

構造的砂質土を用いた三軸並びに単純せん断試験の力学特性の検討

名城大学	学生会員	○藤田 薫・神野駿也
名城大学	正会員	小高猛司
中部土質試験協同組合	正会員	久保裕一
日本工営株式会社	正会員	李 圭太

1. 背景と目的

細粒分を含有する砂質土は、供試体作製時の初期含水比を変えることによって、異なる骨格構造を形成することが我々の研究グループによる過去の実験から分かっている。その性質を利用して骨格構造の異なる供試体を作製して三軸試験を実施することにより、同じ間隙比であっても完全飽和後のせん断強度が大きく異なることを示した¹⁾。本報では、構造的砂質土のせん断挙動に及ぼすせん断モードの影響を検討するために、先に述べた供試体作製時の含水比を変える手法で作製した3種類の骨格構造が異なる砂質土供試体を用いて単純せん断試験を実施し、三軸試験結果と比較しつつ、その結果を示す。

2. 試験機概要

本試験で用いた単純せん断試験機を図1に示す。単純せん断試験は三軸試験と同様に二重負圧法により飽和化後、圧密を行う。単純せん断試験と三軸試験とではせん断方向が異なり、単純せん断試験機は下部ペDESTALが固定されており、上部ペDESTALを水平方向に変位速度一定での載荷をすることで単純せん断を行うことができる。



図1 単純せん断試験機

3. 試験条件

試験試料は、三河珪砂4号と6号、及びシルト分に富む野間精配砂を3:1:3の重量比で混合したものである。この混合割合は、実堤防砂である千歳川北島堤防砂の粒度に合わせて決めた。図2に今回用いた試料の粒度分布を示す。また、表1には今回の実験で使用した各供試体の諸元を示す。今回の実験では、三軸試験、単純せん断試験ともに供試体作製時の含水比を0%、5%、10%とし、3種の骨格構造が異なる供試体を作製し、非排水条件でのせん断試験を実施した。三軸試験で用いた供試体は、直径50mm、高さ100mmの円柱であり、初期含水比5%と10%は外部の鋼製モールドで5層に分けて締固めを行い作製し、0%は供試体が自立しないため試験機内に設置した二つ割りモールドを用いて同じく5層に分けて締固めを行い作製した。単純せん断で用いた供試体は、直径60mm、高さ30mmの円柱であり、3層に分けて三軸試験と同様に作製した。供試体作製後は、二重負圧法により完全飽和を行い、背圧を200kPa作用させて、初期有効拘束圧100kPaで非排水せん断を実施して比較を行った。

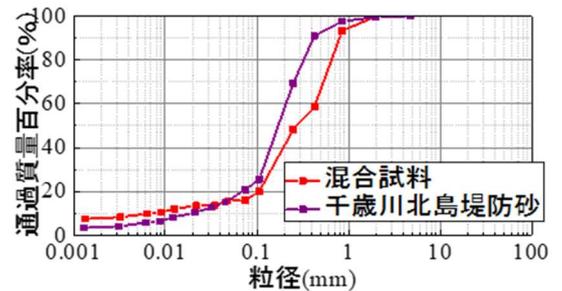


図2 試験試料と実堤防砂の粒度分布

表1 試験条件と供試体の諸元

試験条件	初期含水比 [%]	拘束圧 [kPa]	圧密後 間隙比
三軸試験	0%	100	0.615
	5%		0.645
	10%		0.645
単純せん断 試験	0%	100	0.637
	5%		0.636
	10%		0.636

4. 試験結果

図3に三軸試験から得られた有効応力経路、軸差応力～軸ひずみ関係を示し、図4には単純せん断試験か

ら得られた有効応力経路, せん断応力~せん断ひずみ関係を示す。図3の三軸試験結果を見ると, 初期含水比が高いほど, 初期剛性が大きく, かつ有効応力経路が鉛直に立ち上がる。これは弾性挙動が卓越していることを反映しており, 高い初期含水比で作製した供試体ほど骨格構造が高位であると判断できる。また, 初期含水比 5%と 10%の供試体は軸差応力が最大値を超えた後に, 大きくひずみ軟化するが, これも構造的砂質土の特徴である。一方, 初期含水比 0%の供試体では, せん断初期から急激に塑性圧縮し, 変相後には塑性膨張を伴うひずみ硬化に転じるが, これは構造が低位な典型的な砂質土のせん断挙動と言える。

一方, 図4の単純せん断試験においては, 図3の三軸試験のようなひずみ軟化は観察できないが, どの初期含水比の供試体においても変相前の挙動は三軸試験と類似している。すなわち, 初期含水比が高い供試体ほど, せん断初期の有効応力経路が鉛直に立ち上がり, 高位な構造を有していると判断できる。

