

複雑な載荷過程における粘性土の変形・強度特性

五洋建設
岐阜大学

学生会員

○

加藤 裕隆

坂川 悟

古田 竜一

瀧藤 泰臣

正会員

八嶋 厚

張 鋒

1. はじめに

室内で行われる力学試験の多くは、原位置における地盤要素の変形・強度特性の把握を目的として行われるのが一般的である。しかし、単調三軸圧縮試験などは鉛直一方向の応力を載荷することにより土の力学特性を把握しており、複雑な応力が作用している実地盤と比較すると特殊な応力状態といえる。また、再構成粘性土における実験的研究では、主に正規圧密試料を対象に行われており、過圧密試料を対象とした試験は少ないのが現状である。そこで、本研究では、複雑な載荷過程による、排水中空ねじりせん断試験と排水三軸圧縮試験を正規圧密粘土と過圧密粘土を用いて行い、過圧密粘土の変形・強度特性を把握する。

2. 試験試料および試験方法

本研究では、市販されているパウダー状の深草粘土を用い、液性限界の約2倍の含水量になるよう水分調整し作成した、深草粘土の練り返し再圧密試料を試験試料とした。予備圧密圧力は、98kPaである。この試料の主な物理特性は、土粒子密度 2.678g/cm³、液性限界 64.6%、塑性限界 30.2%、塑性指数 34.4%である。

本研究では、正規圧密粘土試料と過圧密粘土試料に対し、載荷過程を変えた4ケースの排水試験を行う。case1では、平均有効応力 $\sigma'_m = 196\text{kPa}$ まで等方圧密した後、平均有効応力一定条件で偏差応力 $\sqrt{2J_2} = 69\text{kPa}$ まで圧密排水中空ねじりせん断試験を応力制御 ($2.0 \times 10^{-2} (\text{kPa}/\text{min})$) で行う。ついで、側圧一定条件で圧密排水三軸圧縮試験をひずみ速度制御 ($8.3 \times 10^{-4} (\%/ \text{min})$) で行う。case2では、平均有効応力 $\sigma'_m = 196\text{kPa}$ まで等方圧密した後、偏差応力 $\sqrt{2J_2} = 196\text{kPa}$ まで圧密排水三軸圧縮試験を応力制御 ($4.5 \times 10^{-2} (\text{kPa}/\text{min})$) で行う。ついで、側圧一定条件で圧密排水中空ねじりせん断試験をひずみ速度制御 ($8.3 \times 10^{-4} (\%/ \text{min})$) で行う。また、case2では、試験機の都合上、ねじり載荷過程に移る前に、2日間ほど鉛直荷重を保持した。case3, case4では、平均有効応力 $\sigma'_m = 686\text{kPa}$ まで等方圧密した後、平均有効応力 $\sigma'_m = 196\text{kPa}$ まで多段階的に除荷し、過圧密比 3.5 の過圧密状態で試験を行った。case3は、case1と同様の応力経路で試験を行い、case4は、case2と同様の応力経路で試験を行う。また、case3では、試験機の都合上、圧縮載荷過程に移る前に、1日間ほどせん断荷重を保持した。本試験の応力経路を図1に示す。応力比 $\eta = \sqrt{2J_2}/\sigma'_m$ とする。

3. 試験結果と考察

case1 と case3 における比較: 図 2(a)～図 2(e)に case1 と case3 の応力比－軸ひずみ関係、応力比－せん断ひずみ関係、応力比－体積ひずみ関係、有効応力経路、軸ひずみ－体積ひずみ関係の比較を示す。

ねじりせん断過程: 図 2(a), 図 2(e)より、case1 では体積収縮、case3 では体積膨張が生じている。図 2(b)より、せん断ひずみの発生量は case1 に比べ、case3 のせん断ひずみの発生量が少ない。図 2(f)より、応力比が 0.75 のときに発生した case1 の偏差ひずみは、case3 の3倍以上多く発生している。また、case3 のほうが初期剛性は大きいこともわかる。

三軸圧縮載荷過程: 図 2(a)において、case1 では応力比に明瞭なピークは見られず、ひずみ硬化挙動を示しているが、case3 では、軸ひずみの増加に伴い応力比が急激に立ち上がり、ひずみ軟化挙動を示している。また、case1 に比べ、case3 は剛性、強度ともに大きい。case3 で発生したせん断ひずみは、ほぼ 1%以下である。

