

不飽和土の非排気・非排水三軸試験の 空気～水～土連成有限変形シミュレーション

不飽和土 連成解析 有限要素法

名古屋大学 学生会員 ○吉川高広
名古屋大学 国際会員 野田利弘
(財)地震予知総合研究振興会 国際会員 浅岡 顕

1. はじめに 三軸試験を初期条件・境界条件が明確に整備された初期値・境界値問題として捉える立場から、別報¹⁾と同じ空気～水～土骨格連成有限変形解析手法により、不飽和土円筒供試体の三軸試験のシミュレーションを実施した。特に、供試体の上端（・下端）の剛・摩擦性のペデスタルを介して与える軸変位速度の違いが供試体内部の不均質性に与える影響に着目した。
2. 解析条件 図1は境界条件を示す。供試体形状と载荷の上下・軸対称性を仮定して、 10×20 要素の1/4断面の有限要素メッシュを用い、軸ひずみ速度0.5および0.005%/minで非排気・非排水条件での三軸試験をシミュレートした。本報では初期サクションが100kPa（飽和度40%）の解析結果を示す。土骨格の構成式（SYS Cam-clay model）、水分特性曲線、透水/透気係数、これに用いる材料定数および初期値は別報¹⁾と同じである。
3. 解析結果 図2の(a)～(f)は、载荷が速い場合（軸ひずみ速度：0.5%/min）の平均有効応力、せん断ひずみ、比体積、間隙空気圧、間隙水圧および飽和度の各分布を示す。

