

角柱飽和粘土の非排水三軸圧縮時における供試体内部の挙動

○正会員 肥後陽介 地域地盤環境研究所 フェロー 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 正会員 木元小百合 京都大学大学院
 学生員 市之瀬知子 京都大学大学院

1. はじめに

角柱飽和粘土供試体を用いた非排水三軸圧縮試験および弾粘塑性構成式を用いた3次元有限変形水—土連成有限要素解析による実験のシミュレーションを行った。実験では、せん断中の供試体側面の写真を画像解析し、側面に現れるせん断帯の発生・成長過程を詳細に観察した。シミュレーション結果は実験で観察されたひずみの局所化挙動を精度よく追跡できており、解析法の妥当性は検証された^{1)2)etc.}。そこで本研究では、実験で計測することが困難な、供試体内部のひずみ、応力、間隙水圧の分布についてシミュレーション結果から検討を行った。

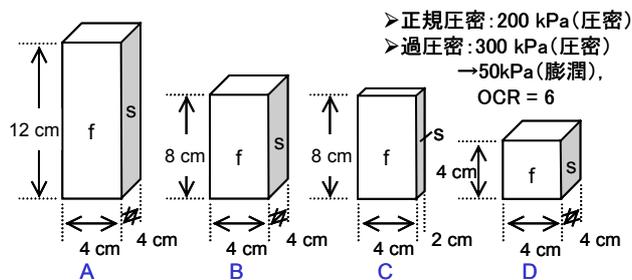


図1 実験および解析に用いた供試体形状

2. 角柱飽和粘土の非排水三軸圧縮試験と弾粘塑性構成式を用いた有限変形3次元水—土連成有限要素法

再構成深草粘土を図1に示すような4種類のサイズに整形し、それぞれを正規圧密(200kPaで圧密)・過圧密(300kPaで圧密後、50kPaで膨潤, OCR: 6)状態とし、3種類のひずみ速度を設定して、ひずみ制御での非排水圧縮試験を行った。また、実験中のひずみの局所化挙動を詳細に観察するため、画像解析を行い、せん断ひずみを定量化した¹⁾²⁾。

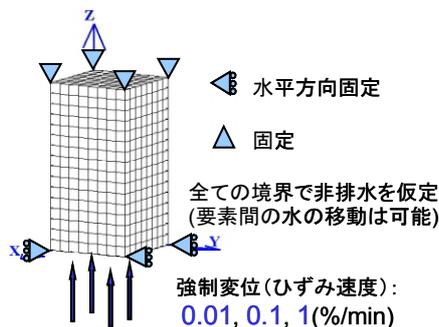


図2 境界条件(供試体形状B)

実験のシミュレーションに用いた解析法は、有限変形3次元水—土連成有限要素法¹⁾²⁾であり、構成式には内部構造変化を考慮した飽和粘土の弾粘塑性構成式³⁾を用いた。支配方程式は、増分系つりあい式と連続式であり、有効Cauchy応力のJaumann速度を用いたUpdated Lagrangian法を用いて定式化した。シミュレーションに用いたパラメータは全て実験結果から決定した¹⁾。図2は供試体形状Bの境界条件であり、実験における境界条件を忠実に再現した。他の供試体形状についても同様の境界条件を用いた。

3. 非排水三軸圧縮条件下での角柱飽和粘土供試体内部の様子

正規圧密粘土供試体Bの実験結果と解析結果を図3に示す。実験の画像解析結果を見ると、側面sよりも側面fの方がせん断帯が明確に現れているため、

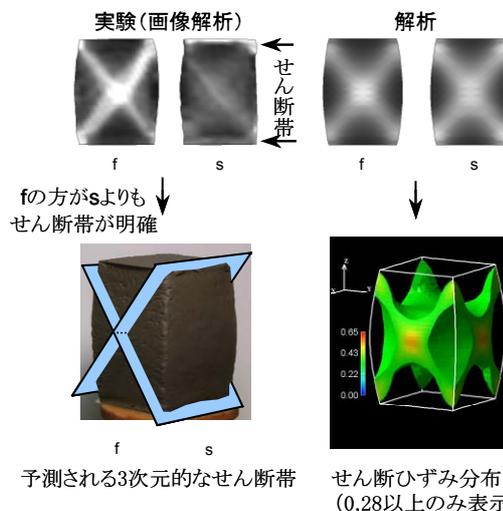


図3 せん断ひずみ分布図から予測される3次元的なせん断帯(供試体B, 正規圧密, 0.1%/min, 軸ひずみ20%)

3次元的には図に示すような2つの面的なせん断帯が発生していると予測できる。しかし、解析結果を見ると「X」型のせん断帯は表面のみに現れており供試体を貫くようなせん断帯に発達していないことがわかる。

