

神戸大学大学院 学生会員 畑中 憲彦
 神戸大学工学部 正会員 加藤 正司
 リクルートコスモス(株) 吉川雄一郎

はじめに 不飽和土に関する研究は、サクシオンによる変形強度特性への影響が現れやすい粘性土を中心に進められている。しかし、実際の地盤には砂質土も含まれている。よって、不飽和状態の地盤の挙動を予測するためには、不飽和砂質土の変形強度特性に関するデータの蓄積が必要である。本研究では、豊浦標準砂を用いた不飽和三軸圧縮試験を行ったので、その変形強度特性に関して報告する。

試料と実験方法 試料には豊浦標準砂を用いた。浸水飽和した気乾試料をモールド（直径 5cm, 高さ 10cm）内に 4 層に分けて水中落下させ、各層を突き棒で突き固めて間隙比を約 0.71 に調整した後、凍結させた。この凍結試料をセル内に設置した後、側圧 20kPa のもとで通水凍結して実験に用いた。なお、実験にはペダスタル部分に AEV500kPa のセラミックディスクを埋め込んだ、二重セル方式の三軸セルを用いた。実験条件としては、①飽和状態のまま所定の拘束圧（ $\sigma_3=196\text{ kPa}$ および 396 kPa ）まで圧縮、②所定の拘束圧（ $\sigma_3=196\text{ kPa}$ および 396 kPa ）で圧縮後、排水経路に負圧を与えて排水させて飽和度を 95% および 60% に調整、③サクシオン（ $s=196\text{ kPa}$ および 396 kPa ）载荷により不飽和化後、所定の平均基底応力（ $\sigma_{r\text{net}}=196\text{ kPa}$ および 396 kPa ）まで圧縮の 3 種類の等方圧縮過程後、拘束圧およびサクシオン一定条件でせん断過程（ひずみ速度 $0.05\%/min$ ）を実施した。

実験結果および考察 図-1 は平均基底応力 $\sigma_{r\text{net}}=392\text{ kPa}$ 条件下でのせん断時の主応力差～軸ひずみの関係を示している。主応力差～軸ひずみ関係は、軸ひずみの増加とともに主応力差は増加し、ピーク値を示した後に減少している。ピーク時の主応力差の大きさは、飽和砂が一番小さくなっている。一方、最大のピーク時の主応力差を示したものは $s=392\text{ kPa}$ の結果であり、 $Sr=95\%$ の結果がそれに次いでいる。すなわち、作用しているサクシオンの順とピーク時の主応力差の順序は対応していないのが特徴である。

図-2 は平均基底応力 $\sigma_{r\text{net}}=392\text{ kPa}$ 条件下でのせん断時の軸ひずみ～体積ひずみ関係を示している。体積ひずみはせん断初期に圧縮した後、軸ひずみが 2% 付近より膨張に転じている。不飽和状態の供試体に関しては、サクシオンが大きいほど膨張する傾向がみられる。

図-3 はせん断時の含水比～軸ひずみ関係の例を示している。(a) はサクシオン $s=392\text{ kPa}$ の場合、(b) は $Sr=90\%$ の場合をそれぞれ示している。各図において、拘束圧の小さい $\sigma_3=196\text{ kPa}$ の場合の方が吸水側の挙動を示していることが分かる。興味深いことは、体積ひずみはせん断初期に圧縮傾向を不飽和土、砂質土、三軸圧縮試験、強度特性、変形特性

