

カーボネイト砂の非排水せん断特性と粒子破碎

徳山工業高等専門学校 正員 藤原東雄 正員 上俊二
正員 桑嶋啓治 学員 ○多田杏子

1. はじめに

近年、破碎性の大きなカーボネイト系砂質地盤における、杭基礎直下での粒子破碎や変形が問題となっている。従って本研究では、破碎性の異なる2種類の砂を用いて非排水三軸圧縮試験を行い、静的荷重を受けるカーボネイト砂の力学特性と粒子破碎の関係を明確にすることを目的としている。

2. 実験概要

(1) 試料および供試体作成方法

本研究で用いた試料は、山口県秋穂町採取砂（以後秋穂砂）と、沖縄県チイビシ採取砂（以後チイビシ砂）である。秋穂砂は主に石英、長英からなるシリカ系の砂で、炭酸カルシウム成分は含まれていない。チイビシ砂は珊瑚などの海洋生物の遺骸などからなり、破片上の角張った粒子や筒状の粒子が多く、多孔質カーボネイト系の砂で炭酸カルシウム成分を多く含んでいる。そのため、粒子破碎が大きい砂として知られている。これらの2種類の砂の粒径を、あらかじめ2.0mm以下0.075mm以上に粒度調整を行い、供試体は高さ10cm、直径5cmで相対密度 $Dr=50\%$ を目標に、空中落下させることにより作成した。

(2) 実験方法

a) 三軸試験

実験は、三軸せん断試験装置を用いて非排水三軸圧縮せん断試験を行った。脱気水の通水によって飽和させた供試体に鉛直荷重を載荷させ、50kPa、100kPa、300kPa、500kPaの各拘束圧でせん断を行った。本研究では、変相点において発現される軸差応力に着目し、変相点での軸差応力で、両試料の非排水せん断強度を評価した。

b) ふるい分け試験

せん断による粒子破碎を評価するために、試験終了後に試料を採取し、24時間の炉乾燥の後、5層のふるい（0.85、0.425、0.25、0.125、0.075）を用いて、電動ふるい分け試験機による30分のふるい分け試験を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 非排水三軸試験結果

図-1、図-2は、両試料のせん断過程における軸差応力 q と軸ひずみ ϵ_a の関係を示している。これらの図より、両試料とも軸ひずみが1%以下の小さな段階で、軸差応力の増加が顕著であり、変相点を過ぎると軸ひずみも軸差応力も緩やかに増加することがわかる。図-1に示す秋穂砂において、変相点を過ぎてから緩やかな曲線を描いており、ひずみ硬化挙動のみを示している。軸ひずみが15%の時点では、軸差応力の発達は少なくなり、定常状態に至る傾向がみられる。図-2に示すチイビシ砂においては、拘束圧が300kPa以上では、変相点を過ぎると若干ひずみ軟化している様子がみられることから、圧密降伏応力 P_y は300kPa付近にあると考えられる。¹⁾また、変相点を過ぎてからは直線的な挙動で、軸ひずみが15%の時点でも軸差応力は増加しており、定常状態を示していない。また、両試料とも、変相点における軸ひずみおよび軸差応力は拘束圧の増加と共に大きな値を示している。また、どのひずみレベルにおいても拘束圧の増加と共に、軸差応力は大きな値を示すことがわかる。変相点の軸差応力を比較すると、秋穂砂よりチイビシ砂の方が小さく、秋穂砂の方が非排水せん断強度が高いことがわかる。

図-3、図-4は軸差応力 q と平均有効主応力 P' との関係を示した有効応力経路である。両試料とも、せん断初期段階では軸差応力の増加と共に平均有効主応力は減少し、変相点を過ぎて破壊線に達し、それに沿って増加し

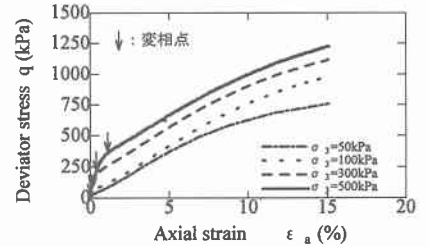


図-1 軸差応力-軸ひずみの関係（秋穂砂）

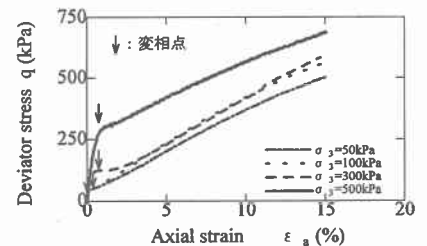


図-2 軸差応力-軸ひずみの関係（チイビシ砂）

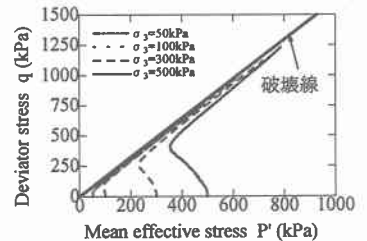


図-3 有効応力経路（秋穂砂）

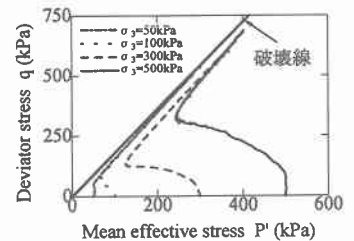


図-4 有効応力経路（チイビシ砂）

ていることがわかる。両試料の破壊線の角度は、ほぼ同じ値を示した。図-3 に示す秋穂砂は、どの拘束圧においても、軸ひずみが15%における平均有効主応力は拘束圧よりも右側に存在し、膨張性の強い挙動となっている。図-4 に示すチイビシ砂に関しては拘束圧が 100kPa 以下の場合、拘束圧よりも右側に存在し膨張性の強い挙動となっているが、逆に拘束圧が 300kPa 以上になると拘束圧よりも左側に存在し収縮性の強い挙動となっている。

