

Ⅲ - A78

破壊過程における正規圧密粘土の繰返しせん断挙動について

三井建設技術研究所 正会員 山本 陽一
山口大学工学部 正会員 兵動 正幸

1. はじめに

これまでに著者らが行った、等方正規圧密粘土に対する通常の応力振幅一定の非排水繰返し三軸試験から得られる有効応力経路は、最終的に定常なループを描き、過剰間隙水圧は初期拘束圧に等しいまでは上昇しない。低塑性性の粘土では、砂質土のサイクリックモビリティに似た挙動を示し、有効応力がゼロに近いところまで減少する場合もあるが¹⁾、比較的高塑性性であると思われる粘土については、図-1の模式図のような挙動を示すことが多い。この場合、破壊時の過剰間隙水圧 u_f は、せん断応力振幅が小さいほど大きくなる傾向がある。仮に図-1の考え方が成り立つとするならば、応力振幅が限りなく小さくなれば、過剰間隙水圧は初期拘束圧程度まで上昇するのだろうか。また、有効応力がゼロに近いような状態で砂の液状化のように変形が急激に増大するようなことがあるのだろうかという疑問が考えられる。そこで、有効応力が低下した状態での繰返し破壊挙動を把握するために、段階载荷による粘土の非排水繰返し三軸試験を実施したので、その結果を報告する。

2. 試料および試験方法

試験に用いた試料は、不攪乱の有明粘土 ($I_p = 46.4$) である。試験は、供試体を拘束圧 $\sigma'_c = 200\text{kPa}$ で24時間等方圧密した後、非排水状態で図-2に示す3ケースの段階繰返し载荷を行った。ここで、Case1は段階的に繰返し応力振幅を低下させるのみの試験ケースであり、Case2は段階的に繰返し応力振幅を低下させた後に、徐々に応力振幅を増加させた試験ケースである。Case3は、段階的に繰返し応力振幅を低下させた後に、非排水状態を保ったまま単調载荷を行うケースである。ここで、繰返し载荷は、周波数 $f = 0.02\text{Hz}$ の正弦波、単調载荷は $0.1\%/min$ のひずみ速度で実施している。また、間隙水圧は供試体端面において計測している。

3. 試験結果と考察

図-3(a),(b)に、Case1の試験結果としてせん断応力・せん断ひずみ関係と有効応力経路を示した。载荷は、有効応力経路が静的試験より得られた限界状態線 CSL に交わった時点で、応力振幅を減少させ次の段階へと変化させており、このケースでは4段階変化させている。したがって、図のせん断応力・せん断ひずみ関係から分かるように

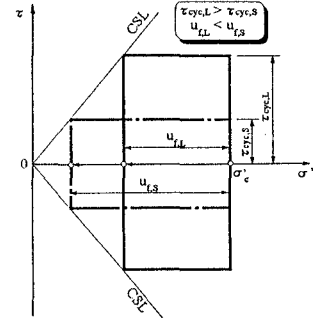


図-1 有効応力経路の模式図

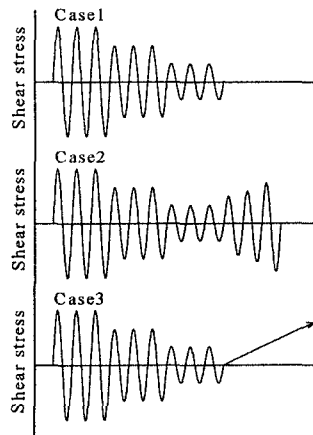
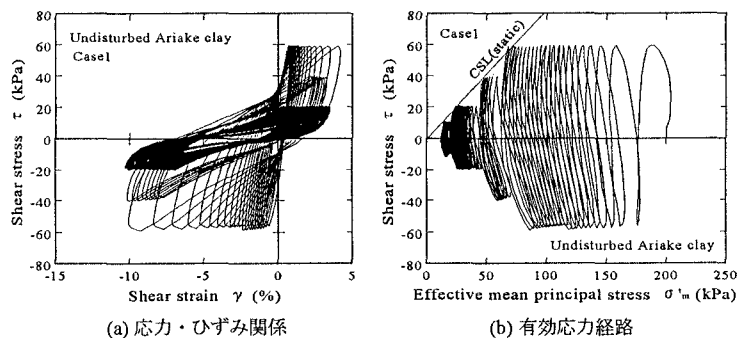


図-2 試験ケース



(a) 応力・ひずみ関係

(b) 有効応力経路

図-3 Case1の試験結果

キーワード 繰返し三軸圧縮試験 段階载荷 粘土

〒270-01 千葉県流山市駒木 518-1 TEL 0471-40-5201 FAX 0471-40-5216

〒755 山口県宇部市常盤台 2557 TEL 0836-35-9939 FAX 0836-35-9429

各段階の最大ひずみ振幅はほぼ等しい状態にある。各載荷段階の残留点における最大過剰間隙水圧比は、第1段階 ($\tau_{qc}/\sigma'_c = 0.30$) で $u_f/\sigma'_c = 0.66$ 、第2段階 ($\tau_{qc}/\sigma'_c = 0.20$) で $u_f/\sigma'_c = 0.77$ 、第3段階 ($\tau_{qc}/\sigma'_c = 0.10$) で $u_f/\sigma'_c = 0.90$ 、第4段階 ($\tau_{qc}/\sigma'_c = 0.05$) で $u_f/\sigma'_c = 0.94$ であった。このように、限界

