

不飽和砂質土の強度に与えるサクシヨンの影響

(独) 日本学術振興会 正会員 中村 公一
 長岡技術科学大学 正会員 豊田 浩史

1. はじめに

土の強度定数 c , ϕ は, 各種構造物の基礎の設計や地盤・地山の安定性において最も重要なパラメータである。強度定数は, 砂や粘土といった様々な土の種類によって異なることに加えて, 間隙比, 飽和度, 応力履歴などの土の状態によって変化する。したがって, 各種構造物の基礎の設計や地盤の安定性の検討に用いる土の強度定数を唯一に決定することは容易ではない。

そこで, 標準的な砂である豊浦砂をはじめ, その他様々な試料で試験を行うことで, 不飽和砂質土の強度発現機構の一般化を試みる。その結果より, 密度・細粒分含有率などの物理試験から, 容易に粘着力やせん断抵抗角などの地盤強度を算定できる指標の構築を目指す。本研究では, 容易に飽和度を変化させることができる砂質土を対象とし, サクシヨンの粘着力変化について検討を行った。

2. 試験試料

試験に用いた試料は, 細粒分がない豊浦砂, 非塑性シルトである DL クレイ, 東北新幹線三本木原トンネルより採取した三本木原砂である。図 1 に, 各試料の粒径加積曲線と土粒子密度を示す。図 1 より, 豊浦砂は土粒子密度が 2.65g/cm^3 となっており, ほぼ中砂で構成された, 純粋な砂であることがわかる。DL クレイは土粒子密度 2.65g/cm^3 , ほぼシルトで構成された非塑性細粒分試料である。三本木原砂は, 乾燥させた後 2mm ふるいを通過したものを試験試料としており, 砂が大部分を占めているが, 細粒分も 20% 弱含まれており, 粒径分布の広い試料となっている。図 2 に, 各試料の水分特性曲線を示す。図 2 より各試料の AEV は, 豊浦砂 3kPa, DL クレイ 25kPa, 三本木原砂 8kPa であることがわかる。粒径分布が広い三本木原砂のみ, サクシヨンの飽和度の変化が緩やかになっている事がわかる。

3. 試験方法, 試験条件

現場の様々な密度に対応できるように, ゆる詰め供試体, 密詰め供試体を作製し, 試験を行うこととした。豊浦砂は含水比を 5% 程度に調整した後, 突き棒で所定の間隙比となるように作製した。DL クレイは, 含水比を 10% 程度に調整した後, 所定の間隙比となるように突き棒で作製した。比較対象の三本木原砂は, 含水比を 10% 程度に調整した後 5 層に分け, 所定の間隙比となるようにランマーによる打撃で作製した。

各試料ともに, 2 種類の間隙比の異なる供試体を用いて試験を行った。 p' 一定飽和三軸圧縮試験は, 三軸試験装置に設置した供試体を二重負圧法を用いて飽和させ, その後排水せん断試験を行った。 p_{net} 一定不飽和三軸圧縮試験は, 三軸試験装置に設置した供試体を二重負圧法を用いて飽和させ, 次に加圧板法により不飽和化を行い, その後排気排水せん断試験を行った。条件は表 1 に示すとおりであり, 飽和時の軸ひずみ速度 $0.04\%/min$, 不飽和時の軸ひずみ速度 $0.01\%/mm$ でせん断を行った。

表 1:各試料の試験条件

Soil	e		B.P., Suction (kPa)	p', p_{net} (kPa)	ϕ	
	loose	dense			loose	dense
Toyoura sand	0.84	0.66	BP200, s_{10} , s_{50} , s_{200}	50, 100, 200	33.9	40.0
DL clay	0.95	0.75	BP200, s_{30} , s_{50} , s_{200} (s_{10} , s_{20} , s_{40})	50, 100, 200	31.9	43.9
Sanbongihara sand	0.70	0.54	BP200, s_{10} , s_{50} , s_{100} , s_{200}	50, 100, 200	38.5	43.1

