

第 部門

東大阪鋭敏粘土の静的および動的三軸試験

京都大学工学部	学生会員	○澤田 茉伊
京都大学大学院	正会員	小高 猛司
京都大学大学院	フェロー会員	岡二 三生
(財)地域地盤環境研究所	正会員	肥後 陽介
京都大学大学院	学生会員	鈴木 宏尚, 渡部 泰介

1. はじめに

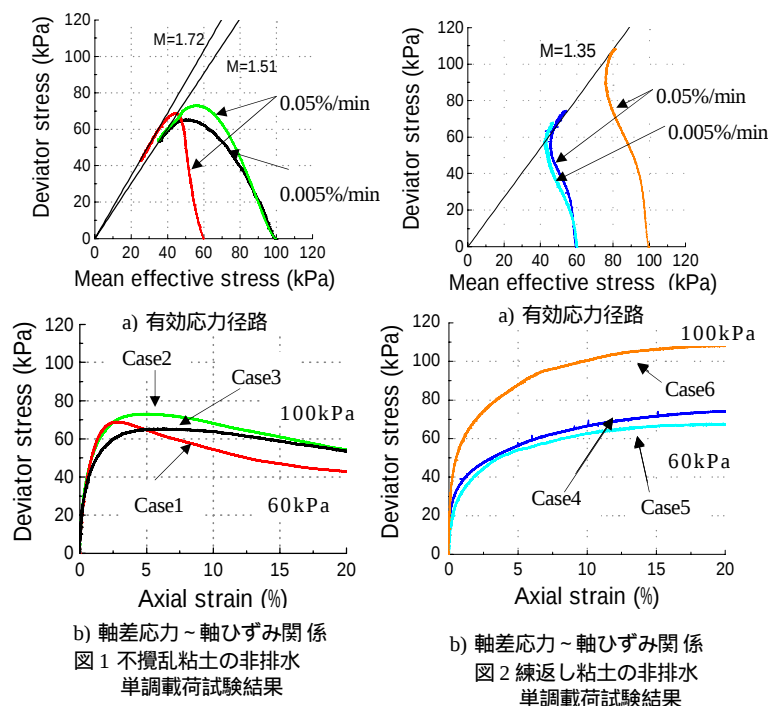
地震時地盤挙動の評価には自然堆積粘土の動的特性を把握することが重要な課題となる。不攪乱状態の鋭敏粘土は比較的大きな剛性，強度を発揮する反面，小さなひずみレベルで軟化に転じ急激な強度低下を呈する。本研究では，東大阪基準ボーリング¹⁾で得た沖積層（Ma13）の不攪乱粘土試料を用いて，静的および動的三軸試験を行い不攪乱粘土の変形・強度特性について考察した。さらに，練り返した攪乱粘土での実験も行い，土の構造の影響についても検討した。

2. 実験に用いた粘土試料と実験の種類

本実験で用いた深度 8.6～10.7m の Ma13 層から採取した東大阪沖積粘土は，塑性指数 57～71（液性限界 94～108%，塑性限界 34～38%，自然含水比 88～102%）の高塑性粘土であり，貝殻や植物片が多数混入していた。この試料の鉛直有効土被り圧は 77～87kPa であり，別途実施した標準圧密試験によって正規圧密粘土であることが確認されている。そのため， K_0 値を考慮して原地盤の平均有効応力を約 60kPa と仮定し，その値を有効拘束圧 p' の基本値として単調および繰返し載荷試験を実施した。また比較のため，圧密降伏応力を超える $p' = 100\text{kPa}$ で単調載荷試験も実施している（ $p' = 60\text{kPa}$ の時 $e = 2.50$ ， $p' = 100\text{kPa}$ の時 $e = 2.11, 2.25$ ）。さらに，試験後の不攪乱粘土をビニール袋に入れて十分に手で練り返して作製した練返し粘土でも実験を行ったが，同じ有効拘束圧で圧密した場合には，練返し粘土は不攪乱粘土のような高い間隙比を維持することができず構造が低位化している（ $p' = 60\text{kPa}$ の時 $e = 1.82, 1.91$ ， $p' = 100\text{kPa}$ の時 $e = 1.66$ ）。

3. 単調載荷試験による変形・強度特性

図 1 は不攪乱粘土の非排水単調荷試験結果である。図中のいずれの Case においてもひずみ軟化挙動が見られるが，有効拘束圧 60kPa の Case 1 が，ピーク強度からの軸差応力の低下量が最も大きく，かつ，ピークに至る軸ひずみは 2.5%程度と最も小さい。原地盤の有効応力に近く，かつ高い間隙比を維持している Case 1 は，有効拘束圧が大きい Case 2 と同等の高いピーク強度を示し，かつ破壊応力比も大きいものの，極めて脆性的な挙動を呈することが特徴である。これは初期に高位な構造を有する粘土ほど，せん断に伴う構造の劣化が大きいことに起因すると考えている。Case 2 と 3 は等方圧密により構造が若干量すでに劣化していると考えられ，脆性的な挙動が弱められていると考えられる。一方，有効拘束圧 100kPa の 2 つ（Case 2，3）を比べると，



せん断初期の構造は多少劣化しているものの、明確なひずみ速度依存性挙動が確認され、ひずみ速度が大きい方がピーク強度は大きくなり、かつ、ひずみ軟化も大きく現れる。

図2は繰返し粘土の非排水単調載荷試験結果である。いずれのCaseにおいてもひずみ硬化のみを呈しており、軸ひずみ5%を超えた付近から軸差応力の増加とともに有効応力が増加に転じている。これは構造の低位化に伴う間隙比の急激な減少により、含有するシルト分などの土粒子のかみ合わせが向上し、正のダイレイタンシーが発生しやすくなったことが原因と考えている。また、有効拘束圧が60kPaのCase4および5の2つにおいて、若干のひずみ速度依存性挙動が見られる。破壊応力比は、繰返し粘土のすべての試験Caseでほぼ一致している。

