

京都大学 正会員 岡二三生
京都大学 正会員 小高猛司
京都大学 学生員 肥後陽介
京都大学 学生員 〇田久 勉

1. はじめに

近年のコンピューターの発達は見覚しく、パソコンレベルでも地盤材料の変形の局所化を考慮した変形および安定解析を三次元で行なえるようになってきた¹⁾。そこで本研究では、三次元解析との対応を想定しつつ、練返し粘土の角柱供試体を用いて非排水三軸試験を行ない、実験中に撮影した供試体の写真を画像解析することにより、変形の局所化を伴う、破壊の進展の様子を観察した。角柱供試体を用いたのは、通常の円柱供試体と比べ、三次元解析での境界条件の設定が容易であることは言うまでもないが、無限の対称軸を有する円柱形状とは異なり水平断面における対称性が低いために、分岐に伴う局所化の様子を目視で容易に捉えることができる。また、その目視の結果を定量化して扱う事も可能である。

2. 実験と画像解析の方法

練り直し正規圧密粘土を用いて、表 1、図 1 に示した寸法の角柱供試体を作製し、三軸セル内で有効拘束圧 196kPa(セル圧 392kPa 背圧 196kPa)で等方圧密した後、セル圧一定で軸ひずみ制御(軸ひずみ速度は各寸法 0.01, 0.1, 1.0%/min の 3 種類)の非排水三軸圧縮試験を行なった。また各実験において、5mm 角の格子状メッシュが描かれたゴムスリープを用いて軸圧縮に伴う供試体表面に現れる変形の様子を観察した。载荷中は供試体の 4 側面中の 2 面を軸ひずみ 2%ごとに写真撮影し、実験後その写真をパソコンに取り込み、画像処理を行った。具体的には、上部ペダスタルの不動点を基準とした直交座標を設定し、画像処理ソフトで拡大した格子

表 1 供試体寸法 (⑥は円柱)

CASE	縦×横 (cm)	高さ (cm)
①	3.5×3.5	10
②	4×4	8
③	4×4	12
④	4×2	8
⑤	4×4	4
⑥	直径 5	10

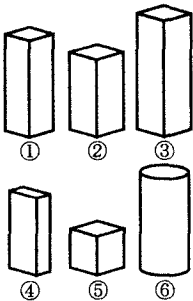


図 1 供試体寸法

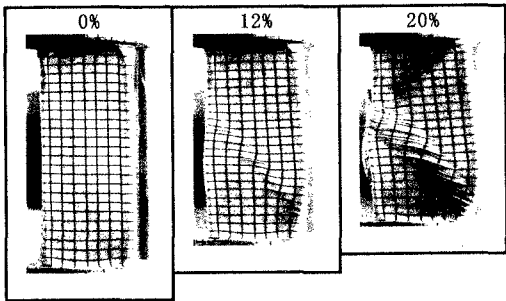


図 2 CASE③-1 の変形の様子

点の中心の座標を読みとって記録した。図 2 はせん断中の変形の様子である。こうして得られた各ひずみレベルでの供試体側面の座標をもとに、各節点の初期の座標からの変位を求め、4 節点 4 角形要素を設定し、各要素内のせん断ひずみを計算した。その際、当然 3 次元的に奥行き方向にひずみが発生していると考えられるが、この計算では平面ひずみ条件で近似した。なお、全要素非圧縮条件を用いても計算しているが、せん断ひずみの絶対量がわずかに異なるものの、分布形状はほとんど同じであることを別途確かめている。

3. 実験結果

図3は同じ形状の供試体(CASE③4×4×12)を用い、異なる载荷速度で比較した場合の軸差応力～軸ひずみ関係である。また、図4には画像解析で求められた、それぞれの供試体の軸圧縮に伴うせん断ひずみの分布が示してある。いずれの供試体においても、明瞭なせん断面が観察されており、その部分のせん断ひずみは100%を超えている。一般に、粘土供試体には载荷速度が大きくなるにしたがい、発揮するせん断強度が大きくなる速度効果があると言われているが、本実験においては、図3に示すように最も载荷速度が大きいCASE③-2(1.0%/min)が、初期接線勾配は最も大きいものの、最終的な軸差応力は小さくなった。図3と図4を見比べると、いずれの実験も

