

破碎性地盤材料の力学挙動に及ぼす拘束圧の影響

福岡大学 正会員 ○山田正太郎 佐藤研一
前田建設㈱ 正会員 安河内 聡

1. はじめに 破碎性材料の力学挙動を弾塑性力学に基づき記述することを視野に入れ、破碎性地盤材料の力学挙動について調べた。これまでに密度の影響について示しているが¹⁾、さらに破碎性材料の力学挙動に及ぼす拘束圧の影響について、二種類の試料を用いて実験的に調べたので報告する。

2. 実験に用いた試料 試料は一般廃棄物の熔融スラグと沖縄の海底に堆積した砂(以下、沖縄砂)を用いた。沖縄砂は、珊瑚、貝類、有孔虫などの骨格遺骸を多く含むため粒子破碎を生じやすい。また、スラグは人工的な材料ではあるが、ガラス質であるため比較的粒子破碎を生じやすい。表1に両試料の最大・最小間隙比を示す(これらの値は、粒径の大きさを考慮して、三軸試験用のモールドを用いて計測した)。スラグは粒子が角張っているため、通常の砂より最大・最小間隙比が大きく、沖縄砂は珊瑚の様な多孔質な粒子を含むため、スラグよりもさらに最大・最小間隙比が大きいことが特徴である。

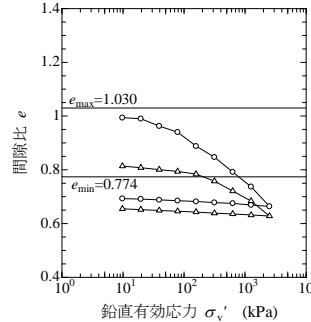


図1 一次元圧縮挙動 (スラグ)

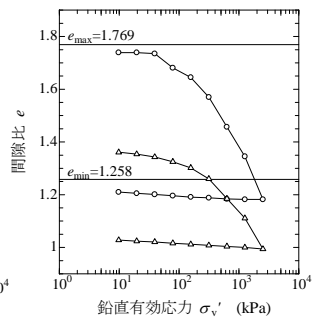


図2 一次元圧縮挙動 (沖縄砂)

3. 一次元圧縮特性 標準圧密試験機を用いて両試料の一次元圧縮特性について調べた。e - log σ'v 関係を図1, 2に示す。図中には圧密リングを用いて計測した最大・最小間隙比と、その値に対する試料の初期相対密度も示す。どの条件においても粒子破碎の影響により一般的な砂に比べ大きな圧縮を示しており、しかも試験開始前の最小間隙比を下回るまで圧縮していることが分かる。また、両試料とも、2.56MPaまで載荷した時点で、密な供試体とゆるい供試体の間隙比の差が大きく減少している。豊浦砂などの一般の砂ではこの程度の荷重ではほとんど圧縮しないため、このようなことが生じにくい。また、沖縄砂とスラグを比較すると、沖縄砂の方がより大きな圧縮性を示している。沖縄砂の方が初期に大きな間隙を形成し、かつ破碎と共に大きな圧縮を示しうる粒子構造を有しているといえる。

4. 三軸せん断特性 実験条件を表2に示す。拘束圧 196kPa および 490kPa 下で、排水および非排水せん断試験を行った。試料の作成方法などは文献¹⁾に譲る。

4-1 排水せん断挙動 図3にスラグの拘束圧 196kPa および 491kPa 下における排水せん断試験結果を示す。これらの結果を比較すると、拘束圧を 491kPa まで増加させると、例えば密な状態であっても殆ど体積膨張せずに、逆に大きく体積圧縮することが分かる。非破碎性材料に比べ、体積膨張が抑えられ、体積圧縮が大きく生じることが破碎性材料の排水せん断時の特徴であるが¹⁾、拘束圧を増加させることでその傾向がより顕著に現れている。また拘束圧を増加させると、軸差応力-軸ひずみ関係において明確なピークを示す挙動が現れなくなることが分かる。これらは拘束圧が高いほど、せん断中に容易に粒子破碎が生じるためであると考えられる。図4に沖縄砂の排水せん断試験結果を示す。沖縄砂もスラグと同様の傾向を示すが、多孔質な粒子を含む沖縄砂の方がスラグに比べ大きな体積圧縮を示している。

4-2 非排水せん断挙動 図5にスラグの非排水せん断試験結果を示す。密な供試体は拘束圧を増加させることで硬化の程度が弱まる傾向にある。逆にゆるい供試体は拘束圧を増加させることで軟化の程度が弱まる傾向にある。密な供試体で硬

