

空気～水～土骨格連成有限変形解析を用いた不飽和土の「定体積」・非排水三軸試験の計算手法

名古屋大学 学生会員 ○吉川 高広
名古屋大学 正会員 野田 利弘

1. はじめに

著者らは図 1 に示す排気・排水条件を制御した不飽和シルトの三軸圧縮試験の結果¹⁾を参考に、空気～水～土骨格連成有限変形解析コード²⁾を用いて、同様の三軸試験をシミュレートした³⁾。図 2 は、その一部として非

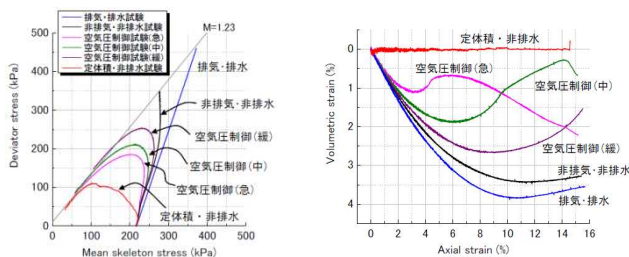
錯誤的に変化させることで定体積を保つことはできる。しかし、本稿で述べる計算では、境界の空気圧を未知数にし、増えた未知数を補うために供試体全体の体積が変化しない条件(式(1))を連立させて解いた。

$$D_s \left(\int_V dv \right) = \int_V \text{tr} D dv = 0 \quad (1)$$

ここに D_s は土骨格から見た物質時間微分、 D は土骨格のストレッチングテンソルである。

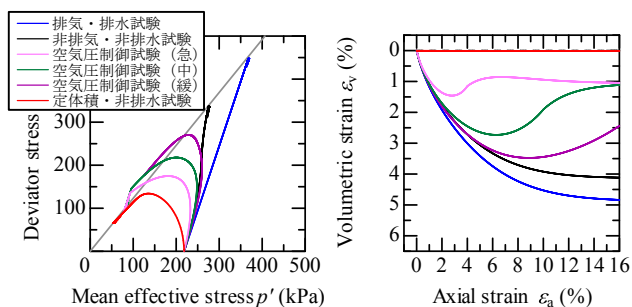
3. 計算条件

本稿では多要素を用いた計算結果を示す。図 3 は境界条件を示す。20×10=200 要素の有限要素メッシュを、



(a) 有効応力経路 (b) 体積ひずみ～軸ひずみ

図 1 空気圧制御(実験結果¹⁾)



(a) 有効応力経路 (b) 体積ひずみ～軸ひずみ

図 2 空気圧制御(計算結果³⁾)

排水条件下で様々な空気圧を制御して行なった三軸試験の計算結果³⁾である。図 2 では簡単のため、1 有限要素を用いて計算を行なったが、本稿ではこのうちの赤色の凡例で示した「定体積」・非排水試験のシミュレーション時に用いた計算手法を具体的に示し、さらに多要素で行なった計算結果も示す。

2. 計算手法

図 1 中の定体積・非排水試験結果は、非排水条件下で、供試体の全体積が一定に保たれるように、境界の空気圧を制御(吸気または排気)して行なわれた三軸試験である。計算も実験と同様に境界にて空気圧を試行

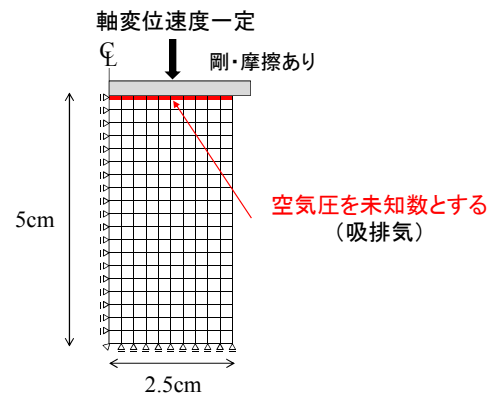


図 3 境界条件

上下・軸対称条件で、上(下)端は剛で摩擦のあるペDESTALを想定した拘束を与えている。また、上(下)端からは間隙水と間隙空気が十分に移動できるほど十分にゆっくりとした軸変位速度(一定)で載荷した。ただし、参照実験¹⁾と同様に、計算においても表 1 に示すように、段階を経ており、2. で示した計算手法は段階 5 の定体積・非排水試験において用いた。その際の水理境界は非排水条件、空気境界は図 3 に示すように上(下)端のみ空気圧を未知数とした吸排気条件で、他は非排気条件である。材料定数と初期値は以前の文献³⁾と全く同じ値を用いた。

キーワード 不飽和土、連成解析、有限要素法、境界条件

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町工学部 9 号館 318 室 TEL 052-789-4483

表 1 実験・計算の手順

段階	セル圧 [kPa]	空気圧 [kPa]	水圧 [kPa]	基底応力 [kPa]	サクシオン [kPa]
1	0	0	-25	0	25
2	20	0	非排水	20	未計測
3	270	250	非排水(約230)	20	(約20)
4	450	250	各水圧	200	各サクシオン
5	定体積・非排水三軸試験				

