

高拘束圧下における破砕性地盤材料の力学的挙動

福岡大学工学部 学生会員 ○東城彰宏

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 山田正太郎

1. はじめに

海上に構造物を建設する際、杭基礎先端部で大きな応力が作用し、杭先端部の粒子破砕が懸念されている。粒子破砕とは、土が受けた力により土粒子が破壊されることをいう。粒子破砕する破砕性地盤には、全海洋の47%以上に堆積している石灰質地盤などが挙げられる¹⁾。また、日本にも多く存在し、沖縄に広く分布するさんご礁堆積地盤、火山噴出物等により堆積された鹿児島県に分布するシラス地盤などがある。このような破砕性地盤材料は一般に特殊土として分類され、通常用いられる土とは違った力学的挙動を示すとされている。そこで本研究では、粒子破砕が顕著に生じうる高い拘束圧下における破砕性地盤材料の力学挙動を、破砕性の小さな材料と比較することにより把握することを目的とする。

2. 実験概要

2-1. 実験に用いた試料

非破砕性材料として豊浦砂を、破砕性材料として沖縄の海底に堆積した砂(以下沖縄砂)を4.75mm以下にふるい分けして用いた。沖縄砂は自然界に存在する砂で珊瑚類、貝殻などが

多く含んでおり粒子破砕を生じやすい試料である。図-1に各試料の粒径加積曲線、物理特性値を示す。両試料とも比較的粒径が揃った試料である。

2-2. 供試体作成方法 供試体の作成には棒突き法とMoist Placement法を併用した。棒突き法は、堆積面を破壊する方法で初期の異方性が小さい供試体を作成することが可能である。Moist Placement法は、あらかじめ試料を湿らせ相対密度の小さい供試体を作成しやすくする方法で、乾燥した試料の最大間隙比を越えるようなゆるい供試体を作成することも可能である。

2-3. 実験方法及び条件 実験に用いた供試体の大きさは、直径 $\phi = 5.0\text{cm}$ 、高さ $H = 10.0\text{cm}$ である。炭酸ガス、脱気水を通し、背圧 $\sigma_{BP} = 300\text{kPa}$ を載荷し、飽和させた。各実験において B 値が0.96以上であることを確認している。実験条件を表-1に示す。両試料の非排水せん断挙動が受ける拘束圧の影響について調べるために、まず、相対密度 D_{r0} がおよそ50, 60, 70, 80%になるように供試体を作成し、次に、圧密段階ですべての供試体がほぼ同じ間隙比になるまで等方圧縮し、最後に、異なる拘束圧下で非排水せん断試験を行った。せん断速度は 0.5mm/min とし、軸ひずみが30%で実験終了とした。なお、実験手順の段階において、供試体作成時の相対密度 $D_{r0}=50\%$ の供試体を $D_{r0}=80\%$ の供試体と同じ間隙比にするためには通常の三軸試験装置で載荷可能なセル圧を大きく超え

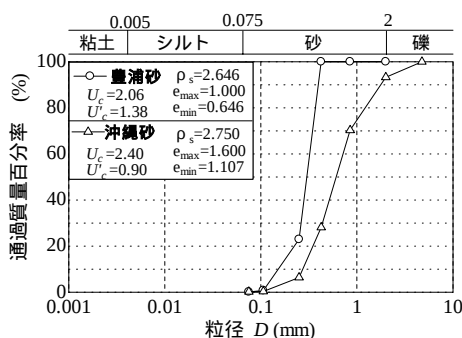


図-1 粒径加積曲線及び物理特性

表-1 実験条件

試料	拘束圧(MPa)	e_0	$Dr_0(\%)$	e	$Dr(\%)$
豊浦砂	0.2	0.718	78.5	0.711	80.2
	2.8	0.758	67.1	0.714	79.4
	5.0	0.774	62.7	0.711	80.2
	8.9	0.819	50.3	0.719	78.0
沖縄砂	0.2	1.226	76.2	1.195	82.6
	0.5	1.279	65.5	1.209	79.7
	0.9	1.315	58.1	1.196	82.4
	1.15	1.336	53.8	1.183	85.2

e_0 、 Dr_0 : 供試体作成時
 e 、 Dr : せん断開始時



写真-1 中容量三軸装置

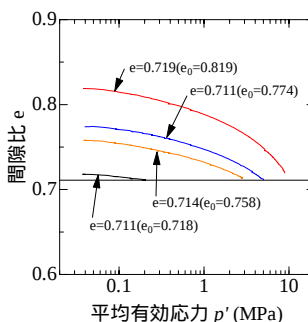


図-2 等方圧縮試験結果 (豊浦砂)

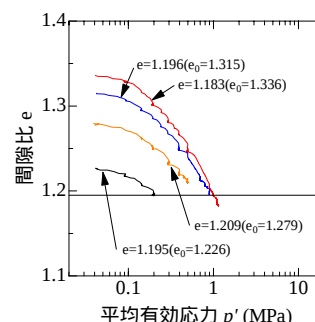


図-3 等方圧縮試験結果 (沖縄砂)

る拘束圧が必要となる。このため、本研究では写真-1に示す三軸試験装置を用いた実験を行った。この試験装置はセル内を水で完全に満たした上で、エアシリンダーを介してコンプレッサで出力可能な一次圧（0.8MPa程度）よりも大きなセル圧を載荷できる仕組みになっており、最大で10MPaのセル圧を発生させることができる。

