

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

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
(財)地震予知総合研究振興会 フェロー会員 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て、土骨格の構成式に SYS Cam-clay model¹⁾を搭載し、慣性力を考慮した空気～水～土骨格連成有限変形計算²⁾により、不飽和土円筒供試体の排気・排水三軸試験のシミュレーションを実施した。軸ひずみ速度の違いが供試体内部の間隙空気圧、間隙水圧の不均質性の発展に大きく与える様子を示す。

2. 解析条件

図1は境界条件を示す。供試体形状と载荷の軸対称性を仮定して、10×40要素の有限要素メッシュを用いた。初期の間隙空気圧は250kPa、間隙水圧は150kPa（飽和度40%）である。上端は排気・非排水条件で間隙空気圧を250kPaに保ち、下端は非排気・排水条件で間隙水圧を150kPaで保ったまま、軸ひずみ速度 $5 \times 10^{-5} \%$ /min、 $5 \times 10^{-1} \%$ /min および、 $5 \times 10^2 \%$ /min で三軸試験をシミュレートした。表1はSYS Cam-clay modelの材料定数・初期値を示す。透水係数 k^w と透気係数 k^a のパラメータおよび、その他の物性値は表2と表3に示す。

表1 SYS Cam-clay model の材料定数・初期値

弾塑性パラメータ			発展則パラメータ			初期値		
NCLの切片	N	1.51	正規圧密土化指数	m	0.15	構造の程度	$1/R_0^*$	1.1
限界状態定数	M	1.23	構造劣化指数	$a (b=c=1.0)$	2.0	過圧密比	$1/R_0$	1.1
圧縮指数	λ	0.063		c_s	1.0	応力比	η_0	0.0
膨潤指数	κ	0.012	回転硬化指数	b_r	0.0	異方性の程度	ζ_0	0.0
ポアソン比	ν	0.3	回転硬化限界定数	m_b	(0.65)			

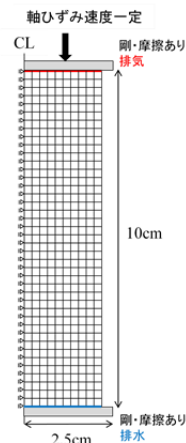


図1 境界条件

表2 水分特性曲線と透水係数および

透気係数のパラメータ

水分特性曲線		透水係数・透気係数	
s^w_{max}	0.99	k_s^w [cm/sec]	6.94×10^{-5}
s^w_{min}	0.073	ζ	0.5
α [cm ⁻¹]	0.016	k_d^a [cm/sec]	3.82×10^{-3}
n	1.37	γ	0.5

表3 その他の物性値

物性値	
ρ^s [g/cm ³]	2.65
ρ^f [g/cm ³]	1.00
R [m ² /sec ² /K]	287.042
Θ [K]	293.15 (20°C)

3. 解析結果

軸ひずみ速度 $5 \times 10^{-5} \%$ /min、 $5 \times 10^{-1} \%$ /min、 $5 \times 10^2 \%$ /min の場合の間隙空気圧、間隙水圧の推移図をそれぞれ図2、3、4に示す。軸ひずみ速度 $5 \times 10^{-5} \%$ /min の場合は、間隙空気圧、間隙水圧ともに均質に分布している。

