

カーボネイト砂の圧縮およびせん断挙動と粒子破碎

福岡大学大学院 学生会員 ○宗石和樹

福岡大学 正会員 山田正太郎 佐藤研一

1. はじめに

これまでに著者らは、砂の力学挙動に与える粒子破碎の影響を把握するために、系統的な三軸試験を繰り返してきた¹⁾。本稿でも高圧三軸試験装置を用いて調べたカーボネイト砂の圧縮およびせん断挙動を示すと共に各供試体の粒子破碎状況について示す。なお、これまでは基本的に実験終了時においてのみ破碎状況を示してきたが、本章では圧縮やせん断過程における破碎状況についても示す。

2. 実験概要

実験に用いた供試体の大きさは、直径 5cm、高さ 10cm である。試料には、沖縄の海底に堆積したカーボネイト砂を 4.75mm 以下にふるい分けして用いた（密度 $\rho_s = 2.750\text{g/cm}^3$ 、最大間隙比 $e_{\max} = 1.600$ 、最小間隙比 $e_{\min} = 1.107$ ）。カーボネイト砂は、珊瑚類の遺骸や、貝殻などを多く含んでおり粒子破碎を生じやすい。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。圧縮前の相対密度 $Dr_0 = 50\%$ ($e = 1.354$) を目標とし供試体を作成した。1つの拘束圧に対し、過圧密履歴を与える場合と与えない場合を設けた。過圧密履歴を与える場合は、等方圧縮過程において、一度 9.0MPa まで載荷した後、各拘束圧まで除荷してからせん断試験を行った。過圧密履歴を与えたのは、一旦高い拘束圧で等方圧縮することによって、せん断前に顕著な粒子破碎を生じさせておくためである。せん断速度は 0.5%/min とした。

3. 実験結果及び考察

3-1. せん断挙動に及ぼす拘束圧の影響 破碎性砂のせん断挙動に及ぼす拘束圧の影響について示すために、各条件におけるせん断試験結果を図-1～4に示す。まず過圧密履歴なしに着目してみると、排水・非排水条件どちらにおいても拘束圧が大きくなるほど正規圧密粘土に近い挙動を示すようになることが分かる。また過圧密履歴なしに着目してみると、排水・非排水条件のどちらにおいても初期に明確な降伏点が現れることが分かる。次に非排水条件における過圧密履歴を与えた場合に着目する。すべての拘束圧において有効応力経路、軸ひずみ、どちらにおいても一点に集束していることが分かる。これは、過圧密履歴を与えたことにより圧密終了時に各拘束圧において間隙比の差がなくなったためであると考えられる。

