

不飽和砂質土の強度を求める簡易な試験手法の検討

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

砂質土, 不飽和土, 一面せん断試験

1. はじめに

不飽和土は, 主にサクシジョンの影響により強度増加する. しかし不飽和土の強度評価方法は, 不飽和三軸試験が基準化¹⁾されているものの, いまだに装置そのものが特殊, またはその手間から敬遠されがちである. もっと簡便な試験があれば, 実務においても評価対象となる土構造物等の想定する状況に応じた不飽和供試体を作製し, 強度評価できるであろう. そこで, 供試体の間隙比と含水比に着目しこのパラメータが同じであれば, 不飽和供試体の作製方法は異なっても, どの程度正確な強度評価(粘着力, せん断抵抗角)が行なえるか検討した.

今回は砂質土を対象に, サクシジョンを制御した加圧板法によって行なわれた不飽和三軸試験と, 所定の間隙比と含水比になるように供試体を締固めて作成した一面せん断試験の結果を比較した.

2. 試料の物性値

試験に用いた試料は, 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. 図には, 比較対象として豊浦砂も示した. 図1より, DL クレイは土粒子密度 2.65 g/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 2 mm 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 3 kPa , DL クレイ 25 kPa , 三本木原砂 8 kPa であることがわかる. 粒径分布が広い三本木原砂のみ, サクシジョンによる飽和度の変化が緩やかになっている事がわかる.

3. 試験条件と供試体作製方法

供試体作製条件決定には, 加圧板法による不飽和三軸試験結果(排気・排水条件)を用いた. 不飽和三軸試験にて加圧板法により作製した脱水終了後の不飽和供試体から, 各試料の密詰め・緩詰め各間隙比, 各サクシジョンでの含水比を求めた. 試験条件を表1に示す. 表中で含水比項の () 内は, 不飽和三軸試験で行なったサクシジョンの値を示している. また, 緩詰め・密詰めに関わらず, 脱水終了後の含水比はほぼ等しかった. 一面せん断試験の供試体作製方法は, 試料を所定の含水比に調整後, 突き棒による打撃で所定の間隙比になるよう作製した(せん断前の供試体条件(間隙比, 含水比)を一致させた). また, 締固めて供試体を作製後, 6時間程度放置した後せん断試験を行なった. このように, サクシジョンの制御は一切行っていない一面せん断試験の試験条件は, 鉛直応力一定, せん断速度 0.02 mm/min で行なった.

表1:各試料の試験条件

Soil	e		Water Content (%)	σ_v (kPa)
	loose	dense		
DL clay	0.95	0.75	Sat, 24(s30), 12(s50), 6(s200)	50, 100, 200
Sanbongihara sand	0.68	0.52	Sat, 15(s10), 13.5(s50), 12(s100), 11(s200)	50, 100, 200

4. 不飽和一面せん断試験結果

不飽和三軸試験結果と今回行なった一面せん断試験結果を表1, 表2に示す. 表1が DL クレイ, 表2が三本木原砂の試料を使用している. 一面せん断試験結果の含水比は, せん断試験後の値を示している.

The study of simplified shear strength testing method for unsaturated sandy soils
Nakamura, K.(JSPS Research Fellow), Toyota, H.(Nagaoka Univ. of Tech.)

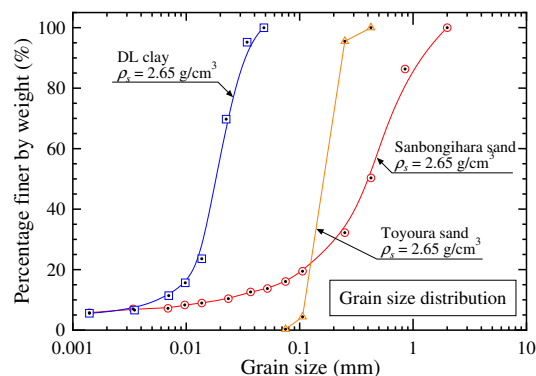


図1: 粒径加積曲線

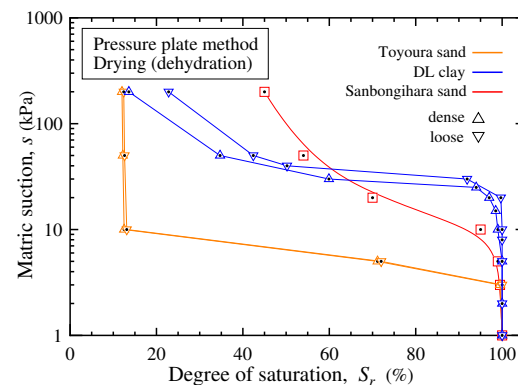


図2: 水分特性曲線

表 2:DL クレイ

	Triaxial shear test			Direct shear test		
	Suction (kPa)	Cohesion (kPa)	ϕ (deg)	w (%)	Cohesion (kPa)	ϕ (deg)
loose	Sat.	0.0	31.2	Sat.	0.0	31.7
	30	15.9	32.3	24	16.1	33.0
	50	19.1	32.4	12	20.1	32.8
$e=0.95$	200	20.6	32.6	6	20.2	32.7
	Sat.	0.0	44.3	Sat.	0.0	43.3
	30	25.2	44.0	24	9.7	44.9
dense	50	29.8	43.2	12	29.1	44.6
	200	30.4	44.6	6	31.2	45.1