Fusao OKA, Takeshi KODAKA, Yosuke HIGO, Tsutomu TAKYU

図3において軸差応力の急激な低下が見られるときに、図4のせん断ひずみ分布においては新たなせん断面の発生が確認できる。ここで、供試体の変形形状に注目すると、CASE③-2は大きく「くの字」型に曲がる変形モードであり、供試体上下からちょうど中間までのびる2面のせん断面が卓越して発生している。一方、他のCASEでは供試体の上から下まで貫くせん断面が発生していた。「くの字」型のモードのCASE③-2では、くの字に折れ曲がる兆候が見えた軸ひずみ10%付近ではすでに軸差応力は明確に減少して来ているが、それ以外のCASEでは全般的に軸差応力～軸ひずみ曲線の挙動はよく似ている。浅岡²⁾は、载荷速度が大きいと「くの字」型の変形モードとなり、軸差応力は大きくなると報告している。しかし本実験では、確かに载荷速度が大きいと「くの字」型の変形モードになる率は高いが、最終的な軸差応力は逆に小さくなった。

次に、異なる寸法の供試体を用いて、同じ载荷速度で得られた軸差応力(断面補正なし)～軸変位関係を図5を示す。供試体寸法および形状が異なるために、それらに大きく依存する断面補正や軸ひずみの計算はせずに、材料が発揮するそのままの「荷重～変位」関係を示している。図5ではすべての供試体がある一点から分岐しているのがわかる。それ以前では、すべての供試体がほぼ弾性的に挙動しており、各供試体が塑性挙動を見せ始めるのはその一点から分かれてからである。また、軸荷重の測定値にノイズが顕著に入りだすのも、その分岐以降であった。分岐現象は、要素レベルの問題ではなく、あくまでも供試体の形状、寸法等に大きく左右される境界値問題であることを鑑みると、図5のような整理が妥当であろう。供試体断面が長方形であるCASE④が最も不安定な挙動を示し、分岐後に軸差応力が常にもっとも小さくなった。供試体断面が等しく正方形のCASE②③⑤では、最も供試体長の大きいCASE③の軸差応力が小さくなり、その供試体の2/3および1/3であるCASE②および⑤では、ほぼ同じであった。

4.まとめ

せん断帯の発生と軸差応力には密接な関係があり、表面にせん断帯が表れるとき軸差応力の低下が必ず起こることが、せん断ひずみを算定しその変形挙動を定量化することにより明らかになった。今回示さなかった、他の供試体のせん断帯の観察結果等については、別の機会に示す予定である。

《参考文献》

- 1) Oka, F., Jiang, M. and Higo, Y.: Effects of In homogeneity and permeability on strain localization of clay, 第35回地盤工学研究発表会, 投稿中, 2000.
- 2) 浅岡顕・中野正樹・野田利弘・金田一広・高井洋澄: 角柱正規圧密粘土供試体の分岐・分岐後挙動の解析, 土木学会年講概要集, III-A65, pp130-131, 1999.

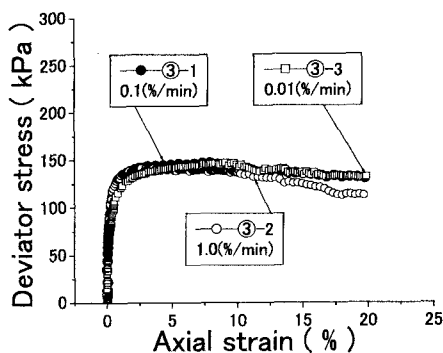


図3 CASE③の軸差応力～軸ひずみ関係

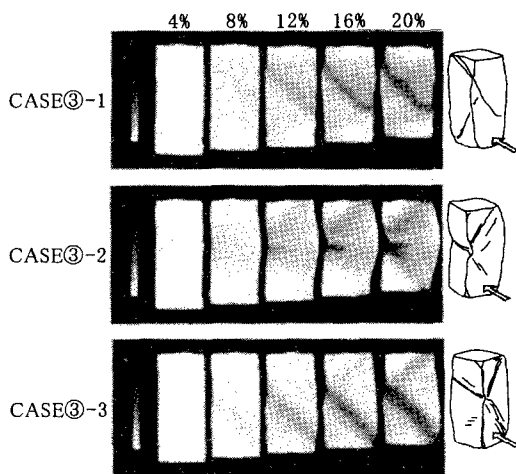


図4 CASE③のせん断ひずみ分布とスケッチ

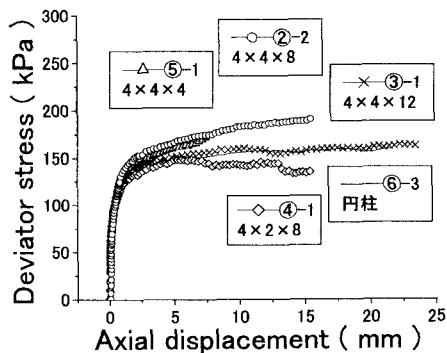


図5 軸差応力(断面補正なし)～軸変位関係