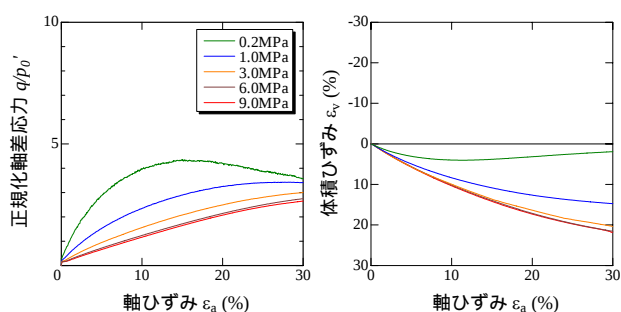


図-1 排水せん断挙動（過圧密履歴なし）

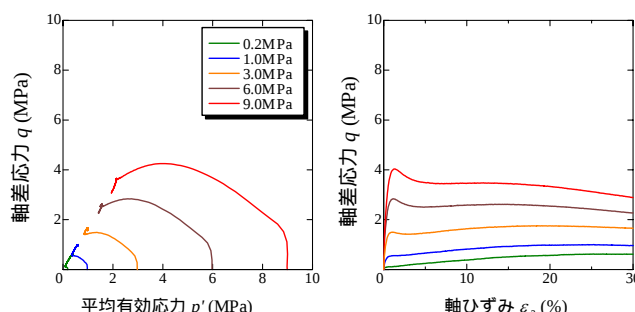


図-2 非排水せん断挙動（過圧密履歴なし）

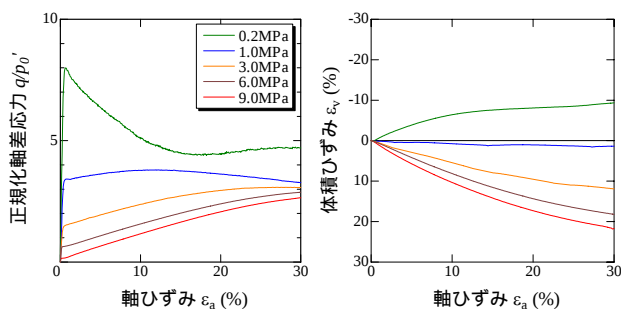


図-3 排水せん断挙動（過圧密履歴あり）

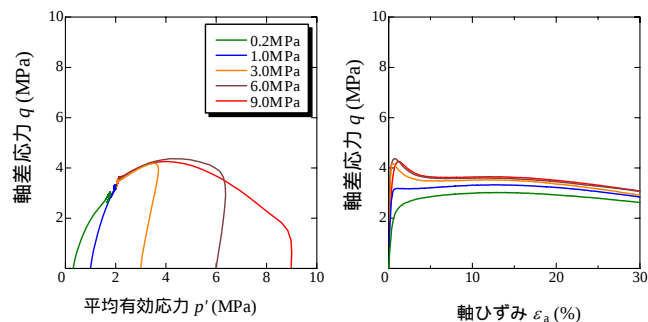


図-4 非排水せん断挙動（過圧密履歴あり）

3-2. 等方圧縮・等方除荷挙動とその間に生じる粒子破碎 破碎性砂の等方圧縮・等方除荷挙動と粒子破碎の関係を示すために、各条件における圧縮試験結果を図-5に示す。なお、破碎量を表す指標には、BM 値²⁾を使用した。まず、等方圧縮挙動に着目してみると、やはり拘束圧が大きくなるにつれ破碎量も大きくなっていることが分かる。また除荷過程に着目してみると、多少破碎量にばらつきがあるものの当然のことながら顕著な変化は見られない。つまり、圧縮過程においては粒子破碎は拘束圧の影響を大きく受け、除荷過程においてはあまり粒子破碎が生じないということが確認できる。

3-3. せん断過程に生じる粒子破碎 各実験の破碎量を、全過程(圧密過程+せん断過程)とせん断過程に分け、図-6に示す。せん断過程における破碎量はせん断前後の粒度を調べることで求めた。なお、せん断直前の粒度は、各実験と同じ条件の実験を別途圧縮終了時まで行うことで求めた。まず、せん断中の破碎量に着目してみる。過圧密履歴の有無に関わらず、排水せん断中は拘束圧が高いほど顕著に破碎が生じるのに対し、非排水せん断中は拘束圧が低いほど顕著に粒子破碎が生じている。非排水せん断中では、拘束圧が高いほど大きなせん断応力が加わっているにも関わらず、せん断中に生じる破碎量は拘束圧が低いほうが顕著なことから、単純に大きなせん断応力が加わるほど顕著に破碎が生じるわけではないことが分かる。また、拘束圧の低い状態では排水せん断中に比べ非排水せん断中に顕著に破碎が生じるのに対し、拘束圧が高い状態では非排水せん断中よりも排水せん断中に顕著に破碎が生じていることが分かる。さらに、一旦高い拘束圧で等方圧縮することによって、せん断前に顕著な粒子破碎を生じさせておいたからといって、せん断中に生じる破碎量はそのような過圧密履歴を受けていない場合に比べて明らかに小さくなるわけではなく、非排水条件では過圧密履歴を与えた場合の方がむしろ顕著に破碎が生じていることが分かる。次に非排水条件の過圧密履歴ありについて着目してみると、全過程では破碎量に大きな差が現れていない。これは図-4において同一の限界状態に達していることに

