

種々の砂の三軸圧縮試験結果に関する検討

前橋工科大学 学生会員 吉澤 六三師
前橋工科大学 正会員 土倉 泰

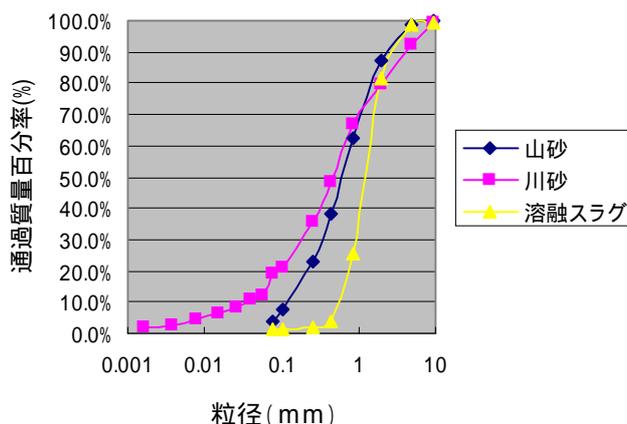
1. はじめに

前橋市の下水汚泥処理施設で作られた溶融スラグは、リサイクル材料として下水事業に砂の替わりとして用いられている。本研究では、この溶融スラグと、実際の土木現場で使用されている山砂・川砂といった材料とで、どの程度強度に差があるのかを三軸圧縮試験を行い比較検討した。

2. 試料および試験方法

試料には利根川上流付近で採取される砂(以下「川砂」と呼ぶ)、赤城村北赤城山マンガン層で採取される砂(以下「山砂」と呼ぶ)、前橋市六供町汚泥処理施設で生成される溶融スラグ、の3種類を用いた。それぞれの粒度分布を図-1に示す。この図を見ると、山砂は9.5mmから0.0016mmまで粒度分布の広い砂になっており、均等係数は18.57である。川砂の均等係数は6.67、溶融スラグの均等係数は2.67である。また粒子の形状については、山砂と川砂は類似しており、両者ともどちらかという、角張っている。一方、溶融スラグは4.75mm~0.85mmが大部分であり、粒度分布の悪い砂だといえる。また溶融スラグは粒子が角張っていて、長いもので27mmに達する。針状の粒子を含んでおり、針状のものを分けてみたところ全体の質量の約7%程あることがわかった。この針状の粒子はふるいにかけても、細長い形状のため、ふるいの粒径の小さいものでも通ってしまうため試験などに使用する場合に多少影響が出るのではないかと思われる。なお、溶融スラグは2mmふるいでふるったもの(最大長さ12~13mm程度の針状のものが含まれている)についても試験を行った。

供試体寸法は、高さ10cm 直径5cmの円筒形で相対密度を25%、50%、75%の3通りに設定し、ウェットタンピング法にて作成した。供試体の飽和には二酸化炭素と脱気水を通し、背圧を98kPaとしてB値0.95以上を得た。また、B値が0.95以上にいたらなかったものは、背圧を98kPa~198kPaほどあげ、多少時間を置いてから再度B値を測り、B値が所定値に達するようにした。なお、圧密排水(CD)条件の下、拘束圧を49kPa、98kPa、118kPaで一定に保った3通りの試験を、変位制御で行った。



(均等係数 山砂 18.57 川砂 6.67 溶融スラグ 2.67)

図-1 各種の粒度分布

3. 最大・最小間隙比

それぞれの試料に対して最大・最小間隙比を調べた。粒径が2mm以下である川砂、2mmふるい溶融スラグについては、JIS A 1224で定められた通常の試験方法¹⁾で行ったが、粒径が2mm以上の礫を含む材料はこの適用範囲外であるため、本研究では山砂と溶融スラグについては直径90mm、高さ60mmのモールドを用いて、漏斗の口を粒子がつかまらないで通る程度の直径17mmほどにし、打撃数はJISの基準と同じ1000回として最大・最小間隙比を求めた。なお、表中には直径90mm、高さ60mmのモールドで豊浦標準砂の最大・最小間隙比を求めた結果も記載しておく。

表-1 最大・最小間隙比

	土粒子密度	最大間隙比	最小間隙比
川砂	2.751	1.012	0.6
山砂	2.721	0.888	0.482
溶融スラグ	2.752	1.016	0.656
2mmふるい溶融スラグ	2.752	1.085	0.699
豊浦標準砂	2.63	0.964	0.604

キーワード：三軸圧縮試験、内部摩擦角、溶融スラグ、砂

連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 前橋工科大学工学部建設工学科 tel.027-(265)-7305

4. 試験結果及び考察

表-2は三軸圧縮試験を行って出た結果である。川砂と熔融スラグについては拘束圧を3通りに変えたものそれぞれのモール円を描いて内部摩擦角を求めた。山砂はデータ不足のため1つのモール円から粘着力をゼロと仮定して内部摩擦角を求めている。

この結果より、相対密度が高いほど内部摩擦角は高くなることはいえる。また、2mm以上の粒子を含んだ熔融スラグでは2mmふるい通過分のみを試料とした場合に比べ、内部摩擦角が高くなっていることがわかる。