図 2(e)より、case1 では、圧縮に伴い軸ひずみが発達し、体積収縮している。一方、case3 では、三軸圧縮過程初期に体積が膨張し、その後の応力比の増加に伴い体積収縮に転じるが、0.2%ほどで頭打ちとなっている。

試験全体の考察: 図 2(b)より、case3 では、せん断ひずみの発生が 2.5%ほどであり、case1 と比べて非常に小さい。また、図 2(c)より、case3 の体積ひずみは、-0.8～1%ほどであり、case1 と比べて体積変化が非常に小さい。

以上より、過圧密粘土は正規圧密粘土ほどせん断変形が進まず、三軸圧縮過程での鉛直応力により破壊に至ることがわかった。過圧密粘土の体積変化は、正規圧密粘土と比較すると非常に小さいこともわかった。

case2 と case4 における比較: 図 3(a)～図 3(e)に case2 と case4 の応力比－軸ひずみ関係、応力比－せん断ひずみ関係、応力比－体積ひずみ関係、有効応力経路、軸ひずみ－体積ひずみ関係の比較を示す。

三軸圧縮載荷過程: 図 3(a)より、case2 においては、応力比の増加に伴い軸ひずみが発生するが、case4 では、軸ひずみが 0.2%ほどであり、ほとんど軸ひずみが発生していない。図 3(c)の応力比－体積ひずみ関係では、case2 において、圧縮応力の増加に伴い体積が収縮しているが、case4 では、ほとんど体積が変化していない。また、図 3(a)の応力比－軸ひずみ関係と図 3(c)の応力比－体積ひずみ関係において、case2 ではクリープ現象により軸ひずみが 0.6%ほど発生している。またそれに伴って、体積ひずみもほぼ同程度のひずみが発生している。

ねじりせん断載荷過程: 図 3(a)より、case2 ではせん断応力の増加にともない軸ひずみがほぼ線形的に増加している。一方、case4 では、応力比が急激に増加し、軸ひずみ 0.7%で応力比がピークを迎えている。その後、軸ひずみは発達する

キーワード 複雑な載荷過程、過圧密粘土、圧密排水中空ねじり試験、圧密排水三軸圧縮試験

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL 058-293-2422

が応力比は頭打ちとなっている。図 3(b)より, case4 は case2 より初期剛性が大きく, 応力比が急激に立ち上がっているが, 早くに応力比がピークを迎え, 頭打ちになるため, せん断ひずみが 7.5%を超えた時点で case2 の強度が case4 より大きくなっている。図 3(c)より, case2 は体積収縮であるのに対し, case4 では体積が膨張している。また, 図 3(e)の体積ひずみー軸ひずみ関係より, case2 では軸ひずみと体積ひずみがほぼ 1:1 の勾配で増加するのに対し, case4 では軸ひずみの増加に伴い, 急激に体積が膨張し, 早いうちに頭打ちとなっている。

試験全体の考察: case2 では, 偏差応力に明瞭なピークがなくひずみ硬化挙動を示した。一方, case4 では, 偏差応力がせん断初期に急激に増加し, 早いうちに頭打ちとなった。正規圧密粘土である case2 は, 三軸圧縮過程だけでなく, ねじりせん断過程に移行した後も, 上載圧の影響を受けて軸ひずみが発達する挙動を示した。一方, 過圧密粘土である case4 は, 三軸圧縮過程では, ほとんど軸ひずみが発生しないが, ねじりせん断過程に移行後, ねじりせん断力により剛性が低下し, 軸ひずみが発達するという挙動の違いが確認できた。また, 正規圧密粘土は載荷過程が変化しても体積収縮する傾向が確認できた。過圧密粘土では, 三軸圧縮過程では, ほとんど体積変化がないが, ねじりせん断過程に移行してからは, 過圧密粘土特有のせん断に伴う体積膨張挙動が確認できた。