() 内は $p_{net}=100\text{kPa}$ でのみ実施

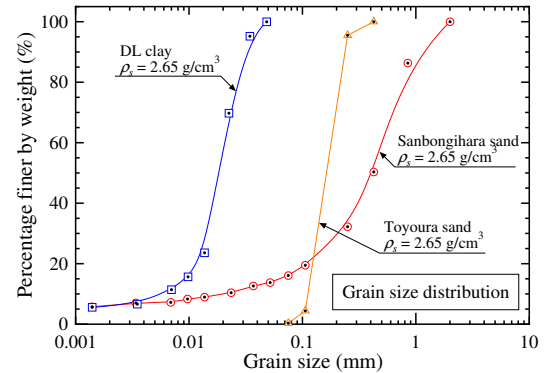


図 1 粒径加積曲線

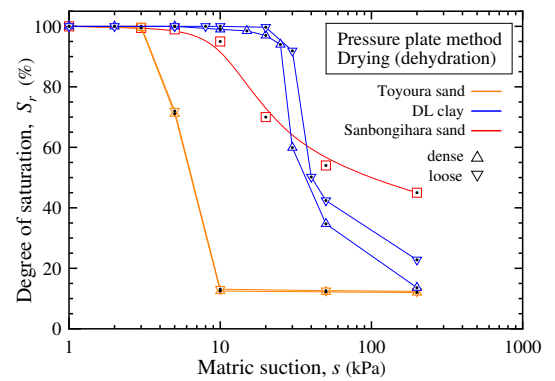


図 2 水分特性曲線

キーワード: 不飽和土, 粘着力, 砂質土

連絡先: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系, E-Mail: toyota@vos.nagaokaut.ac.jp, Tel: 0258-47-9619

4. 試験結果

ここでは代表例として、密な DL クレイの試験結果を示す．図 3 がせん断応力 - せん断ひずみ関係，図 4 が体積ひずみ - せん断ひずみ関係となる．図 3 より，サクシオンが大きくなるにしたがって最大強度が大きくなるのがわかる．また不飽和土の場合，破壊後軟化傾向を示しその強度はサクシオンにかかわらずほぼ等しくなる．図 4 より，サクシオンが大きくなるにしたがって膨張傾向が強まるが，サクシオンが小さい場合は飽和時と同様な傾向となることがわかる．また，表 1 に各試料のせん断抵抗角を示した．このように，緩い場合と密な場合でせん断抵抗角には明確な違いがある．

5. 不飽和砂質土の強度評価方法

不飽和砂質土の強度を評価するためのパラメータは様々考えられるが，ここではせん断試験と保水性試験から得られるパラメータを使用する評価方法について検討する．

(1) サクシオンと粘着力

図 5 に豊浦砂，DL クレイ，三本木原砂のサクシオン - 粘着力関係を示す．全ての試料，密度において，サクシオンが大きければ粘着力も大きくなる傾向にある．

図 5 から，DL クレイが空気侵入値 AEV まで，各間隙比のせん断抵抗角 ϕ_{dense} または ϕ_{loose} に沿って粘着力が増加していることがわかる．図 5 には DL クレイのみ示したが，三本木原砂においても同様の傾向が見られた．豊浦砂は，空気侵入値 AEV が 3kPa と低く，サクシオン 3kPa で試験を行っていないが，豊浦砂においても AEV 以下のサクシオンではせん断抵抗角 ϕ に沿って粘着力が増加すると考えられる．以上のことから，比較的短時間で試験を終えることのできる飽和三軸圧縮試験でせん断抵抗角 ϕ を求め，保水性試験で空気侵入値 AEV を求めれば，おおよその粘着力を推量することができる．

(2) 飽和度と粘着力

図 6 に，飽和度 - 粘着力関係を示す．全ての試料が図 2 の水分特性曲線と似た傾向を示し，間隙比の違いによる粘着力の差が明確に出ている．DL クレイと豊浦砂は，AEV 以上のサクシオンになると飽和度が低下しても AEV 以下と比べると粘着力の増加がかなり小さくなる．これに対し三本木原砂では，飽和度が低下するにしたがい，AEV 以上のサクシオンであっても粘着力が増加する傾向にある．この原因として，豊浦砂，DL クレイは粒径が均一であることに比べ，三本木原砂は粒径分布が広いと考えられる．

