

破砕性砂を対象とした低・中圧三軸試験

九州大学 工学部 学○高原 良太 正 落合 英俊
九州大学 工学部 正 安福 規之 正 大嶺 聖
九州大学 工学部 正 大野 司郎

1.はじめに

カーボネイト系の砂質土をはじめとする破砕性砂は高い圧縮性を示し、支持力低下や沈下の増大など、工学的に多くの問題を含んでいる¹⁾²⁾。本研究では、破砕性砂質土の力学的特性を体系立てて調べるために、比較的広範な拘束圧下で実験可能な三軸試験装置を試作し、それを用いて破砕性の異なる2つの試料について非排水三軸圧縮試験を実施し、拘束圧の違いによる力学挙動の変化を確認した。

2.低・中圧三軸試験装置の試作

本研究で用いた低・中圧三軸試験装置は、破砕性試料の粒子破砕特性を調べることのできる応力域を対象として設計・製作された(写真-1)。主な特徴は、0.05MPa～4MPaの比較的広範な応力域の三軸試験が1式の装置で行えること、コンピュータのプログラミングによる自動制御・自動計測が可能なこと、 10^{-6} 程度の微小変位を測定可能なことである。三軸セルは、拘束圧0.8MPaまでを対象としたセル(低圧用セル)と、0.5MPa～4MPaを対象としたセル(中圧セル)の2つから成る(図-1)。また、中圧域の実験を可能にするために、空気圧を5倍の水圧に変換するブースタを利用した。

載荷台の載荷能力は49MNまでとし、載荷はウォームギアを介したサーボモータを用いて行われた。これによりひずみ制御と応力制御いずれの実験も可能にした。側圧及び軸荷重の制御方法は電空弁(側圧)とサーボ機構を用い、A/DおよびD/Aボードを介してのコンピュータによるフィードバック式自動制御と、コントロールパネルによる手動制御が選択できる。

3.試料の指数的性質

本研究では、破砕性材料としてDogs Bay砂、破砕しにくい材料として豊浦砂を用いた。その指数的性質を表-1に示す。Dogs Bay砂は、粒子自体に多くの間隙を含み、扁平な粒子形状、やや大きな粒子のため、最大・最小の間隙比は豊浦砂に比べかなり大きくなっている。

4.実験の概要

実施した実験は等方圧密非排水三軸圧縮試験(CU試験)である。供試体は、飽和度を高めるために、あらかじめ試料を煮沸脱気した後、水中保存し、内径50mm、高さ100mmのモールドを用いて水中落下法により、緩詰め(作製時の相対密度が約40%)となるように作製した。

また、供試体のセッティング終了後、2重負圧法により脱気を行い、低圧の場合は0.3MPa、中圧の場合は0.5MPaの背圧をかけることによりすべての実験でB値は0.95以上であった。

拘束圧 σ_3 は低圧域として0.1、0.2、0.3MPa、中圧域として1MPaで行い、ひずみ速度は0.2(%/min)とした。

4.実験結果と考察

1) 正規化した有効応力経路

図-2は豊浦砂とDogs Bay砂の正規化した有効応力経路図である。豊浦砂は拘束圧が増加すると正の間隙水圧がより多く発生し、変相点の位置が正規化し

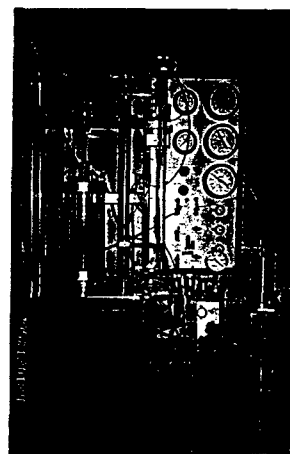


写真-1 低・中圧三軸試験装置

表-1 試料の指数的性質

	G_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	U_c	CaCO ₃ 含有率(%)
豊浦	2.640	0.985	0.606	1.583	0
Dogs Bay	2.717	1.720	1.080	2.308	95

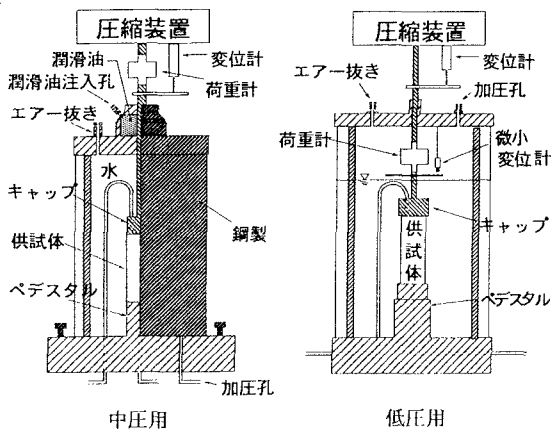


図-1 三軸セル

た平均有効応力 p'/p_0 に対して徐々に低くなる傾向にあることが知られている。今回の実験では、相対密度 $Dr=40\%$ を目標に試料調整したが、結果的に一定とはならなかった。しかしながら、相対密度が低いほど、また拘束圧が高いほど p'/p_0 に対して変相点の位置が低くなる傾向は表れている。また、すべての拘束圧においてひずみ硬化型の応力経路を示した。一方、Dogs Bay砂は、拘束圧の増加に伴い p'/p_0 に対して変相点の位置が低くなり、拘束圧が増加するほど低い正規化偏差応力 q/p_0 で限界状態となっている。すなわちDogs Bay砂の方が豊浦砂よりも拘束圧依存性が顕著で、負のダイレイタンスが大きく、せん断強度が低いことが見出せる。