表1 試験前の最大・最小間隙比

材料名	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
スラグ	1.118	0.698
沖縄砂	1.600	1.107

表2 せん断試験条件

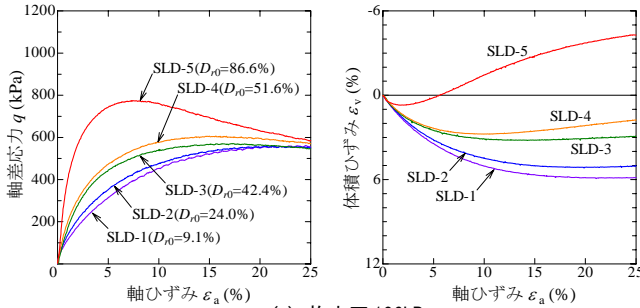
試験名	材料名	拘束圧	排水条件	D_{r0} (%)	D_r (%)
SLD-1	スラグ	196kPa	排水	9.1	28.1
SLD-2				24.0	38.2
SLD-3				42.4	51.5
SLD-4				51.6	58.9
SLD-5				86.6	90.4
SLU-1		非排水	1.5	21.7	
SLU-2			26.5	35.7	
SLU-3			34.3	44.8	
SLU-4			58.9	65.4	
SLU-5			82.5	86.5	
SHD-1		491kPa	排水	3.4	34.9
SHD-2				27.4	51.6
SHD-3				36.6	58.0
SHD-4				53.3	68.0
SHD-5				76.0	84.0
SHU-1	非排水	6.0	41.1		
SHU-2		25.3	50.6		
SHU-3		43.1	62.0		
SHU-4		57.8	72.7		
SHU-5		80.3	88.4		
OLD-1	沖縄砂	196kPa	排水	3.2	25.6
OLD-2				24.8	42.5
OLD-3				44.5	58.7
OLD-4				60.4	72.1
OLD-5				74.0	83.6
OLU-1		非排水	-8.9	13.0	
OLU-2			22.8	40.2	
OLU-3			40.9	55.2	
OLU-4			66.4	77.6	
OLU-5			82.2	91.7	
OHD-1	491kPa	排水	6.6	44.6	
OHD-2			15.3	49.2	
OHD-3			38.6	66.1	
OHD-4			53.4	76.0	
OHD-5			76.3	93.0	
OHU-1	非排水	8.9	51.1		
OHU-2		19.3	54.9		
OHU-3		39.8	68.2		
OHU-4		61.4	81.8		
OHU-5		80.6	97.1		

D_{r0} : 試験開始時の相対密度
 D_r : せん断開始時の相対密度

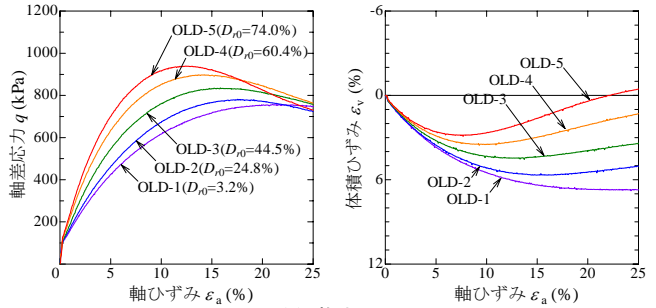
キーワード: 粒子破碎, 三軸試験, 拘束圧

連絡先: 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 TEL 092-871-6631

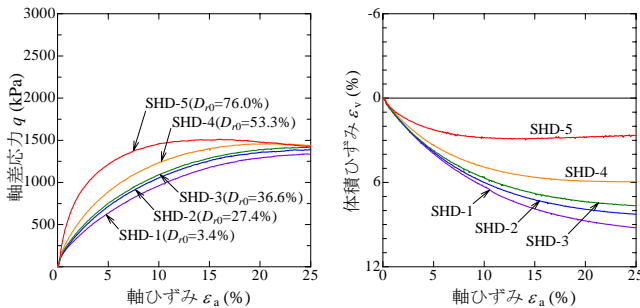
化挙動が弱まるのはせん断中に生じる粒子破碎の影響で、ゆるい供試体で軟化挙動が弱まるのは圧縮中に生じる粒子破碎の影響であるが¹⁾、拘束圧を上げることによって破碎の影響がより顕著に現れている。拘束圧 491kPa の場合は拘束圧 196kPa の場合以上に極端に硬化する挙動や軟化する挙動が存在しなくなり、初期密度が違っていても同じ様なせん断挙動しか示さなくなっている。この様に拘束圧を増加させると挙動が似てくるのは、等方圧縮過程を経ることで密な供試体とゆるい供試体で空隙比の差が小さくなることも単純な理由として挙げられる。図 6 に沖縄砂の非排水せん断試験結果を示す。沖縄砂では 196kPa の時点ですでに粒子破碎の影響が顕著に現れており、より低応力レベルで破碎の影響が現れている。



