

汚泥焼成土の基礎力学特性

NEXCO 西日本	正会員	渡瀬梓
神戸大学	非会員	Djoko S Agung
神戸大学	正会員	河井克之
神戸大学	正会員	飯塚敦
埼玉大学	正会員	橘伸也
神戸大学	学生会員	金澤伸一

1. 研究背景と目的

製紙業界では、古紙を再生する際に紙にならない短繊維や無機物が排水中に流失し、それらを濃縮・脱水したペーパースラッジが発生する。一方、浄水場では、取水した原水から水道水をつくる過程で取り除かれた水中の砂や粘土などの濁質や、浄水処理に用いられた薬品類などの沈殿物を集めて脱水処理した、浄水汚泥が発生する。本研究では、これら汚泥を焼成処理した新材料の用途開発を目的とし、基礎物性試験、三軸試験、透水試験、保水性試験を通して、基本的な力学特性を調べることを目的とする。

2. 試料

本研究で使用する試料は、ペーパースラッジ、浄水場発生土を焼成処理したものであり、それぞれ、PS 灰粘土混合焼成物、浄水場発生土焼成物と呼ばれるものである。以下、簡単のため試料 white, red と表記する。SEM による試料の顕微鏡撮影を行ったところ、これら試料には、 $5\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ の空隙が無数にあることが分かっており、試料の土粒子比重が white, red それぞれ 2.58, red は 2.61 でありながら、三軸試験での供試体サイズ(直径 5cm, 高さ 10cm)の円筒紙容器を用いて、最大・最小乾燥密度を求めたところ、white 試料で、 $\rho_{d\max}=1.45\text{g/cm}^3$, $\rho_{d\min}=1.14\text{g/cm}^3$, red 試料で、 $\rho_{d\max}=0.98\text{g/cm}^3$, $\rho_{d\min}=0.75\text{g/cm}^3$ と、相当に低い密度が得られたことから、土粒子事態に大きな間隙を有することが分かる。粒径加積曲線を図-1 に示す。両試料ともなだらかな S 字曲線となり、粒度の良い試料であることが分かる。それぞれの分布は試料 white が粘土 10%, シルト 9%, 砂 57%, 礫 24% であり、試料 red は粘土 11%, シルト 3%, 砂 44%, 礫 42% であった。

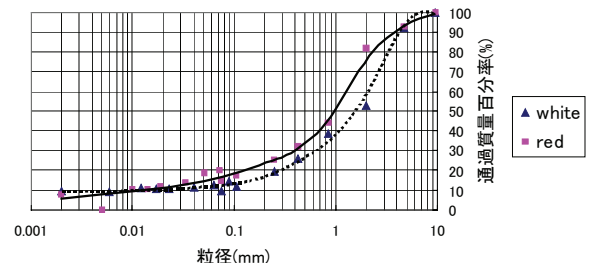


図-1 試料の粒度分布

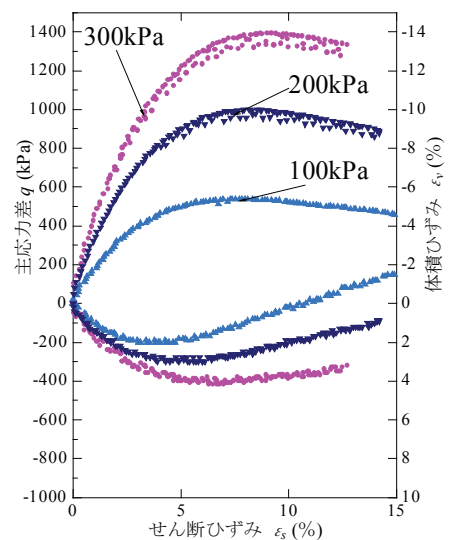


図-2 試料 red(密詰め)三軸試験結果

3. 三軸試験

供試体の初期状態の相対密度を、 $D_r = 80\%$ (密詰め), $D_r = 30\%$ (ゆる詰め)として三軸 CD 試験を行った。拘束圧は 100kPa, 200kPa, 300kPa の 3 パターン、圧縮荷重速度は、0.1mm/min とした。試料は、設置時の飽和度を高めるために、試験前に、真空ポンプに連結したデシケーター内に 1 日、通水してさらに 1 日放置する。供試体設置後、十分に通水も行ったが、B 値は 0.7~0.8 程度であり、微細な空隙の飽和が困難であることが分かった。

試験から得られた、試料 red(密詰め)の応力~ひずみ関係を図-2 に示す。拘束圧の増加とともにせん断抵抗力が増加し、正のダイランシー挙動が抑制されているのが確認できる。一般的に本研究で用いたような、砂やレキ分を多く含み、比較的粒径が大きい試料では、せん断時初期に圧縮が見られるものの、その後大きな膨張傾向に転じるが、密詰め試料の結果でもそれほど大きな膨張は見られない。ゆる詰め試料ではほぼ膨張せずに限界状態に達していた。