図-5、図-6 は間隙水圧 u と軸ひずみ ε_a の関係を示したものである。両試料ともに、間隙水圧が軸ひずみの増加に伴い急激に増加しピークを過ぎると減少していることがわかる。また、両試料とも、ピーク時の間隙水圧が拘束圧の増加に伴って増加していることも読みとれる。ピーク時の間隙水圧において両試料を比較すると、拘束圧が 100kPa 以下のものでは両試料ともに大した差はみられないが、拘束圧が 300kPa 以上のものになると明らかにチイビシ砂の方が高い間隙水圧を示すことがわかる。また、秋穂砂において、軸ひずみが 10%の時点まではどの拘束圧においても、間隙水圧が顕著に減少しており、拘束圧が 500kPa 以外のものは間隙水圧が負となっている。チイビシ砂においては拘束圧が 300kPa 以上では正の間隙水圧を示していることがわかる。

(2) ふるい分け試験と粒子破碎の評価

図-7、図-8 は、非排水せん断試験によって生じる粒子破碎の結果を示している。ここで粒子破碎の評価方法は、試験前後の粒度分布に着目し、Marsal の評価方法²⁾を用いて粒子破碎率 B_M を定義した。これらの図は、粒子破碎率 B_M と粒径の関係を示した加積通過率差である。両試料とも、拘束圧の増加に伴い粒子破碎の量も増加していることが読みとれる。また、破碎性の大きなチイビシ砂よりも、秋穂砂の方が破碎していることがわかる。これは、試験終了時の軸差応力がチイビシ砂よりも秋穂砂の方が約 500kPa も大きいいため秋穂砂の方が破碎しているためと推察される。また、秋穂砂もチイビシ砂も粒径 0.425mm もしくは 0.85mm で最大値が現れることが図より読みとれる。粒径の小さな粒子が増加するときは粒子の角が削られて生じることが推察されるが、比較的大きな粒径が増えているということより、せん断による粒子破碎は比較的大きな粒子自体の破碎が生じていると推察される。

4. 結論

- (1) 秋穂砂、チイビシ砂ともに、初期段階では軸差応力が急激に増加し、変相点を過ぎると軸ひずみも軸差応力も緩やかに増加する。変相点の軸差応力の値がチイビシ砂よりも秋穂砂の方が大きいことから、秋穂砂の方が非排水せん断強度が高い。
- (2) チイビシ砂は、拘束圧が 300kPa 以上になると若干ひずみ軟化している様子が見られることから、チイビシ砂の圧密降伏応力は 300kPa 付近にあると推察される。
- (3) 有効応力経路について、両試料ともに初めに平均有効主応力は間隙水圧の増加によって減少し、変相点を過ぎると破壊線に沿って増加する。
- (4) 秋穂砂はどの拘束圧のものも軸ひずみ 15%の時点の平均有効主応力は膨張側に存在するが、チイビシ砂においては拘束圧が 300kPa 以上になると収縮側に存在する。
- (5) 粒子破碎においては、両試料ともわずかな量であるが破碎が生じる。

参考文献

- 1) 荒巻憲隆：破碎性土の非排水単調および繰返しせん断特性と粒子破碎に関する研究，山口大学博士論文，1997。
- 2) Marsal, r. j. : soil properties-shear strength and Consolidation, Proc. 6th Icsmmfe, Montreal, Vol. 3, pp. 310 ~316, 1965.

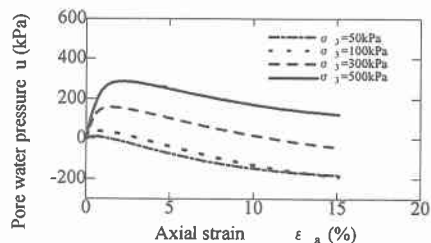


図-5 間隙水圧－軸ひずみの関係（秋穂砂）

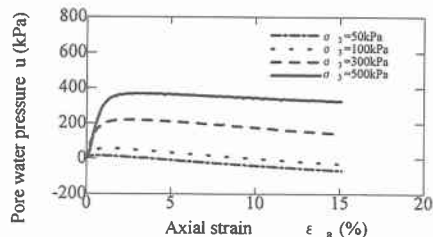


図-6 間隙水圧－軸ひずみの関係（チイビシ砂）

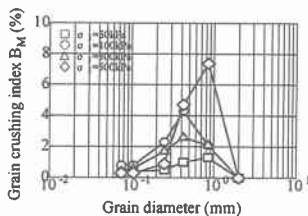


図-7 加積通過率差（秋穂砂）

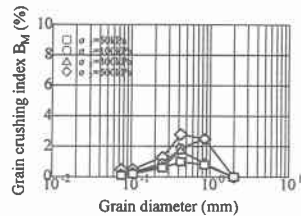


図-8 加積通過率差（チイビシ砂）