

三軸圧縮並びに単純せん断による構造的砂質土と疑似粘性土の力学特性の検討

骨格構造 三軸圧縮試験 単純せん断試験

名城大学 国際会員 小高猛司
名城大学大学院 学生会員 ○藤田 薫
中部土質試験協同組合 国際会員 久保裕一
日本工営 国際会員 李 圭太

1. はじめに

土の骨格構造はせん断抵抗などの力学挙動に影響を及ぼすため、その把握は重要である。著者らは、細粒分を含有する砂質土において、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させることができ、同じ間隙比であっても、せん断強さが大きく異なる供試体を作製できることを明らかにした¹⁾。本報では、同じ手法で骨格構造が異なる砂質土（ここでは構造的砂質土と呼ぶ）の供試体を作製し、力学挙動に及ぼすせん断モードの影響を検討するため、三軸圧縮試験と単純せん断試験を実施し、それらを比較した結果を示す。

また近年、細粒分含有率が高く工学的分類上は粘性土とされる堤防土において、降雨や洪水による大規模な法すべり等の事例が報告されている²⁾。本報では、細粒分含有率 50%の疑似粘性土供試体を作製し、構造的砂質土供試体と同様に、供試体作製時の初期含水比を変えることによって骨格構造を変えることを試み、細粒分が卓越した地盤材料の力学挙動における骨格構造とせん断モードの影響についても検討する。

2. 試験条件

図 1 の粒径加積曲線における下図に示す混合試料が、本報での構造的砂質土である。上図の三河珪砂 4 号と 6 号、野間精配砂を重量比 3:1:3 で混合し、実堤防砂である千歳川北島堤防砂に類似するよう混合した。一方、図 2 の粒径加積曲線に示す混合試料が本報での疑似粘性土である。三河珪砂 6 号と DL クレイを重量比 1:1 で混合し、細粒分含有率を 50%とした。

いずれの混合試料においても、骨格構造を変えるために供試体作製時の初期含水比を 0%、5%、10%の 3 種類とし、以下の手法で供試体を作製し、最終的に表 1 に示すように、三軸圧縮試験と単純せん断試験とで合計 12 パターンの試験を実施した。

三軸圧縮試験に用いた供試体は直径 50cm、高さ 100cm であり、初期含水比 5%と 10%の場合は外部の鋼製モールドにて 5 層に分けて締め固めた。初期含水比 0%の場合は自立しないために、試験機内に二つ割りモールドを設置して 5 層に分けて締め固めた。単純せん断試験に用いた供試体は、直径 60 cm、高さ 30 cmであり、三軸圧縮試験で用いた供試体と同様の手法で 3 層に分けて作製した。表 1 には、それぞれの供試体の相対密度も記載している。同じ密度の試料の作製を試みたが、ややばらついている。

供試体作製後には、二重負圧法によって完全飽和を行い、初期有効拘束圧 100kPa で等方圧密後、非排水せん断試験を実施した。

3. 試験結果

三軸圧縮試験と単純せん断試験の 2 種類の試験で得られる結果の比較を行うのにあたり、それらの試験結果には、応力とひずみ

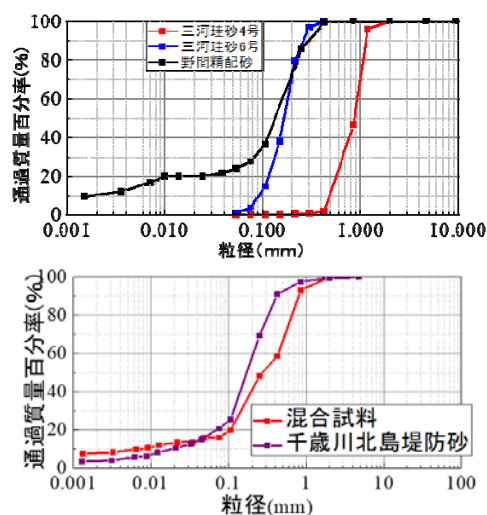


図 1 構造的砂質土の粒度分布

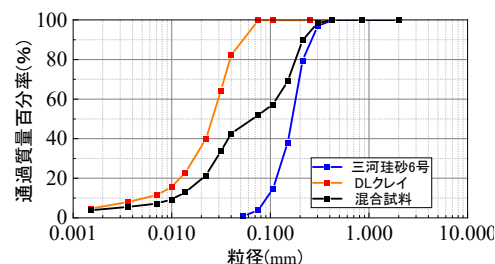


図 2 疑似粘性土の粒度分布

表 1 各供試体の諸元

試験 試料	試験 方法	初期 含水比	相対 密度
構造的 砂質土	三軸 圧縮	0%	68%
		5%	62%
		10%	62%
	単純 せん断	0%	64%
		5%	64%
		10%	64%
疑似 粘性土	三軸 圧縮	0%	71%
		5%	70%
		10%	73%
	単純 せん断	0%	69%
		5%	63%
		10%	63%

のいずれ不変量を用いて整理する。
 具体的には、せん断応力を評価するのにあたっては、偏差応力テンソルの第二不変量 $\sqrt{2J_2}$ （本報では、単に「偏差応力」と呼ぶ）を用いる。また、せん断ひずみを評価するのにあたっては、偏差ひずみテンソルの第二不変量 ϵ 。（本報では、単に「偏差ひずみ」と呼ぶ）を用いる。