4. まとめ

本研究のまとめとして, 以下のことがわかった。

- 1) ねじり載荷後圧縮載荷を行う case1, case3 より, 過圧密粘土は, 圧縮過程に移行した後は, 正規圧密粘土ほどせん断変形が進まず, 鉛直方向の応力によって破壊に至ることがわかった。体積変化は, 正規圧密粘土と比較すると非常に小さいこともわかった。
- 2) 圧縮載荷後ねじり載荷を行う case2, case4 より, 正規圧密粘土は, ねじり載荷過程に移行した後も, 上載圧の影響を受けて軸ひずみが発達することがわかった。一方, 過圧密粘土は, 圧縮載荷過程では, ほとんど軸ひずみの発生が見られませんが, ねじりせん断力が作用し, 剛性が低下してから軸ひずみが発達するという挙動の違いが確認できた。

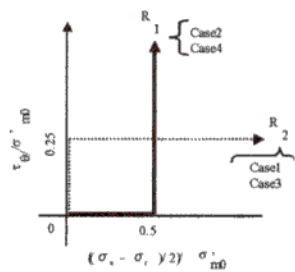


図 1 各試験の応力経路

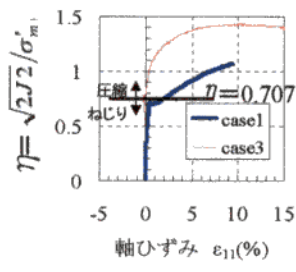


図 2(a) 応力比ー軸ひずみ関係

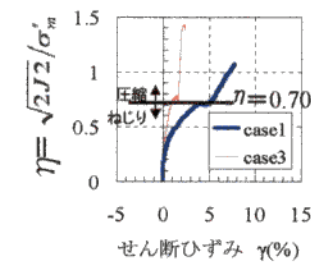


図 2(b) 応力比ーせん断ひずみ関係

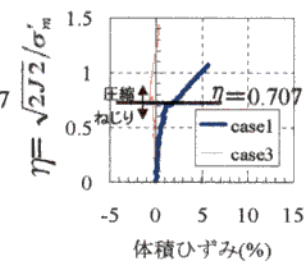


図 2(c) 応力比ー体積ひずみ関係

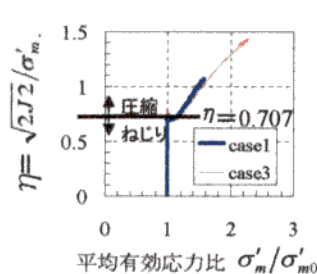


図 2(d) 有効応力経路

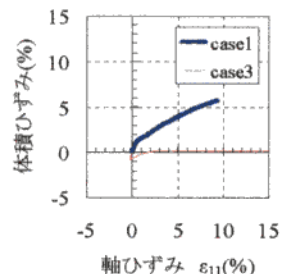


図 2(e) 軸ひずみー体積ひずみ関係

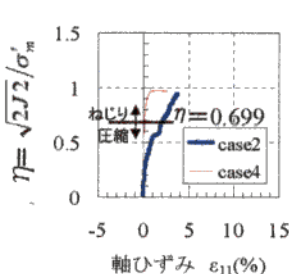


図 3(a) 応力比ー軸ひずみ関係

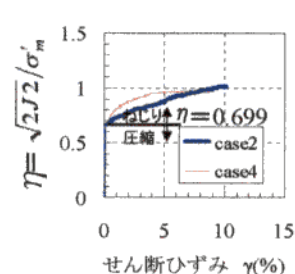


図 3(b) 応力比ーせん断ひずみ関係

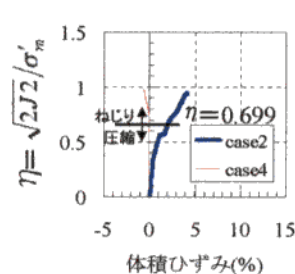


図 3(c) 応力比ー体積ひずみ関係

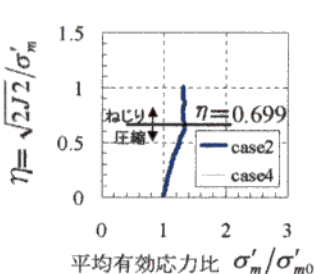


図 3(d) 有効応力経路

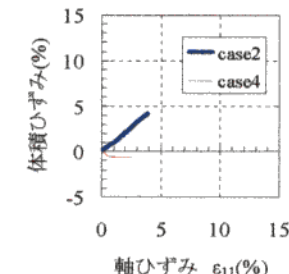


図 3(e) 軸ひずみー体積ひずみ関係