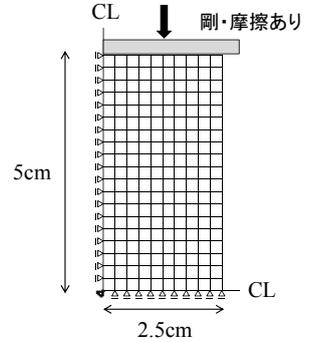


図1 境界条件

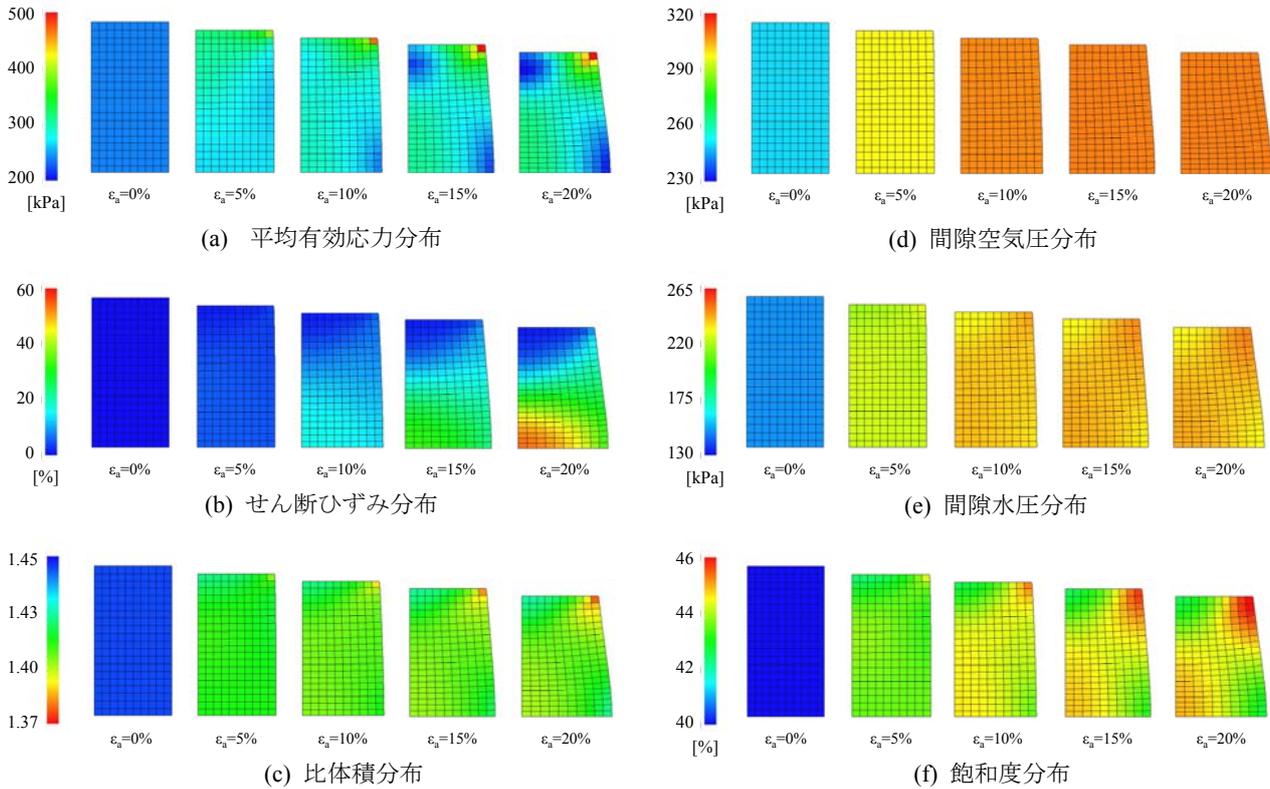


図2 諸量の推移図（軸ひずみ速度0.5%/minの場合）

図2から、(d)間隙空気圧を除き、初期飽和度が低い供試体内部の各諸量は、上（・下）端がペデスタルで拘束してあるため、不均質な分布を示すことがわかる。(c)比体積を見ると、载荷が比較的速いものにもかかわらず、供試体内部の特に隅角部で間隙が小さくなっているのは、この部分で空気の移動が十分に起きていることに大きく起因する。これに伴って、間隙空気圧は供試体内で均質になっている。また、（飽和土または飽和度が高い土の場合と異なり、）間隙水による土骨格の拘束が小さくなるため、間隙水圧の不均質は緩やかに発達する。そして、サクション（=間隙空気圧－間隙水圧）が不均質になり、したがって飽和度も不均質性が現れている。

次に、载荷が遅い場合（軸ひずみ速度：0.005%/min）の諸量の推移を図3に示す。図2と比べると、(a)~(c)に大きな違いが見られないが、間隙水の移動も十分に生じるため、間隙水圧も均質に分布し、またそれに伴い、飽和度が均質に分布している。

