しない。このような現象は、明らかに土の粘性に起因するものであり、間隙水のマイグレーションだけでは説明できない。なお、過剰間隙水圧が軸ひずみ速度

に依存しないという実験結果はすでに赤井ら³⁾によって示されている。

図4はひずみ速度急変試験結果である。ひずみ速度を急変させると、有効応力経路、応力～ひずみ曲線ともに急激に変化する。図は軸ひずみ3%までの範囲で応力～ひずみ曲線を示したものであるが、限界状態到達前の小ひずみレベルでは、各ひずみ速度固有の曲線が存在する Isotaches 性が確認できる。しかし、図4(b)に示すように限界状態到達後は、ひずみ速度急変直後に各ひずみ速度固有の応力～ひずみ曲線から外れる、龍岡らの指摘する、「飛び出し」、「過落下」が見られた²⁾。その場合には、有効応力経路では、図6より、ひずみ速度を100倍に上げたとき、一気に限界状態線から上側に飛び出し、その後は右下がり徐々に限界状態線に戻ってゆく。また、ひずみ速度を1/100倍に下げたときは、一気に限界状態線の下側に落ち、その後時計回りに円弧の左半分を描くようにして、再び限界状態線に戻ろうとする。これらの現象は、ひずみ速度を急変させたときの急激な弾性応答によるものであり、限界状態線から飛び出して外れた後に、すぐに限界状態線に戻ろうとする一連の挙動が応力～ひずみ曲線の「飛び出し」、「過落下」となって現れている。

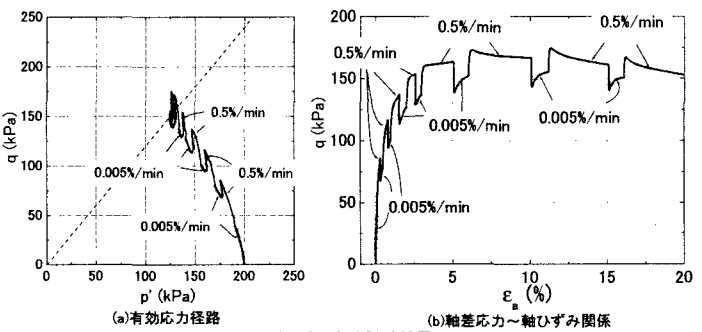


図4 ひずみ速度急変試験結果

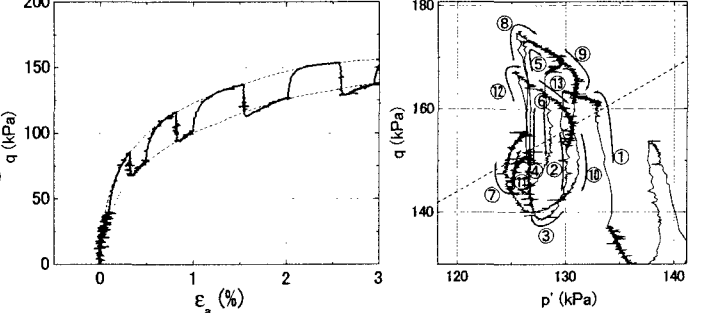


図5 軸差応力～軸ひずみ関係

図6 限界状態線付近の有効応力経路

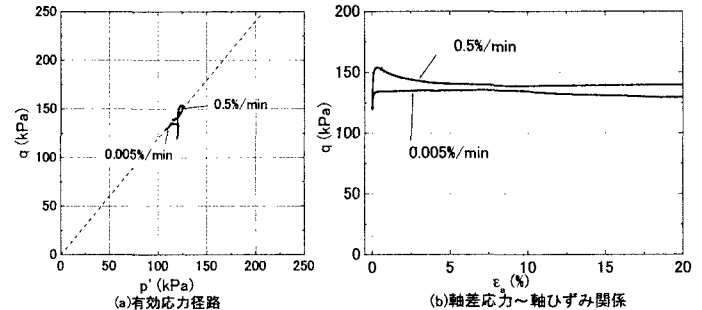


図7 異方圧密非排水せん断試験結果

図7は異方圧密試験結果である。限界状態近傍でのひずみ速度依存性を、供試体が極力均質な状態で観察するために実施した実験であるが、限界状態近傍においては、「飛び出し」のみが観察され、その後は単調載荷試験と同様にひずみ速度が大きく違っていても応力～ひずみ曲線にそれほど大きな違いはない。これは、限界状態到達により内部構造の劣化等を受け、完全非排水条件下でひずみ速度依存性挙動が現れる粘性土固有の性質が失われてくるためであると考えられる。龍岡らは、非排水せん断試験においてはひずみ速度依存性の無い豊浦標準砂においても、「飛び出し」、「過落下」は顕著に表れると述べている。限界状態近傍で「飛び出し」「過落下」が顕著に現れるのも、これらの実験と無関係ではないだろう。

5. まとめ

粘性土の応力～ひずみ曲線におけるひずみ速度依存性、Isotaches 性が確認されるとともに、そのひずみ速度依存性は土の粘性に起因することが確認された。また、これらの現象は限界状態以前において顕著に現れ、限界状態以後ではほとんど現れないことが確認された。

参考文献

- 1) Graham, Crooks & Bell (1983): Time effects on the stress-strain behavior of soft marine clays, *Geotechnique*, 33(3), 327-340.
- 2) 桃谷・石井・龍岡 (1998): 正規圧密粘土における変形特性のひずみ速度依存性と非排水クリープの予測, 第33回地盤工学会研究発表会, 615-616.
- 3) 赤井・足立・安藤(1974): 「飽和粘土の応力-ひずみ-時間関係」, 土木学会論文報告集, 第225号, 53-61