2) 応力比とせん断ひずみの関係

図-3は豊浦砂とDogs Bay砂のせん断ひずみ ε と応力比 η の関係を示している。2つを比べると、Dogs Bay砂の方が応力比が大きくなっているのが分かる。つまり、Dogs Bay砂の方が強度定数は大きくなる。また、両方の砂とも応力比は拘束圧が増加するのに伴って低下しており、特にDogs Bay砂の $\sigma'_c=1.0\text{MPa}$ において顕著な低下を示している。このような結果から、Dogs Bay砂は豊浦砂と比較して強度定数は大きい、せん断強度は低く表れ、その傾向は拘束圧が大きいほどその傾向が顕著になるといえる。

3) 正規化した間隙水圧とせん断ひずみの関係

図-4は、せん断ひずみ ε と正規化した間隙水圧 u/p_0 の関係を示している。豊浦砂はいずれの拘束圧においても、間隙水圧はせん断ひずみ1.0%程度で最大値を取り、その後せん断ひずみが増加するに従い、減少している。また、 $\sigma'_c=0.1\text{MPa}$ において最小値の u/p_0 は-3.3で、拘束圧の増加に伴って u/p_0 は徐々に上昇し、 $\sigma'_c=1.0\text{MPa}$ ではせん断中常に正の値であった。一方、Dogs Bay砂は負の間隙水圧が全く発生せず、その最大の u/p_0 値は拘束圧の増加に伴い大きくなった。また、 $\sigma'_c=1.0\text{MPa}$ においては、一度増加した間隙水圧がほとんど減少せず、せん断ひずみ3.0%以後は $u/p_0=0.85$ となり、定常状態となった。

5. まとめ

今回の実験を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1) 本研究に用いた三軸試験装置は、比較的広範な拘束圧での試験が可能であり、破砕性砂の力学的特性を把握する上で極めて有用である。
- (2) 破砕性砂は豊浦砂に比して、拘束圧が0.1～0.3MPaの低圧域においても顕著な拘束圧依存性を示し、拘束圧が大きいほど、正規化したせん断強度と応力比は低下する。
- (3) 破砕性砂は、強度定数が大きいにも拘わらず、正規化したせん断強度は低く表れる。

【参考文献】

- 1) 安福規之, 田中邦博, 村田秀一, 兵動正幸: 圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価 (土木学会論文集 No.505/Ⅲ-29)
- 2) 田中邦博, 安福規之, 村田秀一, 兵動正幸: カーボネイト砂の力学特性とその砂中の杭の周面摩擦力特性 (土木学会論文集 No.523/Ⅲ-32)

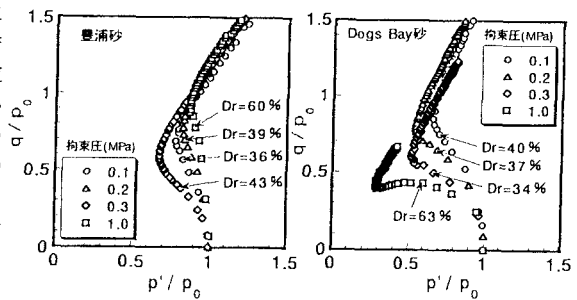


図-2 正規化した有効応力経路

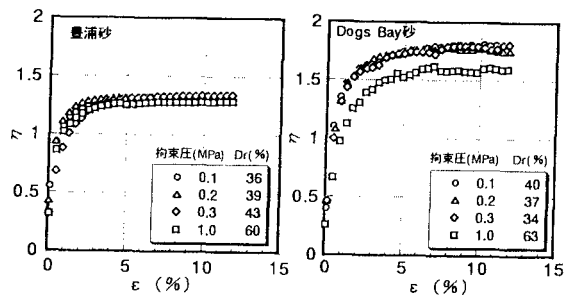


図-3 ひずみと応力比の関係

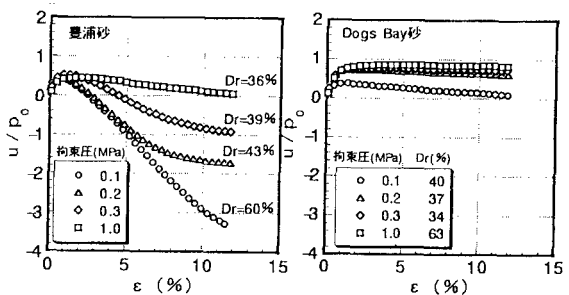


図-4 ひずみと正規化した間隙水圧の関係