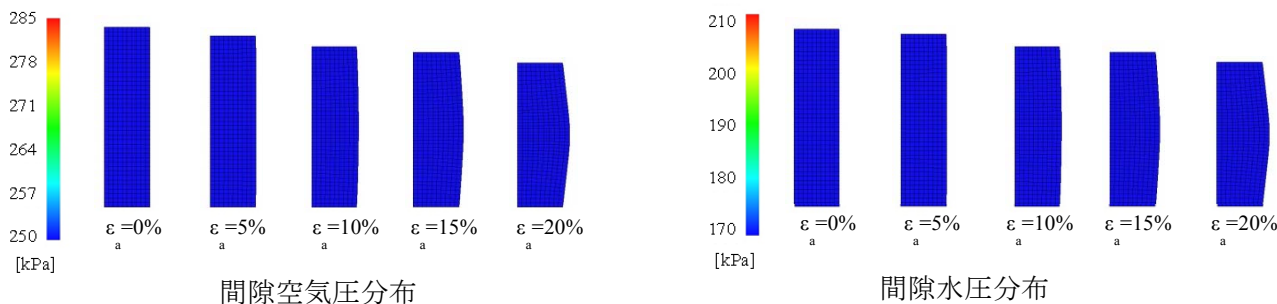


図2 軸ひずみ速度 $5 \times 10^{-5} \%$ /min の場合

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

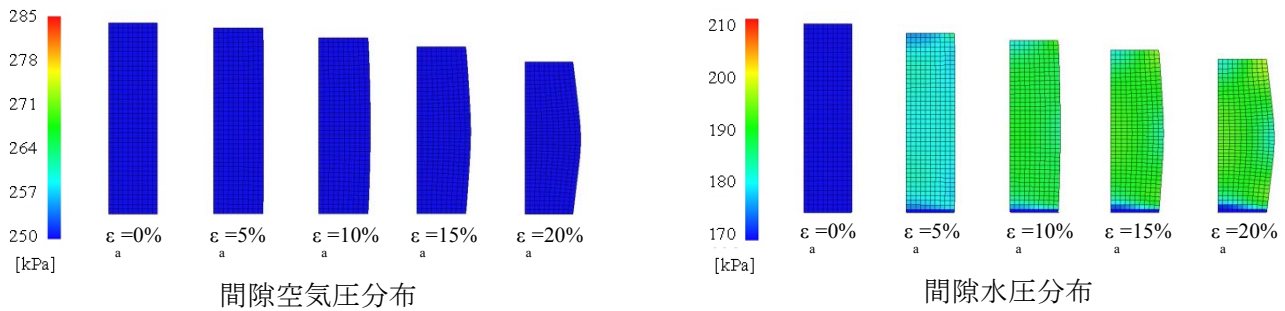


図3 軸ひずみ速度 $5 \times 10^{-1} \%$ /min の場合

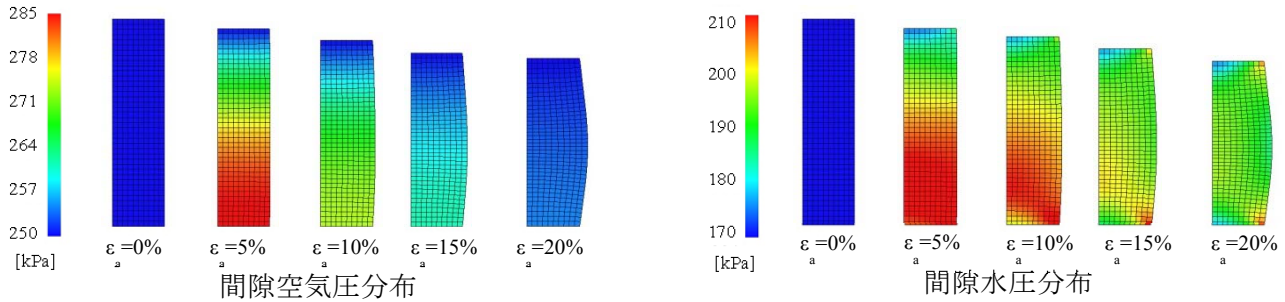


図4 軸ひずみ速度 $5 \times 10^2 \%$ /min の場合

また $5 \times 10^{-1} \%$ /min の場合、間隙空気圧は均一だが、間隙水圧は不均質に分布し、 $5 \times 10^2 \%$ /min の場合は間隙空気圧、間隙水圧ともに不均質に分布している。ここで、 $5 \times 10^{-1} \%$ /min の場合、間隙水圧は下端の排水境界で最小値を示すのに対して、 $5 \times 10^2 \%$ /min の場合、軸ひずみ 5% のときには排水境界である下端で最大値を示し、間隙空気圧の分布と同様に下端から上端にかけて小さくなっている点が興味深い。これは、 $5 \times 10^2 \%$ /min の場合、間隙水の移動が殆ど進行していないことに加え、間隙空気圧が供試体内で不均質に分布しているためである。事実、上端の排気条件のみを非排気条件に変えた解析結果（図は省略）では、非排気・非排水試験とほぼ同一の結果を示し、下端の排水条件のみを非排水条件に変えた場合は今回の解析結果とほぼ同一の結果を示している。間隙水も間隙空気も十分に移動が進行していない場合は、飽和度がほとんど変化しないため、サクシオンは変化しないことになり、その結果、間隙水圧が間隙空気圧に追従する形で分布した。

つぎに、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5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、変位を計測し、下端で水圧を計測していると考え、その値を用いて算出した。軸ひずみ速度が小さい場合の方が強度は大きく、軸ひずみ速度が大きい場合の方が有効応力経路は立っている。また、軸ひずみ速度が大きい場合は、間隙空気圧と間隙水圧が一定値になっておらず、それに伴いサクシオンも変動している。

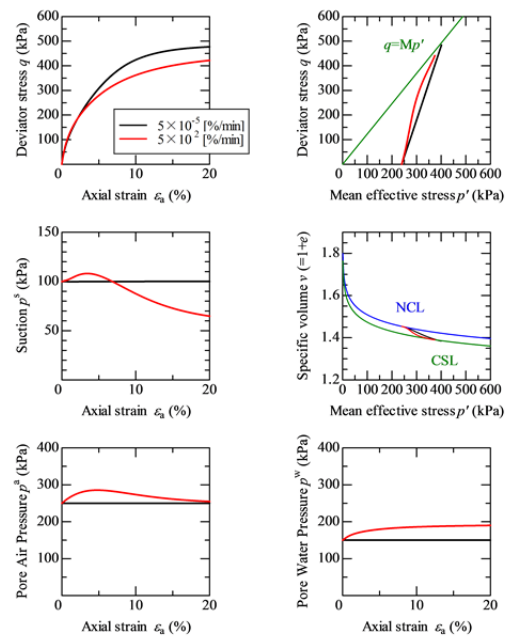


図5 mass としての要素挙動

5. おわりに

荷重速度の違いに応じて、供試体内部に不均質の発生に違いが現れる。本解析事例では、軸ひずみ速度が比較的小さい場合、空気も間隙水も十分に移動できるため、間隙空気圧も間隙水圧もほとんど発生しない。これに対し、軸ひずみ速度が大きい場合は、飽和度変化が殆ど生じないように、間隙空気圧と間隙水圧が不均質に分布する。このように、供試体といえども、境界値問題として捉える必要があることを示した。

参考文献

- 1) Asaoka et al.(2002) : An elasto-plastic description ..., *S & F*, 42(5), 47-57. 2) 野田ら(2012) : 空気～水～土骨格連成有限変形解析を用いた初期サクシオンが異なる不飽和土供試体の力学挙動の再現, 第47回地盤工学研究発表会 (投稿中).