不飽和三軸圧縮試験における供試体内不均一性

神戸大学　学生会員　○後藤　浩司
神戸大学　正会員　河井　克之
神戸大学　門田　美咲

１．はじめに

一般的な不飽和土の三軸圧縮試験は，(a)供試体の不飽和化(所定のサクション値に制御)，(b)等方圧縮，(c)軸圧縮せん断から成る．不飽和土三軸試験機は間隙空気圧と間隙水圧が独立した経路で制御もしくは計測されるため，それぞれ異なる境界条件を持つという構造上の問題点を抱えている．現状の試験装置では，排気・排水はそれぞれ上面・下面片面で行われており，内部に含水状態や応力分布が存在する局所的な値を要素試験の結果とみなしている可能性がある．そこで本研究では，土/水/空気有限要素解析プログラム(DACSAR—MP)により，不飽和土の三軸圧縮試験を模擬し，排気・非排水試験における間隙空気圧・間隙水圧・サクション・軸差応力の供試体内の分布について考察を行った．

２．解析条件

図－1 に解析メッシュ及び境界条件を，表 1 に解析で用いたパラメータを示す．解析領域は直径 50mm×100mm の円柱供試体を想定している．また，下端は水平・上下方向ともに固定，軸部分は水平方向のみ固定し，上面は外周部分を水平方向のみ固定している．本解析は不飽和土三軸圧縮試験の手順に倣って行い，(a)においては，解析領域下端を排水境界とし，拘束圧を等方的に載荷した後，上面から間隙空気圧を与えこの作業を繰り返した．さらに，図－2 に示す通り不飽和化の過程でサクション履歴を与えることで(図-2)，サクションと飽和度の組み合わせが異なる供試体を作成した．次に(b)では 500kPa の圧密を行った．この時，高飽和度の供試体については，正規圧密状態となった．そして(c)では，ひずみ速度 0.003%/min で軸ひずみが 15%に至るまで供試体上面に変位を与えた．各過程での供試体の変形の様子を図-3 に示す．

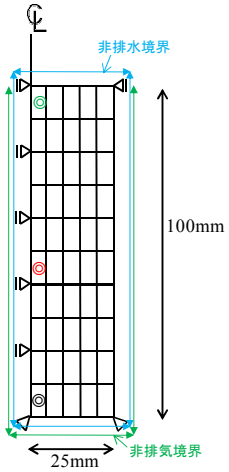

図-1 解析領域図

λ	κ	M	ν	k_s(m/day)	k_a(m/day)
0.0107	1.339	0.312	0.312	0.6	60
G_s	p'_{sat}(kPa)	a	n	e_0	m
2.7	49	90	1.0	1.20	0.8
S_{r0}	n_E	A^D	A^w	B^D	B^W
0.15	1.5	-34.7	5.9	-23.95	4.62

※A・Bはサクション(kPa)に対する値
表-1　解析に用いる材料定数

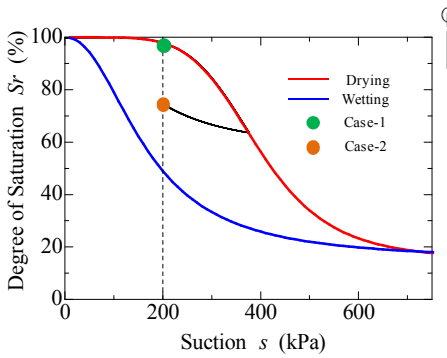

図-2　水分特性曲線と与えたサクション履歴

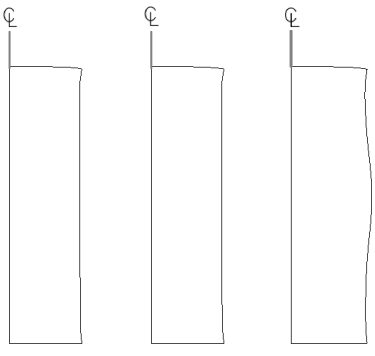

図-3　各過程での供試体の変形図

３．解析結果及び考察

解析結果として，せん断ひずみε_s～軸差応力，飽和度，間隙空気圧，間隙水圧，サクション関係を示す．本解析では，図-1 に示したとおり，供試体内の下端・中心・上端部分，ならびに通常の三軸圧縮試験における各値の測定箇所を反映した値(便宜上「実験値」と表記する) の考察を行う．まず Case1 (高飽和度供試体)に通常の三軸圧縮試験に

キーワード　不飽和土，三軸圧縮試験，有限要素解析
連絡先　〒657-8501　兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1　神戸大学都市安全研究センター　ＴＥＬ078-803-6281