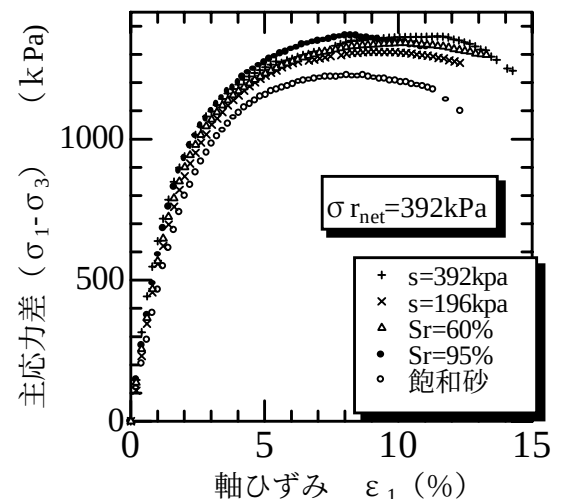


図-1 せん断時の軸ひずみ～体積ひずみ

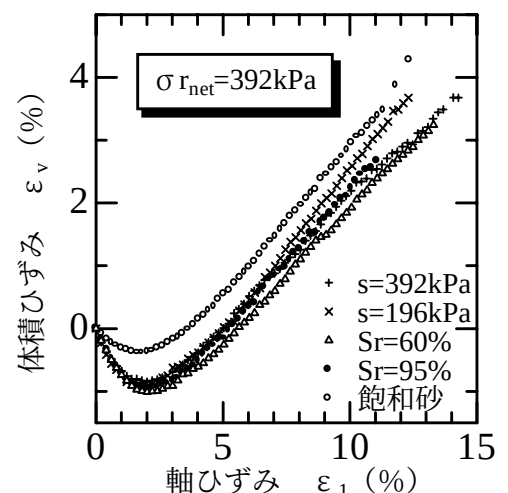


図-2 せん断中の含水比～軸ひずみ関係

示した後、膨張に転じているにもかかわらず、含水比の挙動は各条件によって異なる傾向を示していることである。その傾向としては、作用しているサクシヨンの小さい（飽和状態に近い） $S_r = 95\%$ の場合は軸ひずみの増加とともに吸水から排水挙動を示し、サクシヨンが大きくなるほど大きな排水傾向を示した。すなわちサクシヨンが大きくなるほど、体積ひずみの傾向と含水比の挙動にずれを生じている。作用しているサクシヨンが大きいほど、圧縮にともなう変形によりバルク水の水膜が破れやすく、その結果バルク水が多く排水されることが、このような排水挙動の原因と考えられる。

図-4 は $s=392\text{kPa}$ および飽和砂のせん断時のストレス・ダイレイタンシー関係を示している。今回

の結果においては、せん断時のサクシヨンの大きさや飽和度により、この図に示されるようなストレス・ダイレイタンシーが異なる傾向が見られた。このようなせん断時の変形挙動にも、間隙水の分布状況が影響しているものと考えられる。

図-5 は不飽和砂の内部摩擦角が、飽和砂の内部摩擦角（ $\phi = 37.5^\circ$ ）と同じと仮定して得られる粘着力とサクシヨンの関係を示している。加藤ら¹⁾は、シルト質粘性土である DL クレーについて水分特性曲線より予測されるサクシヨンとサクシヨン応力関係を示している。その傾向としては、サクシヨンの増加とともにサクシヨン応力が増加し、サクシヨン応力がピーク値を迎えた後に減少している。図-5 に示される傾向は、加藤らの結果と対応する傾向にあると考えられる。

図-6 は中のプロットは、飽和砂と $s = 196\text{kPa}$ および 392kPa の場合の最大圧縮点における平均基底応力とせん断応力の関係を示している。また、図中の実線は飽和砂に対する包絡線であり、点線はこの包絡線との平行線を示している。この図から不飽和砂においてもサクシヨンの増加に従いサクシヨン応力（各点線の p_{net} 軸切片）が増加する傾向を示すことがわかる。

参考文献 1) 加藤正司、吉村優治、寸田 亘、不飽和土の一軸圧縮試験時の強度・変形特性に及ぼすサクシヨンの影響建設工学研究所論文報告集、第 41-A 号、pp.141-148、1999。