三軸試験と単純せん断試験は, せん断モードが大きく異なるために, 両者の試験結果を同一指標で比較する。すなわち, 縦軸に偏差応力テンソルの第二不変量 $\sqrt{2}J_2$ (ここでは便宜的に偏差応力と呼ぶ) を, ひずみの指標に偏差ひずみテンソルの第二不変量 ϵ_s (同様に偏差ひずみと呼ぶ) を算出して整理した結果を図5に示す。図5の有効応力経路を見ると, 変相線がほぼ一致するのに加えて, 初期含水比 0%と 5%の供試体においては, せん断モードが異なるにも拘わらず驚くほど変相点までが一致する。一方, 初期含水比 10%の供試体では, せん断初期で鉛直に立ち上がる弾性挙動を呈する点は共通しているが, 最大せん断応力は三軸試験の方が遙かに大きい。高位な構造を有する鋭敏粘土の顕著なひずみ軟化は, 三軸試験のみで観察される現象との指摘²⁾とこの初期含水比 10%の試験結果は整合している。また, いずれの初期含水比の供試体においても, 両試験の変相後の有効応力経路は大きく異なる。すなわち, 三軸試験の場合, 高位な構造を有する初期含水比 5%と 10%の供試体においてはひずみ軟化の度合いが顕著に, 低位な構造の初期含水比 0%の供試体においてはひずみ硬化の度合いが顕著に現れている。両者のせん断モードが大きく異なるため, 特にせん断後半になるほど供試体の均質性が失われることによって, 応答値であるせん断応力に大きな違いが出てくるのではないかと考えられる。現時点では, どちらの試験が適切であるというような単純な判断はできない。

5. まとめ

供試体作製時の初期含水比を変化させることによって骨格構造の異なる供試体を作製して, 三軸試験と単純せん断試験を実施し, その結果を特に有効応力経路に着目して比較した。両試験はせん断モードが大きく異なるにも拘わらず, 変相までの経路は比較的一致することが示された。最も構造が卓越した初期含水比 10%の供試体では, 大きな最大せん断応力やその後のひずみ軟化現象は, 三軸試験でのみ観察された。

参考文献: 1) 御手洗ら: 砂質土の供試体作製時における初期含水比の違いが力学挙動に及ぼす影響, 第 72 回土木学会年次学術講演会, 2017. 2) 小高ら: 不攪乱・再構成・練返し粘土供試体のせん断挙動の違い, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011.

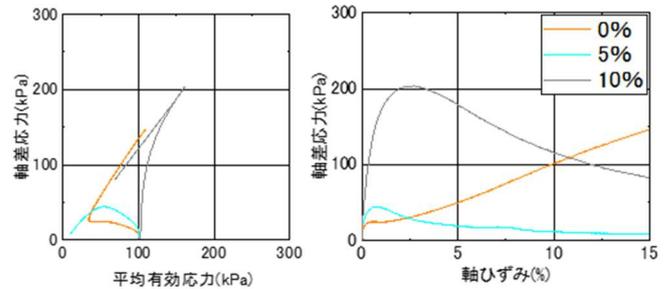


図3 三軸圧縮試験結果

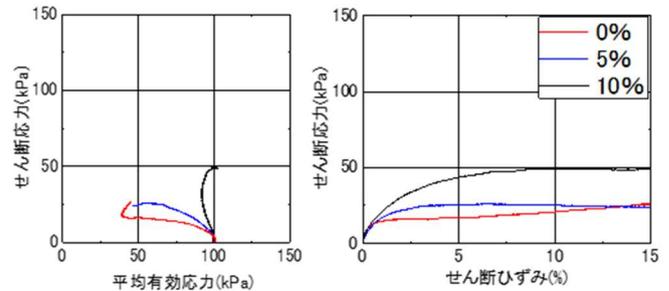


図4 単純せん断試験結果

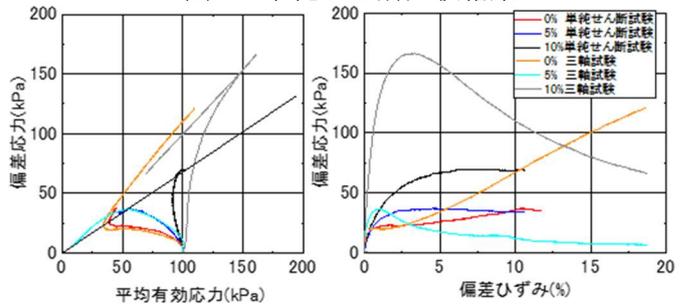


図5 偏差応力と偏差ひずみを用いた整理