

初期構造異方性に着目した砂の非排水せん断特性

福岡大学工学部 学生会員 ○大坪智博
福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

1. はじめに 砂粒子は球状ではなく、一般に幾分細長で扁平な形状をなしている。そのため、自然堆積砂地盤は粒子の定方向配列が生じる。このことを砂地盤の構造異方性と呼んでいる。この構造異方性は砂の変形・強度特性に大きな影響を及ぼすことは、既に多くの研究によって指摘されている^{1),2)}。しかしながら、この研究を液状化特性の影響要因として取り上げた例は少ない。本研究では、砂の液状化特性に及ぼす初期構造異方性の影響について非排水単調三軸せん断試験の結果から検討を行う。実験では、堆積面の有無による影響、粒子形状の違いによる影響に着目して検討を行った。構造異方性を有する供試体は粒子形状の異なる 2 種類の砂を用い、供試体作成方法の違いによって堆積面の有無による影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 本研究では、豊浦標準砂と福岡市志賀島で採取した海砂の 2 種類を用いた。図-1 と表-1 に実験に用いる各試料の粒度分布図と物理特性を示す。また、写真-1 に各試料の顕微鏡写真を示す。豊浦標準砂は、海砂に比べ丸みを帯びた粒子形状を示しており、全体的にほぼ均等大きさをしている。一方、海砂は、さまざまな形状の粒子が含まれ、豊浦標準砂に比べ粒子が角ばっていることがわかる。

2-2 供試体作成方法 堆積面の有無の作成は、供試体を空中落下法(堆積面あり)、棒突き法(堆積面なし)の 2 つの方法で作成し実験を行った。図-2, 3 に示すように空中落下法は、漏斗を用いて所定の高さから試料を落下させ作成する方法である。落下高さを変化させることにより相対密度を調整する。この方法では、供試体は水平方向に堆積面が形成され、強い初期構造異方性を有している。棒つき法は、目標相対密度になるように予め試料の重量を計測しておき、総重量の 10 分の 1 ずつ試料をモールド内に砂を落下させ、棒で各層 100 回ずつ突き、人工的に堆積面を破壊させ、初期構造異方性を消失させる方法である。

2-3 実験方法及び条件 実験には、三軸圧縮試験装置を用いた。供試体(直径 $\phi=75\text{mm}$ 、高さ $H=150\text{mm}$)を作成した後、炭酸ガス、脱気水を通し、背圧 $\sigma_{BP}=98\text{kPa}$ を載荷して、飽和させた。供試体の飽和の確認は、各実験において B 値により行った。いずれの B 値も 0.96 以上であることを確認している。さらに、圧密圧力 $\sigma'_c=49、98、196\text{kPa}$ の 3 種類で、等方圧密を 1 時間行った後、圧縮及び伸張試験により非排水単調せん断試験を行った。表-2 に今回行った実験の実験条件を示す。

