# 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	〇吉川	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<sup>2)</sup>を用いて,同様の三軸 試験をシミュレートした<sup>3)</sup>. 図2は, その一部として非



排水条件下で様々に空気圧を制御して行なった三軸試 験の計算結果<sup>3)</sup>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 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.

$$D_{s}\left(\int_{v} dv\right) = \int_{v} \operatorname{tr} \boldsymbol{D} dv = 0 \tag{1}$$

ここに D。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 要素の有限要素メシュを,



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デス タル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<sup>1)</sup>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	TEL052-789-4483

段階	セル圧 [kPa]	空気圧 [kPa]	水圧 [kPa]	基底応力 [kPa]	サクション [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	各サクション	
5	定体積·非排水三軸試験					

表1 実験・計算の手順

### 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<sup>3)</sup>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<sup>2)</sup>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<sup>4)</sup>または田村流<sup>5)</sup>の物理モデルを拡張して用いている <sup>6)</sup>. つまり, Sandhu<sup>7)</sup>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

 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.