4. 繰返し載荷試験による変形・強度特性

図3は等方応力状態で実施した繰返し載荷試験で得られた両振幅ひずみ10%における繰返し強度曲線を示したものである。本試験の不攪乱粘土、繰返し粘土の他に、再構成深草粘土(OCR=2.5, 1.0)²⁾および中之島粘土(Ma13)³⁾の結果も比較のために示している。単調載荷試験と異なり、繰返し強度は不攪乱粘土の方がはるかに大きい。再構成深草粘土の試験結果から類推すると、不攪乱粘土は過圧密比2程度に相当するが、繰返し粘土は正規圧密粘土と大きくは変わらない。また、不攪乱粘土、繰返し粘土ともに、繰返し応力比が小さい領域での繰返し強度曲線の傾きが小さく、繰返し変形に対する抵抗が大きいことがわかる。一方、繰返し応力比が大きい領域では繰返し粘土の繰返し強度曲線の傾きが急になっているが、このような傾向は密詰め砂と類似しており、単調載荷試験で観察された正のダイレイタンシーの発生と同じ原因と考えている。

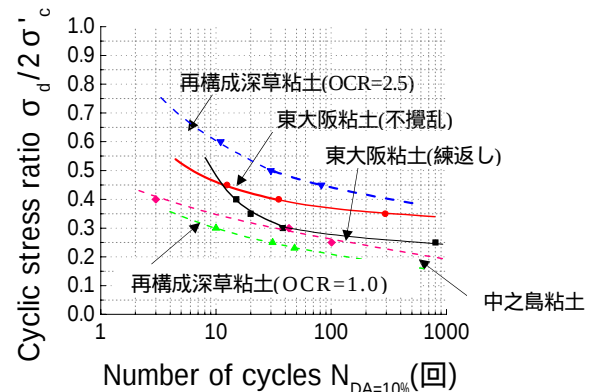


図3 繰返し強度曲線(DA=10%)

図4および5はそれぞれ、不攪乱粘土および繰返し粘土の繰返し応力比0.4における有効応力経路と軸差応力～軸ひずみ関係である。繰返し粘土においては、繰返し載荷毎の軸ひずみの発生量はほぼ同じであるが、不攪乱粘土においては、圧縮側の軸ひずみがある閾値を超えるとひずみが急激に増加する。その閾値は、単調載荷試験でピーク強度を示す軸ひずみ2.5%とほぼ同等であり、繰返し載荷中の急激なひずみの増大は、単調載荷でのひずみ軟化、すなわちせん断に伴う構造の劣化と密接に関連している。

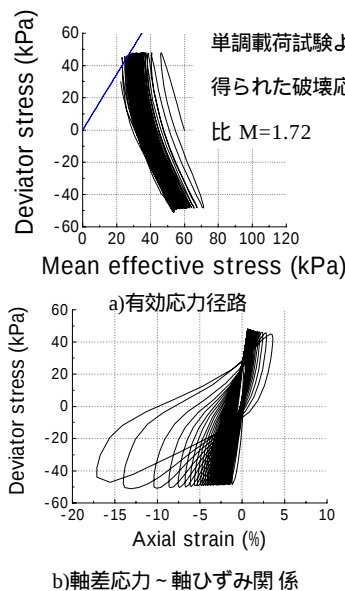


図4 不攪乱粘土の繰返し載荷試験

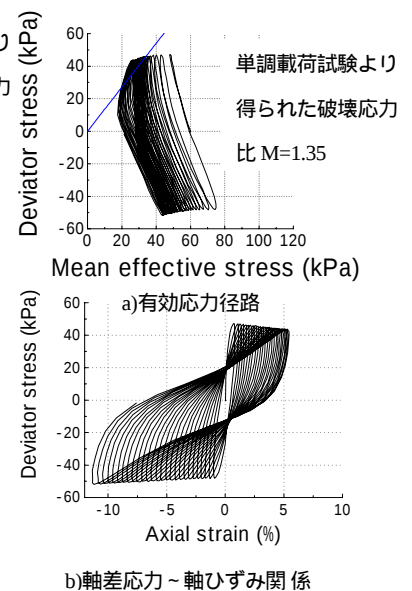


図5 繰返し粘土の繰返し載荷試験

5. まとめ

単調載荷時にひずみ軟化を示すような不攪乱鋭敏粘土は、繰返し載荷時においてもその脆性的な性質に起因して、急激にひずみが発生することがわかった。繰返し載荷の荷重レベルが小さいうちは、繰返し抵抗は過圧密粘土並みに大きいため問題は生じないと考えられるが、破壊の閾値(荷重レベル、繰返し回数、ひずみの蓄積量等)を超えた場合には、より大きな被害が発生する危険性があることも想定しておく必要がある。なお、基準ボーリングは関西圏地盤情報活用協議会「関西圏地盤研究会」によって実施されたものである¹⁾。

参考文献 1) 藤原・肥後・長屋・大島・三村・小高・小田・澁谷: 地盤情報データベースの質的補間 - 東大阪基準ボーリングによる土質工学的特性の詳細検討, 第41回地盤工学研究発表会, 2006. 2) 岡・小高・山村・辻・加藤: 再構成過圧密粘土の繰返し載荷時の変形・強度特性, 第57回土木学会年次学術講演会, 2002. 3) 渡部・岡・小高・木元・谷崎: 自然堆積粘土の単調および繰返し変形特性, 第41回地盤工学研究発表会, 2005.