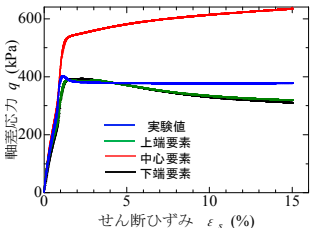

図-4 軸差応力変化

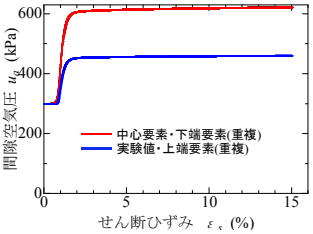

図-5 間隙空気圧変化

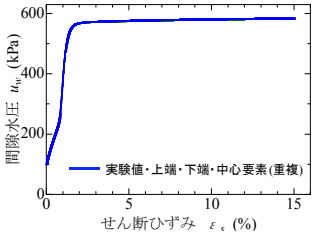

図-6 間隙水圧変化

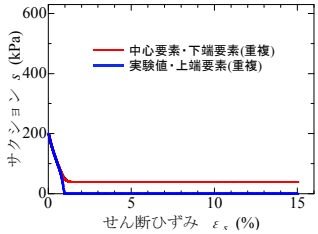

図-7 サクション変化

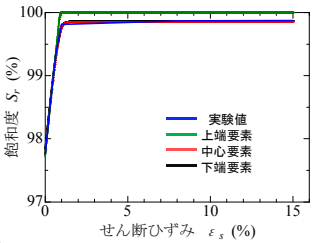

図-8 飽和度変化

おける各値の測定箇所を反映した値(便宜上「実験値」と表記する)を示す．Case1(高飽和度供試体)についての結果を図-4～8 に示す．軸差応力(図-4)についてはせん断が進むにつれ中心要素のみ他と異なる挙動を示している．これは拘束条件が原因で，水平方向に拘束されている上端・下端要素ならびに実験値ではピーク強度を示した後に軟化を生じる．一方で中心部分は図-3(C)のように水平方向にも変形し，軸差応力が漸増している．次に間隙空気圧変化(図-5)では値に差が見られ，供試体内部に分布が生じている事がわかる．これは上面に排気境界があり，上端要素のみ排気が可能となっている為であると考えられる．また Case1 に代表されるような高飽和度供試体は，せん断過程において供試体内の間隙空気の排出に伴う体積変化の余地がなくなりせん断ひずみ 1%近傍で急激に間隙空気圧が上昇するものと考えられる．一方で間隙水圧変化(図-6)の供試体内での分布は見られないが，これは供試体が非排水条件である事が原因であるといえる．さらに，サクション変化(図-7)では，前述の間隙空気圧の差が影響で要素間に分布が生じている事がわかる．同時に飽和度～サクション関係は水分特性曲線に沿って推移することから，飽和度変化(図-8)にも差が表れていることが説明できる．

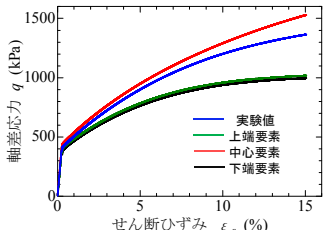

図-9 軸差応力変化

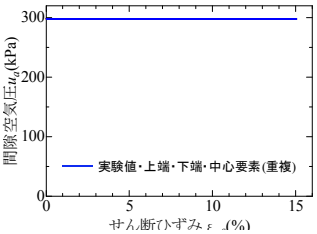

図-10 間隙空気圧変化

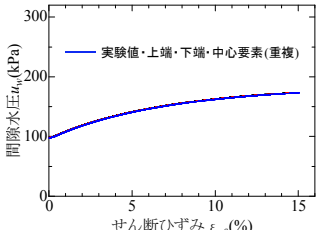

図-11 間隙水圧変化

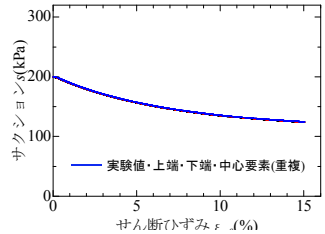

図-12 サクション変化

次に Case2(低飽和度供試体)における結果を図 9～13 に示す．軸差応力(図-9)は Case1 と同様，上端・下端部の拘束条件の影響で差が生じている．また Case1 と比較して飽和度が低く，サクション応力がより強く作用しているために軸差応力の値が大きく表れている事がわかる．さらに図-10～13 に示す間隙空気圧，間隙水圧，サクション，飽和度変化の分布は殆どみられず，位置水頭の違いが原因とみられる僅かな分布しか見られなかった．間隙空気が多く残る状態で軸圧縮が行われている為に間隙空気圧の変化もほぼゼロである．一方で間隙水圧は漸増しサクションの減少，ならびに飽和度の増加が起こっている様子がわかる．

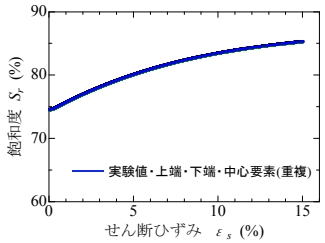

図-13 飽和度変化

4．結論

本解析を通して，高含水比供試体の間隙空気圧・サクション値において供試体内の分布が確認できた．今後は，不飽和供試体作成過程での放置時間や軸圧縮過程での載荷速度等がせん断挙動に与える影響について検討を行うとともに，既存の不飽和土の三軸圧縮試験を再現した解析を行い実験における注意点などの提案を目指す．

【参考文献】1)社団法人 地盤工学会，土質試験の方法と解説，2000. 2)金澤伸一：不飽和土の数理モデルに基づく締固め土構造物の力学挙動評価，平成 22 年度神戸大学博士論文，2010.