図4(a)は正規圧密粘土の平均有効応力の分布図で、初期値の200kPaよりも増加した部分のみを表示している。正規圧密粘土のダイレイタンシー特性を考えると、平均有効応力は減少していくことになるが、供試体上下端部付近では増加していることがわかる。また、図4(b)は過圧密粘土の粘塑性体積ひずみ分布図で、圧縮を示した部分のみを表示した。過圧密粘土はそのダイレイタンシー特性により塑性膨張を示すが、供試体上下端部付近で圧縮を示した。これらのことから、供試体上下端部では圧密が起こっていると考えられ、その原因としては実験器具と供試体の摩擦力による変形の拘束が挙げられる。

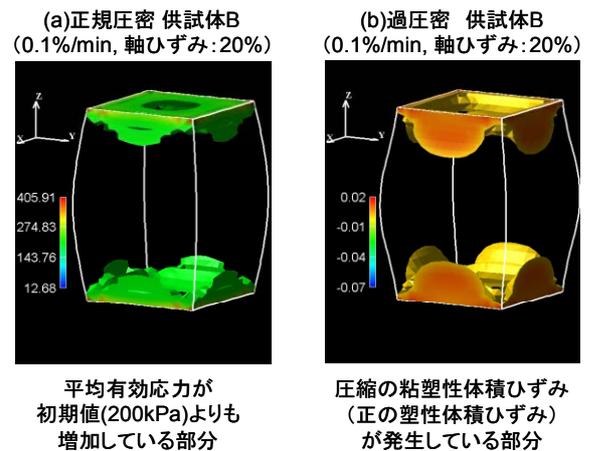


図4 供試体内部で部分的に起こる圧密挙動

間隙水圧について見てみると、図5に示すようにひずみ速度によって供試体内部の分布が大きく異なった。全てのひずみ速度で上下端部に高い間隙水圧が分布しているが、ひずみ速度 0.01%/min では、最大値と最小値の差が小さく、供試体内部の水圧はほぼ均一と言える。一方、ひずみ速度が 1%/min の場合は供試体上下端部と中央部で 25kPa ほどの差が生じた。従って、ひずみ速度が 1%/min の試験では間隙水のマイグレーションが十分に行われていないことになる。これは図4で示した供試体内部での圧密挙動にも影響を与えており、マイグレーションが十分に起こる 0.01%/min の場合は上下端部で圧密が起こりやすく、その部分でのせん断変形は小さいが(図6(c))、マイグレーションしにくい 1%/min の場合は、上下端部での圧密の影響は小さく、端部付近でもせん断変形がおこっている(図6(a))。

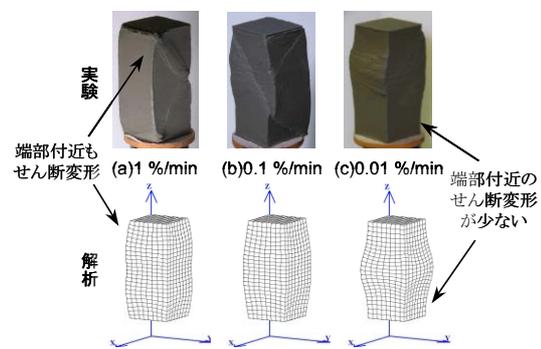
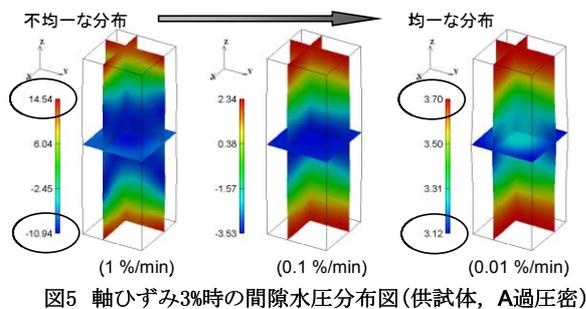


図6 ひずみ速度による変形モードの違い(供試体A, 過圧密, 軸ひずみ20%)

4. まとめ

角柱粘土供試体を用いた非排水三軸圧縮試験のシミュレーションを行い、供試体内部の挙動について検討を行った。その結果、供試体内部ではせん断ひずみ、間隙水圧、平均有効応力、塑性体積ひずみが不均一に分布しており、その分布はひずみ速度によっても異なることがわかった。また、供試体上下端部では間隙水のマイグレーションにより圧密が起こっており、変形モードに影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

1)Higo, Y.: Instability and Strain Localization Analysis of Water-saturated Clay by Elasto-viscoplastic Constitutive Models, Doctoral thesis, Kyoto University, 2003. 2)肥後, 岡, 小高, 木元, 市之瀬: 有限要素方による角柱飽和粘土供試体の3次元ひずみの局所化解析, 第39回地盤工学研究発表会, 2004. 3)木元・岡: 第38回地盤工学研究発表会, No. 574, 2003.