図2は4種類の試料に対する主応力差と軸ひずみの関係のグラフを示す。これより、山砂が一番強く次に川砂、熔融スラグの順になっていることがわかる。また2mm以上の粒子を含む熔融スラグでは主応力差が急に落ち、その後回復して落ちる前以上の応力差が出るという結果が得られた。これは2mm以上の粒子を含む熔融スラグのみに起こった現象である。

図-3は三軸圧縮試験から得られた熔融スラグの代表的な主応力差-軸ひずみ関係を示す。いずれの試験結果においても応力差に落ち込みが見られた。これは粒子同士の接触部分で生じたスティックスリップ現象のように考えられる。この現象は拘束圧が小さい程頻繁に生じた。2mm以上の粒子を含む熔融スラグで行った拘束圧49kPaの試験においては、相対密度を変えて行った4本中2本で何度もこの現象が見られた。

図-4には図-3と同じ試験で得られた体積ひずみを示す。この図を見ると、上述の現象が起こるたびに供試体の体積が急激に収縮していることがわかる。また、試験中にこの現象が起こる直前に供試体から粒子の破碎するような音がきこえている。2mmでふるった熔融スラグで試験を行った場合には、拘束圧48kPaのもの軸ひずみ20%程度で1度だけ発生し、その他では起こらなかった。そのため、この現象は大きな粒子(針状のもの)の破碎とも関連すると考えられる。

5. おわりに

山砂・川砂と熔融スラグでは強度にあまり差はなかったため、熔融スラグは強度の観点からは山砂・川砂と同じように使用できることがわかった。また、粒度分布の良い山砂と悪い熔融スラグでもあまり強度が変わらないことがわかった。また熔融スラグではスティックスリップのような現象が発生し、この現象は大きめの粒子の破碎(針状のもの)と関連する可能性が大きいことを確認した。

参考文献

1) 地盤工学会：土質試験の方法と解説、PP.106～112、1990年

表-2 相対密度と内部摩擦

	相対密度 Dr(平均)	内部摩擦角
川砂	77%	40° 41'
	49%	39° 31'
	26%	38° 18'
熔融スラグ (2mmふるい通過分)	74%	39° 21'
	52%	38° 18'
	30%	37° 35'
熔融スラグ (9.5mm通過分)	72%	40° 1'
	56%	39° 21'
	28%	39° 0'
山砂	58%	41° 40'
	18%	39° 41'

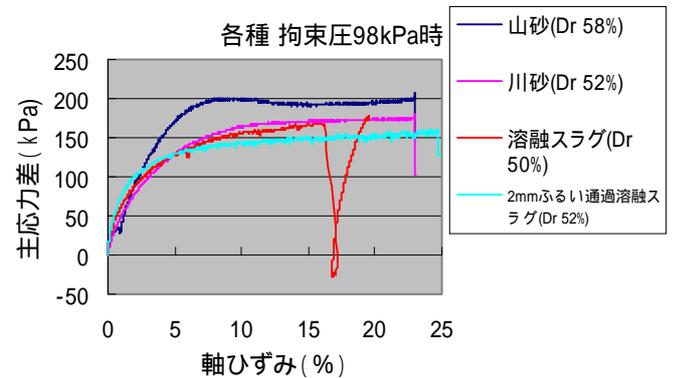


図-2 それぞれの主応力差-軸ひずみの曲線

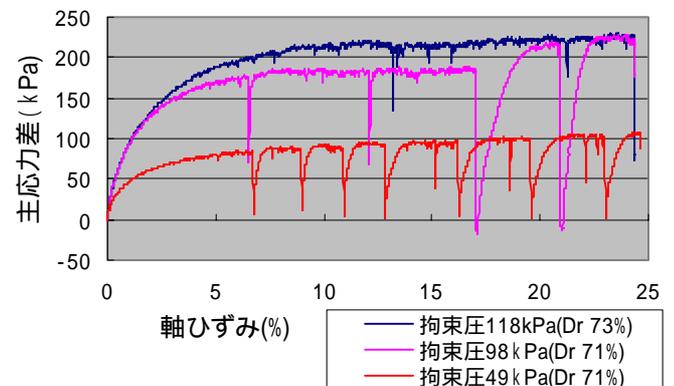


図-3 熔融スラグ(2mm以上含む)の主応力差-軸ひずみ

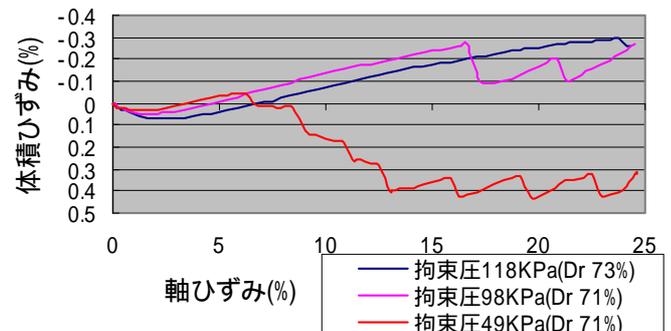


図-4 熔融スラグ(2mm以上含む)の体積ひずみ 軸ひずみ