状態線に達した後に応力振幅を減少させると、最大過剰間隙水圧は増加する一方である。したがって、応力振幅を低下させると、より多くの繰返し回数を必要とするものの、間隙水圧は増加し初期拘束圧に限りなく等しいまで上昇するものと考えられる。この結果は、供試体端部で計測された間隙水圧に基づくものであるが、伊藤ら²⁾や岡本ら³⁾は、比較的高塑性の粘土でも供試体中央部のせん断面付近で計測された過剰間隙水圧は初期拘束圧にほぼ等しいまで上昇することを確認している。この時の有効応力経路は、くの字型の形をしており、図-1の模式図や図-3(b)の有効応力経路に示すような垂直に近い形の挙動は、供試体端部で水圧を計測したことによる間隙水圧伝播の時間遅れによる可能性がある。したがって、図-3(b)から得られた残留点における最大過剰間隙水圧は、応力ピーク点における間隙水圧を見ているに過ぎないのかもしれない。次に、図-4(a),(b)はCase2の試験結果である。このケースでは有効応力を十分低下させた後に、応力振幅を増加させているが、この時の有効応力経路はくの字型の形状をした有効応力の回復が見られる。図-5には、Case3の有効応力経路を示した。このケースではCase2と同じ時点まで有効応力を低下させた後に単調圧縮載荷を行っているが、この場合についてもその経路は有効応力が回復するダイレイト挙動を示している。図-6はさらにCase2、Case3のせん断応力増加段階における有効応力経路を拡大し、重ねて示したものである。Case2の有効応力経路はあたかも砂質土のサイクリックモビリティのような挙動を示している。また、図は有効応力の回復過程における経路が、繰返し載荷、単調載荷とも同一経路上を変化することを示している。通常に応力振幅一定の試験では、有効応力経路が静的試験で得られる限界状態線を大きく越えることはないが、Case2、Case3の結果はいずれもこれを大きく越えている。この時の経路が繰返し載荷と単調載荷で同一であることから、変形増加による供試体の乱れが原因であるとは考え難い。したがって、この結果は低有効応力下における限界状態での応力比が、通常圧の場合よりも大きくなるということを表しているものと思われる。また、応力振幅増加段階においては、図-4(a)の応力ひずみ関係に見られように、有効応力比の増加により変形が著しく発達することが分かる。したがって、Case1のように応力振幅一定の状態

で過剰間隙水圧が仮に初期拘束圧程度まで上昇したとしても、砂の液状化のような急激な剛性劣化は起こさないが、Case2のように有効応力が低下した段階で、せん断応力振幅が増加していくような場合には、液状化相当の大変形に至る可能性が考えられる。また、砂質土でも同じことではあるが、粘土の繰返しせん断による破壊の程度や変形問題を考える場合には、過剰間隙水圧の大きさは問題ではなく、有効応力比の変化、特に応力ピーク点における有効応力比を適切に評価することが重要である。

【参考文献】 1) 兵動他：塑性指数の異なる不攪乱海成粘土の非排水繰返しせん断特性，第30回土質工学研究発表会講演集，1995。 2) 伊藤他：繰返し載荷時における飽和粘土の間隙水圧挙動について，第14回土質工学研究発表会講演集，1979。 3) 岡本他：繰返し載荷時における正規圧密粘土の応力経路と強度について，第40回土木学会年次学術講演会概要集，Ⅲ，1985。

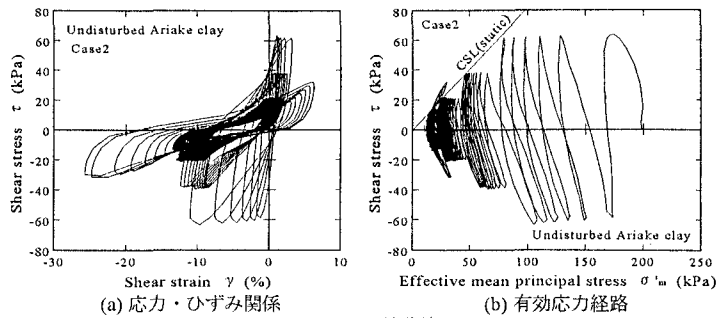


図-4 Case2の試験結果

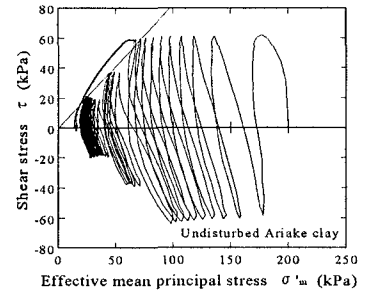


図-5 Case3の試験結果

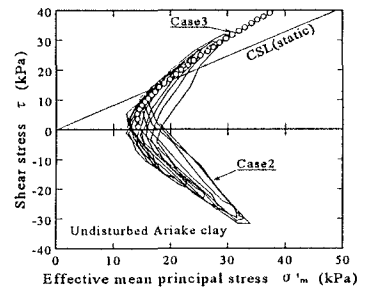


図-6 Case2とCase3の比較