3. 実験結果及び考察

3-1. 等方圧縮試験結果 図-2, 3に豊浦砂、沖縄砂の等方圧縮試験結果を示す。豊浦砂のような非破砕性材料は、同じ間隙比に圧縮するまでに非常に大きな力が必要なのに対し、沖縄砂のような破砕性材料は、同じ間隙比に圧縮するまでに豊浦砂ほどの大きな力を要していない。このような差は、豊浦砂に代表される一般の砂は等方的な圧力変化に対する圧縮性が極めて低いのにに対し、沖縄砂のように顕著に粒子破碎を生じる試料は一般に圧縮性が高いために生まれる。

3-2. 非排水せん断試験結果 非排水条件において破砕性砂と非破砕性砂で、拘束圧の違いがせん断挙動に及ぼす影響がどのように異なるか調べた。図-4に豊浦砂の非排水せん断試験結果を示す。せん断開始時の間隙比をほぼ一定にすると、ほぼ同じ限界状態に至っている。また図-5に沖縄砂のせん断試験結果を示す。違いが顕著に分かるように、図-4とグラフのスケールを合わせた。豊浦砂と沖縄砂の両試料の試験結果を比較す

ると、硬化の仕方が全く異なり、同程度の相対密度でも非排水強度は破砕性を有する沖縄砂の方がはるかに小さいことが分かる。豊浦砂は拘束圧0.2MPaの試料でも軸差応力は最終的に5.0MPa程度まで上昇しているが、沖縄砂ではいずれの拘束圧でせん断してもそのような顕著な硬化は全く見られない。図-6に沖縄砂のせん断試験結果（図-5）の拡大図を示す。豊浦砂と同様に、沖縄砂でもほぼ同じ限界状態に達していることが分かる。破砕性の有無に応じて硬化の仕方に歴然とした違いが現れる一方で、破砕性材料も非破砕性材料と同様にせん断開始時の間隙比を一定にすると同じ限界状態に至るという性質を有していることが分かる。

図-7に沖縄砂の非排水せん断試験後の粒度分布を示す。いずれの供試体も粒子破碎を生じているが、拘束圧の違いに応じて破碎の程度に若干の違いが生じている。今回行った実験ではそれでもなお、最終的にほぼ同じ限界状態に至ったことは注意が必要で、今後さらに詳しく調べる予定である。

4. まとめ 非破砕性材料と破砕性材料の非排水せん断挙動の相違点として、硬化の程度が全く異なることが上げられ、残留強度は破砕性材料の方が遥かに低いことが分かった。一方、共通点として、非破砕性材料でも破砕性材料と同様に、せん断開始時の間隙比を一定にして非排水せん断すると最終的に同じ限界状態に至ることが分かった。

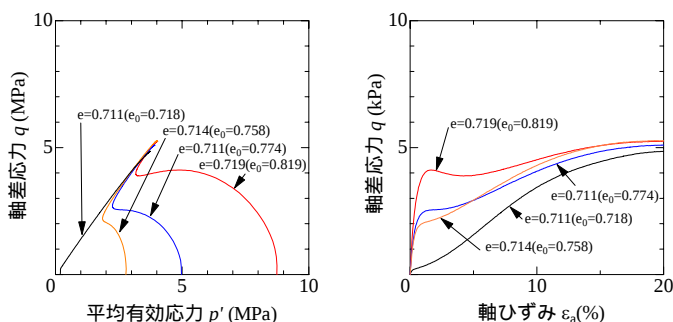


図-4 非排水せん断試験結果(豊浦砂)

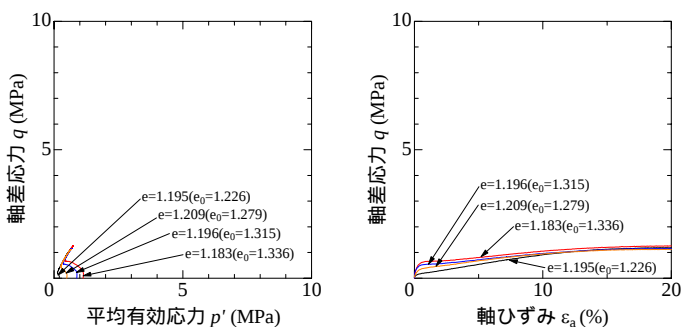


図-5 非排水せん断試験結果(沖縄砂)

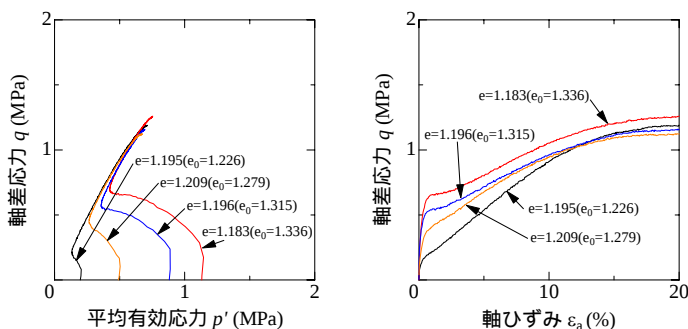


図-6 非排水せん断試験結果(沖縄砂拡大図)

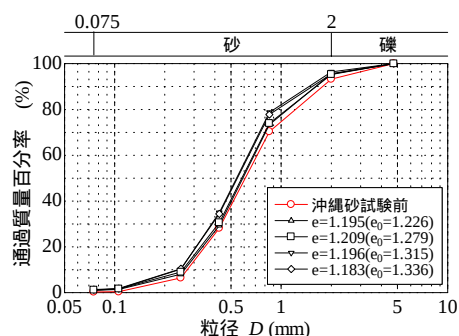


図-7 非排水せん断試験後の粒度分布(沖縄砂)