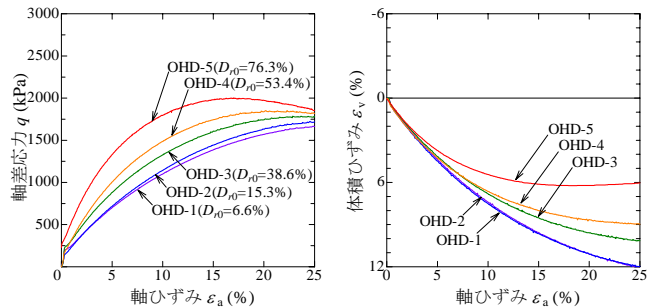
(a) 拘束圧 196kPa



(a) 拘束圧 196kPa



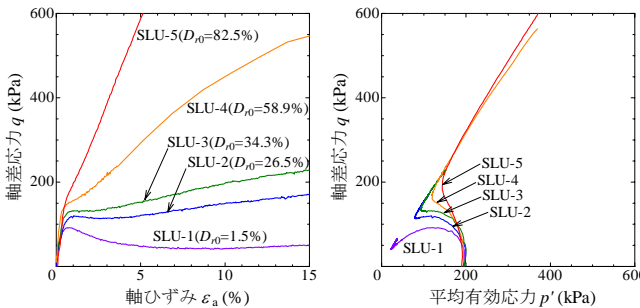
(b) 拘束圧 491kPa



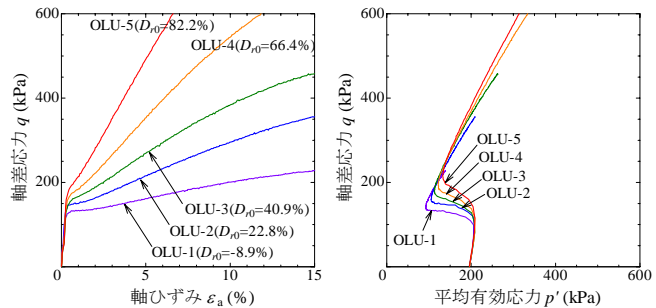
(b) 拘束圧 491kPa

図3 排水せん断試験 (スラグ)

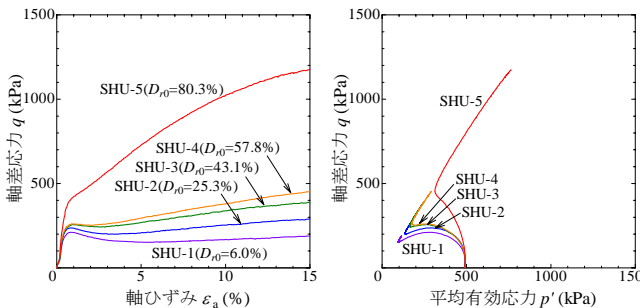
図4 排水せん断試験 (沖縄砂)



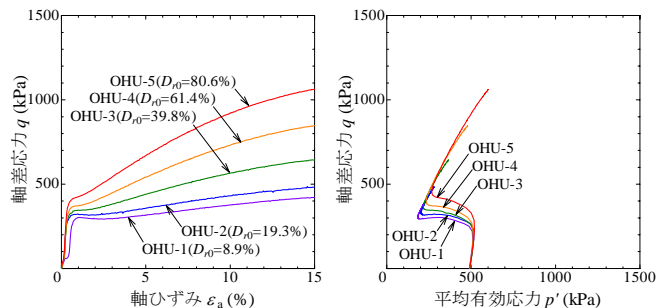
(a) 拘束圧 196kPa



(a) 拘束圧 196kPa



(b) 拘束圧 491kPa



(b) 拘束圧 491kPa

図5 非排水せん断試験 (スラグ)

図6 非排水せん断試験 (沖縄砂)

5. まとめ 拘束圧を増加させることで、粒子破碎の影響がより顕著に現れることを実験的に示した。また、破碎性材料の中でも、初期に大きな空隙を形成しかつ破碎と共に大きな圧縮を示しうる粒子構造を有する地盤材料ほど破碎の影響が顕著に生じやすいことを実験的に示した。

参考文献 1) 山田ら：地盤材料の力学挙動に及ぼす粒子破碎の影響，第42回地盤工学研究発表会概要集，2007(投稿中)。