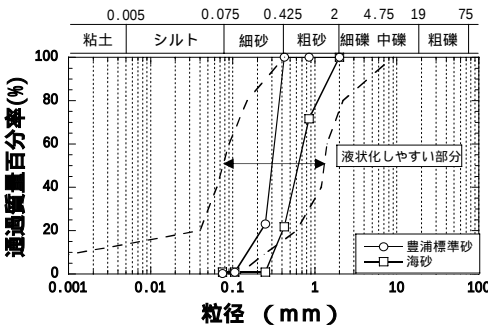


図-1 粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

試料	密度 (g/cm ³)	e _{max}	e _{min}
豊浦砂	2.65	0.985	0.639
海砂	2.64	0.928	0.666

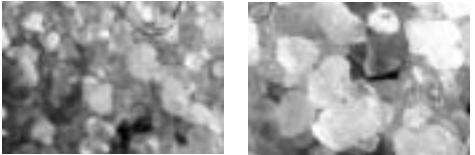


写真-1 各試料による顕微鏡写真



図-2 空中落下法による異方性の影響

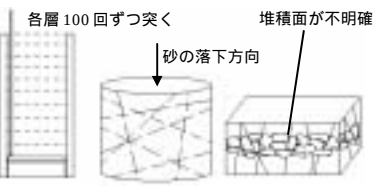


図-3 棒突き法による異方性の影響

表-2 実験条件

試料	供試体作成方法	排水条件	試験条件	圧密圧力 σ_v' (kPa)	目標相対密度 $D_{r(t)}$	実際の相対密度 $D_{r(a)}$
豊浦標準砂	空中落下法 (堆積面あり)	非排水	圧縮	49	80	79.4
				98		81.2
				196		81.8
			伸張	49		84.8
				98		79.7
				196		76.6
	棒つき法 (堆積面なし)		圧縮	49		75.4
				98		76.9
				196		79.3
			伸張	49		78.6
				98		81.4
				196		80.5
海砂	空中落下法 (堆積面あり)	圧縮	98	83.7		
		伸張		85.7		
	棒つき法 (堆積面なし)	圧縮		85.3		
		伸張		85.0		

3. 実験結果及び考察

3-1 供試体作成方法の影響

図-4にDr 80%における豊浦標準砂の試験結果を示す。空中落下法を用い、堆積面を有する供試体は、圧縮側ではせん断初期からひずみ硬化に伴う弱い膨張傾向を示す。変相点を示した後、強い膨張傾向を示している。一方、伸張側ではせん断初期から著しい収縮傾向を示し、変相点を示した後膨張傾向に転じている。圧縮時と伸張時では全く異なった挙動を示し供試体が強い異方性を有していることがわかる。一方、堆積面を無くした供試体は、圧縮側において、堆積面ありと比較するとせん断初期から堆積面ありと比較して強い収縮傾向を示し、変相点を示した後、膨張傾向に転じている。伸張側では、堆積面ありと比べるとほとんど収縮挙動を示さず堆積面ありの供試体とは異なり圧縮側と伸張側でほぼ等方的な挙動を示した。図-5に軸差応力と軸ひずみ関係を示す。圧縮側では、堆積面に関係なく、いずれも密な砂の挙動を示している。しかしながら堆積面なしの供試体は、軸ひずみの増加に伴って軟化していることがわかる。これに対し、伸張側では、堆積面ありの供試体が、いずれの拘束圧においても緩い砂に近いせん断挙動を示し、異方性の存在がある事がわかる。

3-2 粒子形状による影響

図-6に粒子形状の異なるDr 80%における海砂の結果を示す。粒径と粒子形状の異なる砂についても、有効応力経路は豊浦標準砂とほぼ同様な傾向を示していることがわかる。しかしながら、豊浦標準砂に比べて扁平な海砂は、変相点における応力比 η_{pt} が大きい値を示した。図-7に単調せん断試験の結果から別途に行った繰返しせん断試験の結果³⁾の評価を行った。繰返しせん断時の有効応力経路は、繰返し载荷に伴い有効応力が低下し、応力経路は変相線に達した後、サイクリックモビリティを示し、破壊に至っている。堆積面を有する供試体では、ストレスパスが伸張側で変相点線に達し、その後液状化に至っている。これに対し、堆積面が無い供試体では、圧縮及び伸張側において有効応力の低下挙動がほぼ等しく等方的な挙動を示しながら液状化に至っていることがわかる。

4. まとめ

- 1) 砂の非排水せん断挙動に及ぼす異方性の影響は大きく、特に異方性を壊すことにより、等方的な挙動を示すことが明らかになった。
- 2) 粒子形状が異なる事により粒子の噛み合わせ効果が変化し、異方性の度合が変化する事が示された。
- 3) 単調せん断試験の結果から、繰返しせん断挙動を評価することが示された。