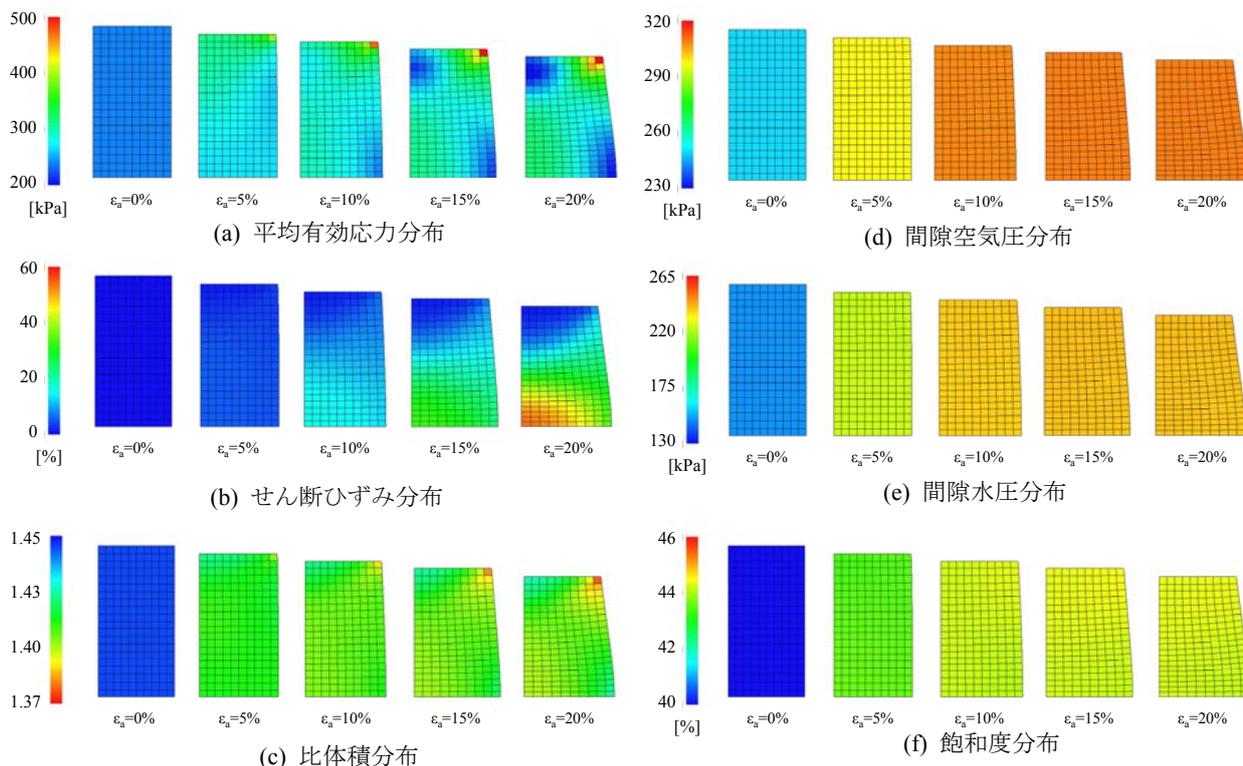


図3 諸量の推移図（軸ひずみ速度 0.005%/min の場合）

次に、遅い場合について、実際の三軸試験と同様に供試体のマスとしての見掛けの挙動を図4に示す。具体的には、図1で示す供試体の上端で反力と空気圧、水圧、変位を計測していると考え、その値を用いて算出した。载荷が速い場合の見掛けの挙動について、図は省略するが、違いはほとんど見られなかった。

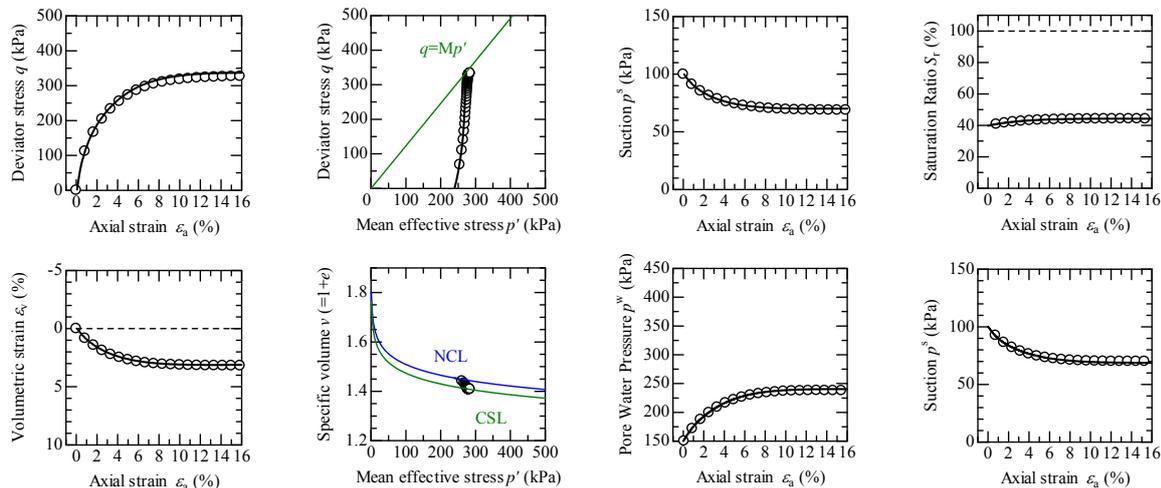


図4 mass としての要素挙動と1要素の要素挙動の比較（軸ひずみ速度 0.005%/min）

図4には別報¹⁾の1要素で得られた計算結果も示している。見掛けの挙動と1要素の挙動を比較すると、軸差応力～軸ひずみ関係に若干の違いがあるものの、両者は概ね一致している。ただし、比体積を見ると、供試体が圧縮しているが、これは供試体内部の空気の圧縮によるものである。

5. おわりに 供試体内部で隅角部が大きく圧縮しているにもかかわらず、供試体全体の圧縮量が1要素の計算で得られた供試体の圧縮量と等しいのは、とても興味深い。この例が示すように、飽和土の解析²⁾の場合と同様に、供試体と言えども、その力学挙動は初期値境界値問題の解として考える必要があることを示唆している。

参考文献 1) 野田ら(2012)：空気～水～土骨格..., 本誌掲載予定. 2) Asaoka et al.(1994): Soil-water coupled ..., S&F, 34(1),91-105.