6. 結論

以上の検討により，以下の結論が得られた．

- 1) 不飽和土において，細粒分が多く，密度が大きく，サクシオンが大きくなるほど粘着力が増加した．
- 2) サクシオンが空気侵入値 AEV までは，飽和土の内部摩擦角 ϕ に沿って粘着力が大きくなる．サクシオンが AEV 以上では，粒径分布が均一であれば粘着力の増加は小さく，粒径分布がよければ粘着力の増加は大きい．この粘着力の増加傾向は，粒径分布や水分特性曲線と似た傾向を示している．

今後，細粒分含有率などの他のパラメータの検討や，塑性試料についても検討していきたいと考えている．

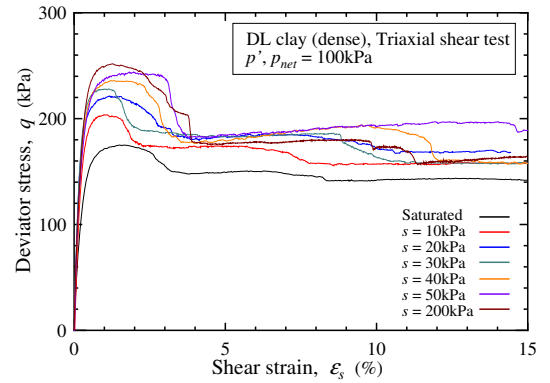


図 3 せん断ひずみ - せん断応力関係 (DL クレイ)

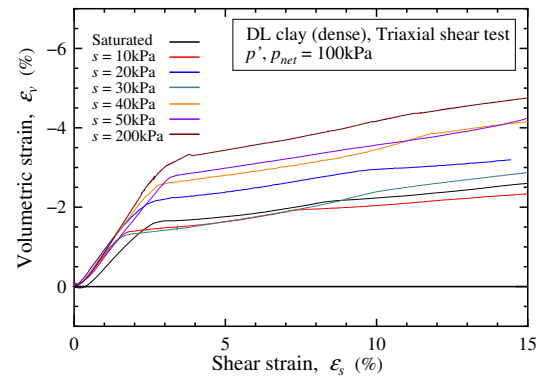


図 4 せん断ひずみ - 体積ひずみ関係 (DL クレイ)

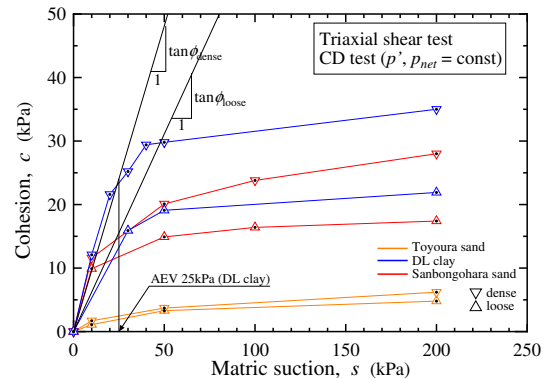


図 5 サクシオン - 粘着力関係

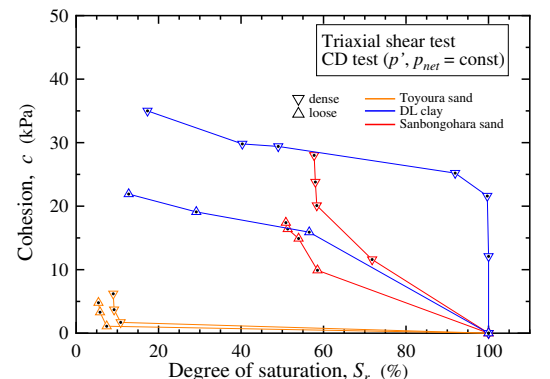


図 6 飽和度 - 粘着力関係