に対応しており、このことから同一の限界状態に達した場合には破碎量にも差が現れないと言える。

4. まとめ 本研究で得られた知見を以下に列挙する。

- (1) 破碎性砂に過圧密履歴を加えると、排水条件・非排水条件のどちらにおいても明確な降伏点が現れる。
- (2) 過圧密履歴の有無に関わらず、排水せん断中は拘束圧が高いほど顕著に破碎が生じるのに対し、非排水せん断中は拘束圧が低いほど顕著に粒子破碎が生じている。
- (3) 拘束圧の低い状態では排水せん断中に比べ非排水せん断中に顕著に破碎が生じるのに対し、拘束圧が高い状態では非排水せん断中よりも排水せん断中に顕著に破碎が生じる。
- (4) せん断前に顕著な粒子破碎を生じさせておいたからといって、せん断中に生じる破碎量はそのような過圧密履歴を受けていない場合と比べて明らかに小さくなるわけではない。
- (5) 同一の限界状態に達した場合には破碎量にも差が現れない。

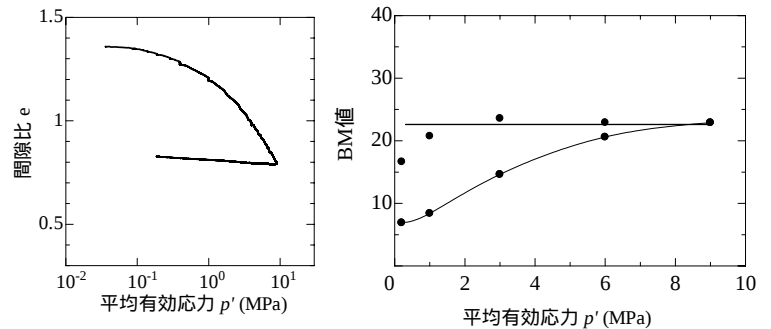


図-5 等方圧縮・等方除荷挙動と粒子破碎

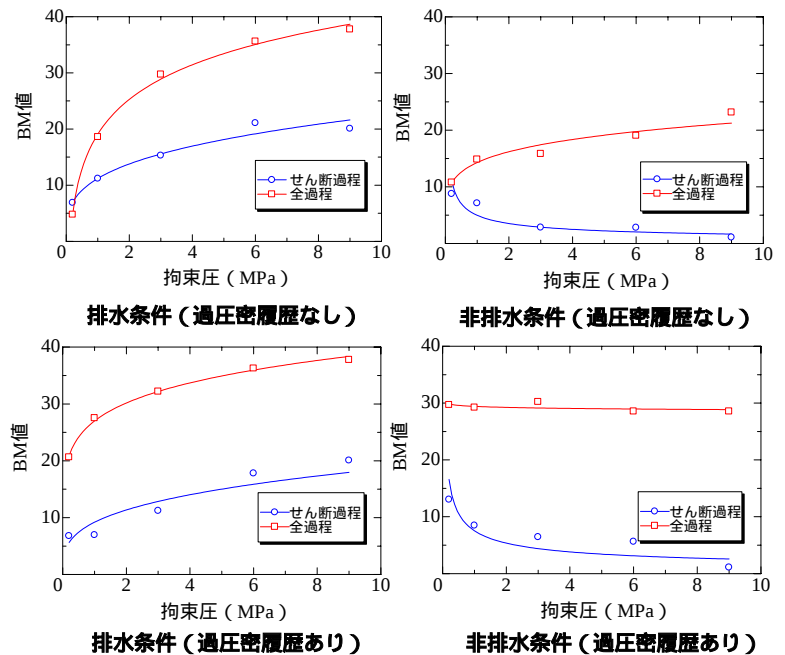


図-6 粒子破碎に与える拘束圧の影響

参考文献 1) 東城彰宏, 山田正太郎, 佐藤研一 (2008): 破碎性地盤材料の非排水せん断挙動に及ぼす拘束圧の影響, 第 43 回地盤工学会概要集, pp.402-403. 2) Marsal, R.J. (1967): Large scale testing of rockfill materials, J., Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 93(2), pp.27-43.