図 3 に構造的砂質土の有効応力経路（偏差応力～平均有効応力関係）と偏差応力～偏差ひずみ関係を示す。

有効応力経路では、変相線がほぼ一致することに加えて、初期含水比 0%と 5%の供試体においては、2つの試験のせん断モードが大きく異なるにも拘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は両試験で一致しているが、最大せん断応力は三軸圧縮試験の方が遥かに大きく脆性破壊を示唆する急激なひずみ軟化は三軸圧縮試験結果でのみ見られる。高位な骨格構造を有する鋭敏粘土の顕著なひずみ軟化は、三軸圧縮試験でのみ観察される現象であるという指摘³⁾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、構造的砂質土における三軸圧縮試験の場合は高位な骨格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、低位な骨格構造の初期含水比 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。

図 4 に疑似粘性土の有効応力経路と偏差応力～偏差ひずみ関係を示す。今回用いた疑似粘性土は図 2 の粒度分布からシルト分に富んだ供試体である。それを反映して、細粒分含有率 50%であるものの、全般的に砂質土に近い力学特性を呈している。有効応力経路では、単純せん断試験の初期含水比 0%以外の変相線はほぼ一致した。三軸圧縮試験では、初期含水比 5%の供試体の塑性圧縮の度合いがやや大きい、変相後はいずれも正のダイレイタンスの拘束に伴う硬化を示す。しかしながら、変相後の偏差応力の上昇度合いには大きな差があり、その点に骨格構造の違いが現れている。一方、単純せん断試験では、変相とその後の正のダイレイタンスの拘束による硬化は初期含水比 0%でのみ見られた。しかも、変相線は三軸試験のそれと大きく異なっている。初期含水比 5%と 10%の供試体では、ひずみ硬化もひずみ軟化も見られず、最終的な応力比はほぼ同じになり、それらは三軸試験の変相応力比とほぼ同じである。

図 4 に疑似粘性土の有効応力経路と偏差応力～偏差ひずみ関係を示す。今回用いた疑似粘性土は図 2 の粒度分布からシルト分に富んだ供試体である。それを反映して、細粒分含有率 50%であるものの、全般的に砂質土に近い力学特性を呈している。有効応力経路では、単純せん断試験の初期含水比 0%以外の変相線はほぼ一致した。三軸圧縮試験では、初期含水比 5%の供試体の塑性圧縮の度合いがやや大きい、変相後はいずれも正のダイレイタンスの拘束に伴う硬化を示す。しかしながら、変相後の偏差応力の上昇度合いには大きな差があり、その点に骨格構造の違いが現れている。一方、単純せん断試験では、変相とその後の正のダイレイタンスの拘束による硬化は初期含水比 0%でのみ見られた。しかも、変相線は三軸試験のそれと大きく異なっている。初期含水比 5%と 10%の供試体では、ひずみ硬化もひずみ軟化も見られず、最終的な応力比はほぼ同じになり、それらは三軸試験の変相応力比とほぼ同じである。

4. まとめ

構造的砂質土では、三軸圧縮試験と単純せん断試験の両方において、初期含水比 0%, 5%, 10%と大きくなるにつれて偏差応力が増加し、高位な骨格構造を形成していることが示唆された。また、変相前までは、せん断モードが異なってもそれぞれの有効応力経路が一致することが示された。疑似粘性土においては、細粒分がシルト分主体であったために砂質土に類似した性質を示した。しかしながら、変相線はほぼ一致するものの、初期含水比の違いは力学挙動の違いとしては大きく現れなかった。これは、細粒分の粒径や物理的な性質とも関連していると考えられ、さらなる検討が必要である。

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：細粒分が卓越した疑似粘性土堤防の強度評価の注意点，第 54 回地盤工学研究発表会，2019.
- 3) 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.

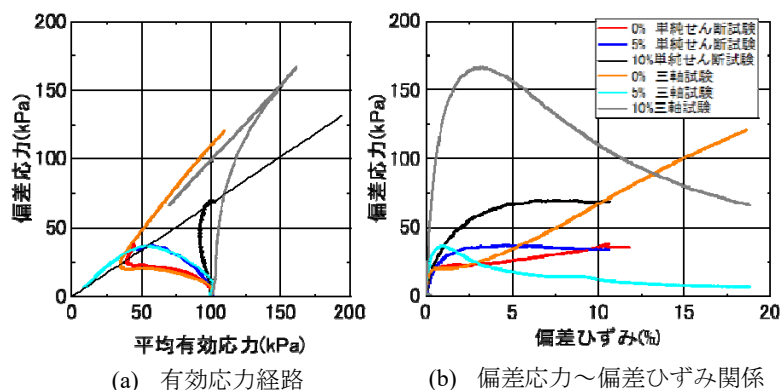


図 3 構造的砂質土 試験結果

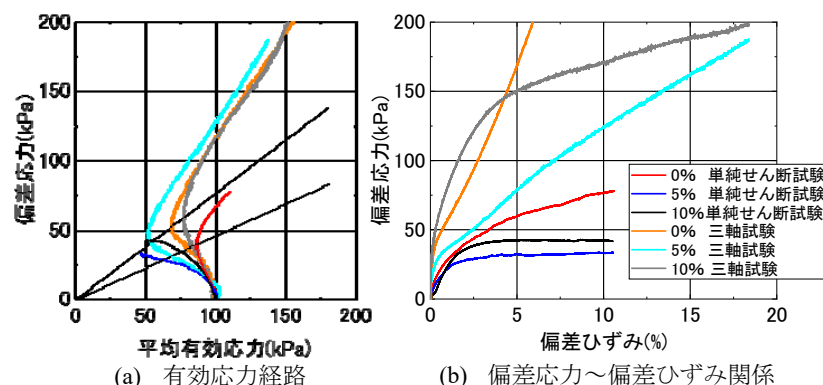


図 4 疑似粘性土 試験結果