4. 計算結果

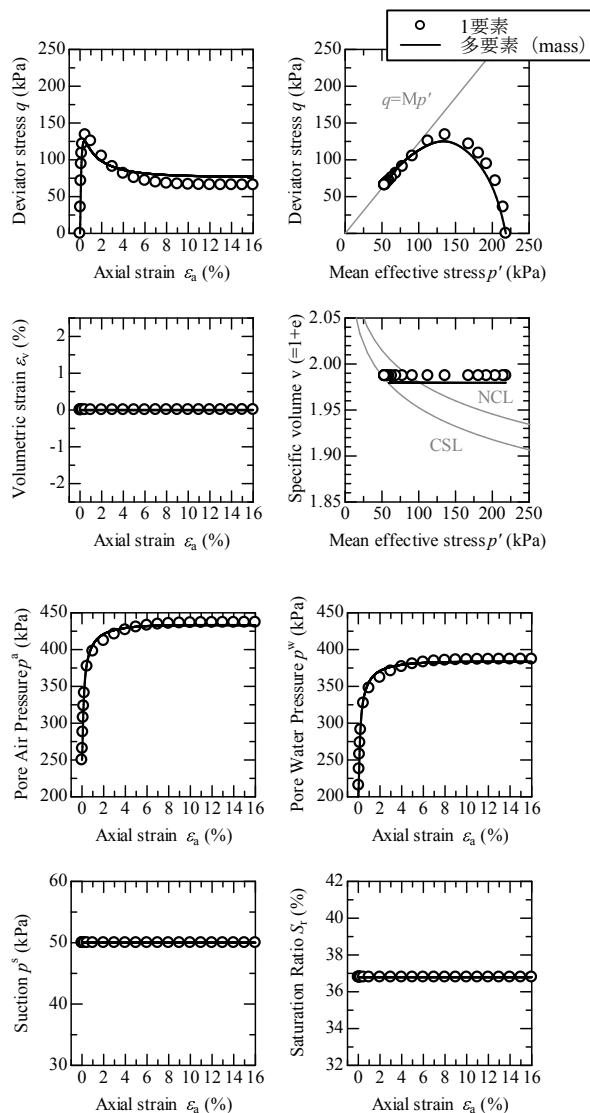


図 4 mass としての挙動

(1 要素の挙動も併せて掲載)

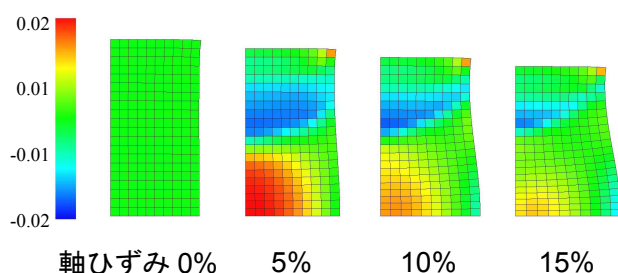


図 5 比体積変化のコンター図

図 4 は多要素の供試体を mass として捉えた定体積・非排水試験の計算結果を示す。mass として捉えた力学挙動とは、実験と同様に、図 1 で示す供試体の上(下)端で計測される反力と空気圧、水圧、変位の値を用い、また体積と飽和度については各要素の値を体積積分した後に全体積で除した値(体積平均した値)を用いて算出したみかけの挙動である。図 5 は比体積変化のコンター図を示す。この図を見ると供試体内には圧縮している要素も膨張している要素も存在するが、図 4 の体積ひずみ~軸ひずみ関係を見ると、供試体の全体積が確かに一定に保たれていることがわかる。また、図 4 には 1 要素で計算した結果³⁾も併記したが、どちらも表 1 で示したような複雑な段階を経た後のせん断試験にもかかわらず、mass として捉えた値と 1 要素の結果は類似挙動を示した点も興味深い。

5. おわりに

本計算にて用いた解析コード²⁾は、連成式の物理モデルとして、間隙圧を各要素中心に代表させる Christian 流⁴⁾または田村流⁵⁾の物理モデルを拡張して用いている⁶⁾。つまり、Sandhu⁷⁾流のように境界の節点に着目する方法でなくとも、本計算手法のように各要素の「境界」においても水圧や空気圧を「未知数」として与えることができる。境界の水圧や空気圧を未知数として与える計算は、今回示した定体積変形の問題に限らず、境界にて等水圧を満たす計算などにも利用でき、解析の幅が広がる。

参考文献

- 1) 小高ら(2006): 排気・排水条件を制御した不飽和シルト... 第 18 回中部地盤工学シンポジウム。
- 2) 野田ら(2012): 空気~水~土骨格連成有限..., 第 47 回地盤工学研究発表会, No.335。
- 3) 吉川ら(2013): 各種排気・排水条件..., 第 48 回地盤工学研究発表会(投稿中)。
- 4) Christian, J. T. (1968): Undrained stress distribution..., Vol.94, SM6, pp.1331-1345。
- 5) 赤井, 田村 (1978): 弾塑性構成式による..., 土木学会論文集, 第 269 号, pp.95-104。
- 6) Asaoka et al, (1994): Soil-water coupled behaviour ..., S & F, Vol.37, No.1, pp.29-39。
- 7) Sandhu, R. S. and Wilson, E. L. (1969): Finite-element Analysis..., ASCE, Vol. 95, No. EM3, pp. 641-652。