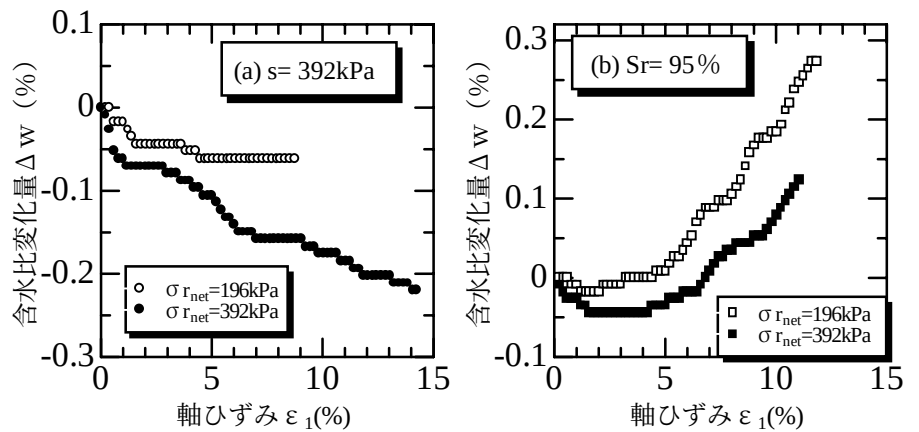


図-3 せん断時の含水比～軸ひずみ関係

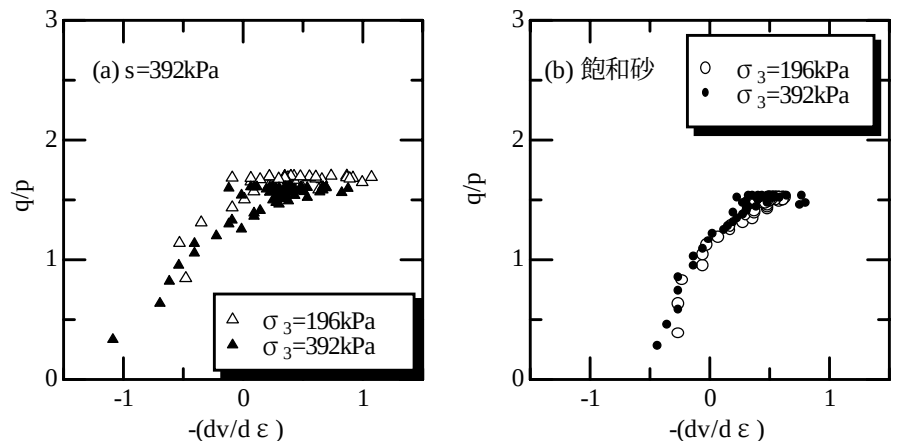


図-4 せん断時のストレス・ダイレイタンシー関係

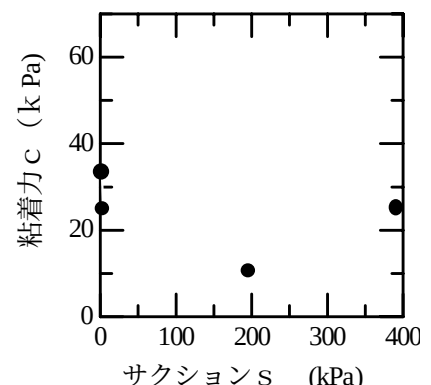


図-5 $\phi = 37.5^\circ$ とした時の粘着力とサクシヨンの関係

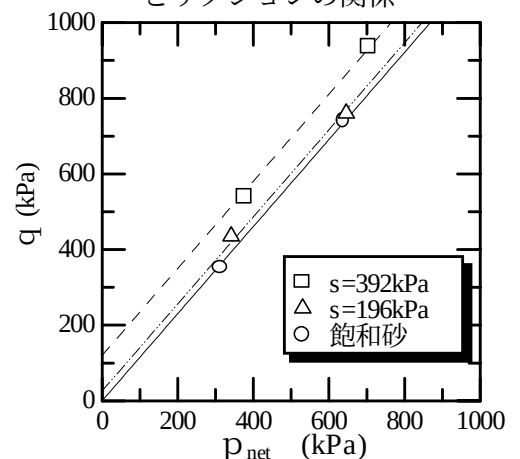


図-6 最大圧縮点における平均基底応力～せん断応力関係