## 地盤材料の力学挙動に及ぼす粒子破砕の影響

福岡大学工学部	学生員	今村圭伸	安河内	聡	
福岡大学工学部	正会員	佐藤研一	山田正太	郎	藤川拓朗

中緒せ

1.はじめに 西日本の広い地域に分布する「まさ土」などの風化残積土や南九州に分布する「しらす」などの火山性堆 積物、カーボネート砂など、これらの土の土粒子は粒子表面の脆さや、特異な粒子形状、または多孔質であることに起 因して脆弱であり、工学的に生じうる応力域において容易に粒子破砕が生じる。しかし、これまでの土質、地盤工学の 分野では、一般の土の理論に当てはまらないという理由から特殊土として扱われているのが現状である。また、これま で破砕性を有する土の研究と言えば、粒子個々の破砕に着目するものが多く、試験結果をマクロな視点から捉えようと する動きは必ずしも多くなかった。そこで、本研究では主に三軸試験に現れる粒子破砕の影響を供試体密度の違いに着

目して実験を行った。

2. 実験概要 2-1.実験記

非破砕性材 として豊浦 破砕性材料

<u>c</u>	番号	排水条件	D <sub>r0</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	Dr	番号	排水条件	D <sub>r0</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	Dr	番号	排水条件	D <sub>r0</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)	D
N also I	TD-1	排水	78.5	81.9	3.4	SD-1	排水	86.6	90.4	3.8	OD-1	排水	74.0	83.6	9.6
	TD-2		54.2	57.3	3.1	SD-2		51.6	58.9	7.3	OD-2		60.4	72.1	11.7
	TD-3		46.2	49.9	3.7	SD-3		42.4	51.5	9.1	OD-3		44.5	58.7	14.2
N/N	TD-4		22.6	28.2	5.6	SD-4		24.0	38.2	14.2	OD-4		24.8	42.5	17.7
木斗	TD-5		2.2	8.6	6.4	SD-5		9.1	28.1	19.0	OD-5		0.4	23.0	22.6
	TU-1	非排水	76.3	79.2	2.9	SU-1	非排水	82.5	86.5	4.0	0U-1	非排水	82.8	91.7	8.9
ŧτ/Ν	TU-2		58.8	61.6	2.8	SU-2		58.9	65.4	6.5	OU-2		66.4	77.6	11.2
1111/2、	TU-3		44.5	48.0	3.5	SU-3		34.3	44.8	10.5	OU-3		40.9	55.2	14.3
	TU-4		18.3	22.0	3.7	SU-4		26.5	35.7	9.2	OU-4		22.8	40.2	17.4
L	TU-5		4.3	10.9	6.6	SU-5		1.5	21.7	20.2	OU-5		-8.9	13.0	21.9
	しい訪	<b>北料作成時</b> (	の相対国	密度 D.+	ナん新歴	始時の	相対密度	Dr.D	<b>)</b> _						

して溶融スラグと沖縄の海底に堆積している砂(以下、沖縄砂)を用いた。溶融スラグ



図-1 粒径加積曲線と物理特性

は、ガラス質で比較的粒子破砕が生じやすい材料である。スラグが人工的な材料であるのに対し、沖縄砂は自然界に存 在する砂で、珊瑚、貝類、有孔虫などの石灰質の骨格遺骸とその破片からなり、粒子破砕を生じやすい。両試料とも 4.75mm 以下にふるい分けして用いた。粒径加積曲線と物理特性を図-1 に示す。いずれの試料とも比較的均等径である。 2-2. 供試体作成方法 堆積面ができにくい棒突き法と密度の調節がしやすい Moist placement 法を併用した。Moist placement 法は試料を湿らせ、緩い供試体を作りやすくする方法であり、振動によって密度を調節した。

2-3.実験方法及び条件 供試体の大きさは、直径φ=75mm、高さH=150mm である。炭酸ガス、脱気水を通した後、 背圧σ<sub>RP</sub>=196kPa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。有効拘束圧は 196kPa とした。初期密度と排水条件を変え て実験を行った。せん断速度は約0.5%/minである。表中には試験開始 時とせん断試験開始前の相対密度を示した。これらは試験開始前の最 大・最小間隙比に対する値である。