参考文献

- 1) 小田匡寛ら：等方的な砂の砂質土の変形・強度特性, 第14回土質工学研究発表会講演概要集, pp373~376, 1979
- 2) 加藤歩ら：砂のせん断強さに及ぼす形状の影響について, 第16回土質工学研究発表会講演概要集, pp477~480, 1981
- 3) 三吉ら：初期構造異方性を有する砂の液状化特性, 平成16年度西部支部発表会講演概要集掲載予定

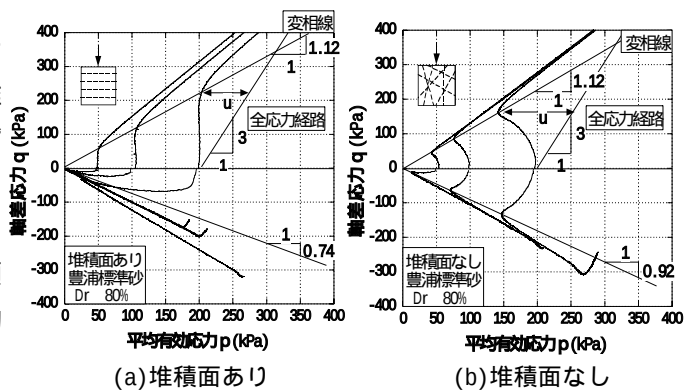


図-4 有効応力経路図(豊浦標準砂)

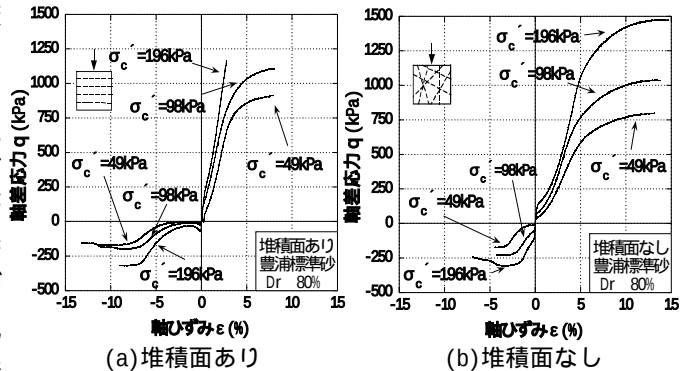


図-5 軸差応力と軸ひずみ関係

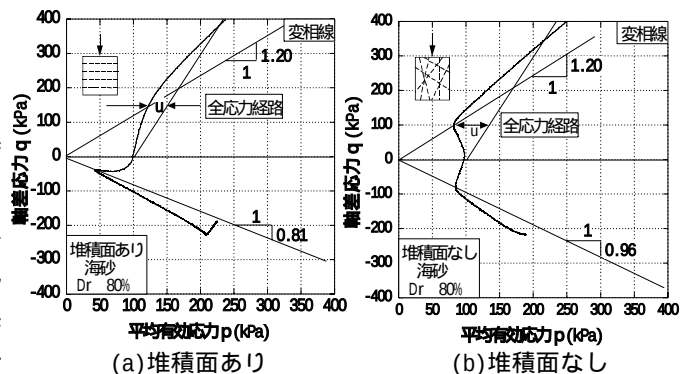


図-6 有効応力経路図(海砂)

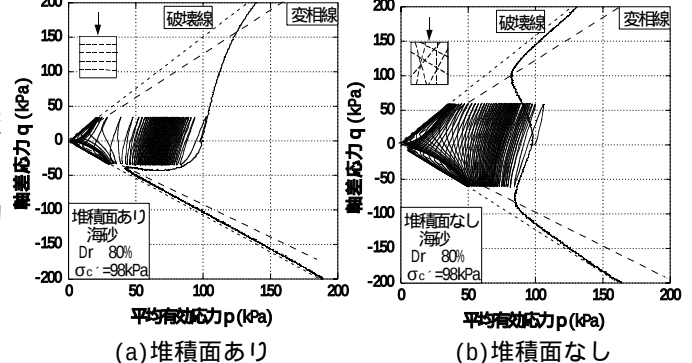


図-7 有効応力経路図(海砂)