表 3:三本木原砂

	Triaxial shear test			Direct shear test		
	Suction (kPa)	Cohesion (kPa)	ϕ (deg)	w (%)	Cohesion (kPa)	ϕ (deg)
loose	Sat.	0.0	34.4	Sat.	0.0	36.7
	10	10.0	36.1	15	7.9	37.5
	50	14.9	36.1	13.5	16.0	36.3
$e=0.68$	100	16.4	38.7	12	17.0	36.8
	200	17.4	37.8	11	18.0	37.0
	Sat.	0.0	40.9	Sat.	0.0	43.3
dense	10	5.3	43.5	15	5.6	43.0
	50	20.1	44.5	13.5	20.6	44.9
	100	23.8	43.9	12	24.0	44.6
$e=0.52$	200	28.0	45.0	11	28.7	45.1

また、この結果を用いて描いた粘着力-飽和度関係を、図3にDLクレイ、図4に三本木原砂を示した。この粘着力-飽和度関係は、サクシオンを測定しながら試験した際に得られる c_{net} -サクシオン関係²⁾に相当する。表からどちらの試料も、一面せん断試験結果と三軸試験結果のせん断抵抗角は、ほぼ等しい値を示している。砂質土のせん断抵抗角は、主に密度(間隙比)に支配されると考えられる。図3、図4から粘着力の変化は、各試料・各間隙比においてよい一致をみせる。サクシオンによる見かけの粘着力は、含水状態(含水比)と密度(間隙比)が重要であることがわかる。図2と表2から、試験を行なった供試体は $S_r=90\%$ と AEV(空気侵入値)にかなり近い。ここで唯一不飽和三軸試験結果と異なる値を示す、密詰めDLクレイ $w=24\%$ について検討する。従って供試体内部は、擬似飽和状態³⁾にあると考えられる。比較対象の加圧板法で行なう排気・排水不飽和三軸試験では拘束圧と間隙空気圧を制御するが、一面せん断試験では鉛直応力しか制御していない。加圧板法では、サクシオンが AEV より小さい場合、サクシオンの増加はそのまま有効応力の増加とみなすことができる。⁴⁾

これは、加圧板法の試験では基底応力 $\sigma - u_a$ で制御するため、 σ は 載荷される間隙空気圧 u_a だけ大きくするが、 u_a はメニスカスを破って供試体内部には伝わらないため、あたかも有効応力が増加したような状態となる。実際の地盤においては、 u_a の分だけ負の間隙水圧が発生して有効応力が増加した状態を意味している。それに対し、一面せん断試験ではサクシオンを制御しないため、供試体に作用する鉛直応力は変化させず、供試体内部に自然と発生するサクシオンに期待することになる。しかしながら、締固めて擬似飽和状態の供試体を作製しても、自然には負の間隙水圧が発生しないため、このような差が出てきたと思われる。以上のことから、飽和土から不飽和土へ遷移する領域での、見かけの粘着力を評価するせん断試験は、サクシオン制御を行う試験法で実施する必要があるといえる。

5. 結論

本研究では、締固め供試体を用いた一面せん断試験と加圧板法による不飽和三軸試験結果を比較検討した。その結果、間隙比・含水比を調整した供試体を作製した場合、一面せん断試験においても不飽和三軸試験と同様の結果を得られることがわかった。注意点としてこの試験法は、ある程度飽和度が低下している供試体に対して有効であり、擬似飽和状態の試料に対しては、原位置の地盤状態を考慮した判断(負の間隙水圧が作用しているか等)が必要になってくる。

今後、粘性土についても同様の検討を行ない、この試験法の適用範囲について検討していきたい。

参考文献

- 1) 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, 地盤工学会, pp.524-541, 2000.
- 2) 不飽和地盤の挙動と評価, 地盤工学会, p.98, 2004.
- 3) ジオテクノート 5 不飽和土, 地盤工学会, pp.3-4, 1993.
- 4) 不飽和地盤の挙動と評価, 地盤工学会, p.125, 2004.

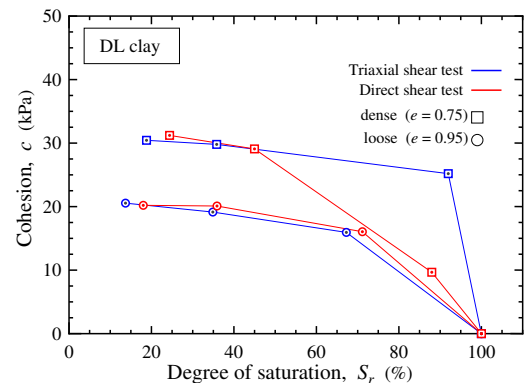


図 3: 粘着力-飽和度関係 (DL クレイ)

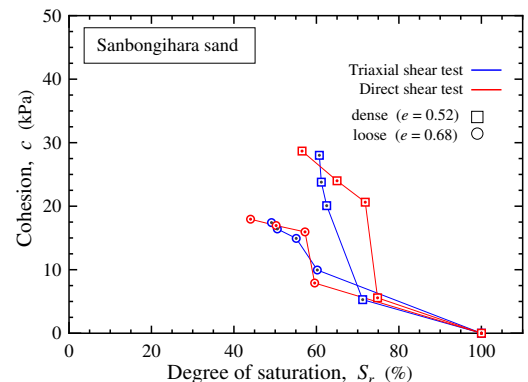


図 4: 粘着力-飽和度関係 (三本木原砂)