## 3.実験結果及び考察

3-1.排水せん断挙動に現れる破砕の影響 図-2,3,4 に供試体密度の異 なる豊浦砂、スラグ、沖縄砂の排水試験結果を示す。非破砕性材料であ る豊浦砂は密詰めの状態では軸差応力が一旦ピークを示し、大きく体積 膨張する。中詰めの状態では軸差応力は単調に増加し、僅かに体積膨張 する。緩詰めの状態においては、軸差応力は単調に増加し、体積圧縮し 続けるという挙動を示した。これらは非破砕性材料の排水せん断時に見 られる典型的な挙動である。これに対し、破砕性材料であるスラグの密 詰めの状態でも豊浦砂と同様に軸差応力がピークを示すが、豊浦砂に比 べ膨張量が小さい。自然界に存在する沖縄砂の密な状態においてもスラ グと同様の挙動を示したが、初期に大きな間隙を形成することが可能な 沖縄砂の方がより膨張傾向が抑えられ、圧縮傾向が強くなった。スラグ、 沖縄砂の中詰め、緩詰めの挙動は豊浦砂より体積ひずみが大きくなり、 より圧縮傾向が強くなった。つまり、破砕性材料では密度に関わらず体 積膨張が抑えられ、体積圧縮が大きく生じる傾向にあることが分かった。



3-2.非排水せん断挙動に現れる破砕の影響 図-5,6,7 に供試体密度の 異なる豊浦砂、スラグ、沖縄砂の非排水試験結果を示す。豊浦砂は密詰 めの状態では、試験開始時から硬化し続ける。中詰めの状態では原点に 向かって一旦軟化し、変相線に達した後硬化する挙動を示す。緩詰めの 状態では原点付近まで軟化し、場合によっては液状化するという挙動が 現れる。これに対し、スラグは、有効応力経路では同様な挙動を示して いるが、軸ひずみ-軸差応力関係においては、豊浦砂が下に凸な挙動を 示すのに対し、破砕性材料のスラグは上に凸な挙動を示した。特に密な 試料では、豊浦砂で見られるような著しい硬化が現れていない。一方、 緩い状態に関しても豊浦砂とは異なり、スラグでは原点に達するような 著しい軟化が生じていない。つまり、スラグは極端に密または緩い砂の 挙動を示さないと言える。著しい硬化や軟化が生じにくくなった結果、 いずれの密度でも似たようなせん断挙動を示しているといえる。排水せ ん断と同様に沖縄砂でより顕著に破砕の影響が現れている。

3-3.破砕の状況 密度による破砕の違いが比較的顕著に現れたスラグ の破砕の状況を示す。まず、スラグの圧縮過程後の粒度分布を図-8に 示す。破砕性材料であるスラグは圧縮過程において緩い状態ほど破砕 しやすいことが分かる。これは緩い状態の方が土粒子個々の分担する 荷重が大きいためであると考えられる。表-1から分かるように、破砕 量の大きい緩い試料の方が圧密過程における圧縮量が大きい。次に、



スラグの排水、非排水試験後の粒度分布をそれぞれ図-9.10に示す。排水せん断試験後は、密な状態でも緩い状態でも せん断中に同程度に破砕することが分かる。一方、非排水せん断試験後は、密な状態ではせん断中によく破砕するが、 緩い状態ではせん断中にあまり破砕しない。排水条件によって破砕の仕方に違いが生じるのは、排水試験では同じ有

効応力経路しか辿り得ないからであり、非排水条件では 密度によって有効応力経路が異なるためである。排水せ ん断中に密度に関わらず膨張傾向が抑えられ、圧縮傾向 が強くなったのは、排水せん断中は密度に関わらず顕著 に破砕が生じるためである。一方で、非排水せん断中に 特に密な状態で硬化挙動が抑えられたのは、密な状態ほ どせん断中に顕著に破砕が生じるためである。圧密過程 後と非排水試験後の粒度分布を図-11 に示す。せん断後 の粒度分布に関しては最も密な状態と最も緩い状態につ いてだけ示す。最も緩い試料に関しては、圧密過程終了 後とせん断終了後でほとんど粒度分布に違いがない。破 砕性材料の非排水せん断時に、緩い状態の試料が液状化 を示すほどの軟化を示さないのは、等方中に生じた粒子 破砕の影響であることがわかる。



性材料は圧縮過程では緩い状態ほど顕著に破砕する。(2)排水せん断試験では密度に関わらず同程度に破砕が生じる。 破砕の影響は特にダイレタンシー挙動に現れやすく、膨張傾向が抑えられ、圧縮傾向が強くなる。(3) 非排水せん断 試験では密な状態ほどせん断中に顕著に破砕を生じる。このため、密な試料ではせん断中に生じる破砕の影響で著し い硬化や軟化が生じなくなる。一方、緩い状態では等方圧縮中に生じる破砕の影響で著しい硬化が生じなくなる。 (4) 同じ破砕性材料でも初期に大きな間隙を形成することが可能な沖縄砂の方が顕著に破砕の影響が見られる。