図-3, 4 に試料 red の軸差応力~平均有効主応力の関係を表したグラフを示す。密詰め、ゆる詰めとも、ほぼ同じような破壊線が得られた。図中丸印は、三軸圧縮試験中の強度ピーク時の応力状態を表している。ややひずみ軟化傾向があるため、ダイランシーの影響を取り除くために、ダイランシーが圧縮から膨張に転じるとき、圧縮最

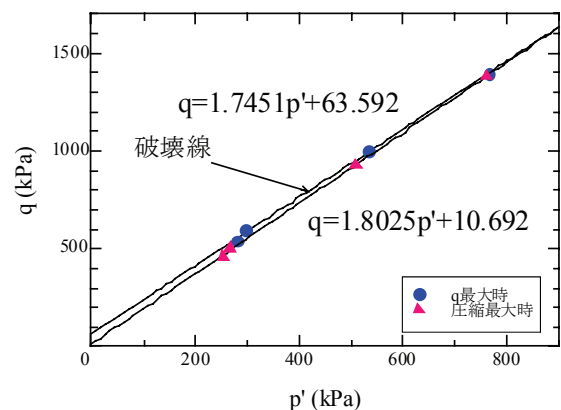


図-3 せん断強度(試料 red 密詰め)

キーワード：汚泥焼成土、三軸試験、保水性試験

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL (078)803-6281 FAX (078)803-6069

大点での応力状態を三角印で示している。その結果、どちらも軸差応力軸に切片を持たない破壊線が得られた。圧縮最大点の応力状態は限界状態を表していると考えられる。ゆる詰め試料ではピーク時の応力状態もほとんど切片を持っていない。これは、試料の破碎特性によるものであると考えられる。前述したとおり、土粒子自体に大きな間隙構造を有するので、実際、手で少し力を加えるだけで大きな粒径の粒子を破碎することができる。

4. 透水試験

三軸試験機に供試体を設置した状態で、定水位透水試験を行った。その結果、試料 white の密詰めで 2.7×10^{-4} (cm/sec), ゆる詰めで 6.9×10^{-4} (cm/sec), 試料 red の密詰めで 9.1×10^{-4} (cm/sec), ゆる詰めで 1.2×10^{-3} (cm/sec) であった。粒径分布のわりには、高い透水係数を有しているといえる。供試体の飽和化が難しく、不飽和状態の透水係数を計測している可能性もあるが、砂相当の透水係数であるため土構造物のドレーン材などへの適用が可能であると考えられる。

5. 保水性試験

試料の水分保持特性を調べるために、土柱試験を行った。図-5 に用いた模型土槽(内径 20cm, 1 層分の高さ 20cm; 5 層)を示す。下から順に 1 層目, 2 層目, 3 層目, 一番上が 4 層目とし、実際の土槽高さは 4 層目モールド上端まで 80cm とした。各層に ADR 土壌水分計とテンシオメーターを設置し、供試体の体積含水率と間隙水圧の計測が可能である。土槽内試料は、三軸試験の密詰め試料と同じ乾燥密度になるように締固めた。試料を飽和させるため、下部から蒸留水を供給し土槽内水位を地表面までもっていき、数時間放置した。その後、10cm づつ水位を下げながら、下部から排水を行い、最終的に土槽下部から 3m 下まで水位を下げた。試験結果から得た水分特性曲線を図-6, 7 に示す。white は 1, 2 層目は水分特性曲線としては不適で 4 層目が正確だと考えられる。red は 3 層目, 4 層目が似たような曲線となっており、どちらも正確だと考えられる。両試料ともに、空気侵入値が低いにも関わらず、50%を超える高い値で飽和度が収束している。特異な水分特性曲線ではあるが、収束飽和度の値が高いことから、保水性は良いと考えられる。土粒子間で保持される水分は低いエネルギー状態にあり、簡単に外部に排出されるが、土粒子細孔に存在する水分は高いサクション値で保持されていることが予想される。

6. 結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 試験では、white, red とともに、一般的な砂と同じような応力～ひずみ～ダイレタンス関係となったが、これらの試料は飽和化が難しいほどの細孔が無数にあることや、破碎特性があることがわかった。
- 2) 透水試験によっても、両試料ともに、砂と同じような透水係数が確認できた。しかし、やはり飽和化が難しいこともあって、不飽和状態で計測している可能性もある。しかしながら、透水は、土粒子が有する間隙をぬって起こるわけではなく、土粒子間の間隙径や間隙形状に依存することを考えると、飽和化が成されてもそれほど得られる透水係数に差異はない可能性がある。
- 3) 保水性試験でもサクションと飽和度の関係は、空気侵入値が低いにも関わらず、50%を超える高い値で飽和度が収束した。また、収束飽和度が両試料ともに比較的大きな値であったことから、これらの試料は保水性が高い試料であるといえる。

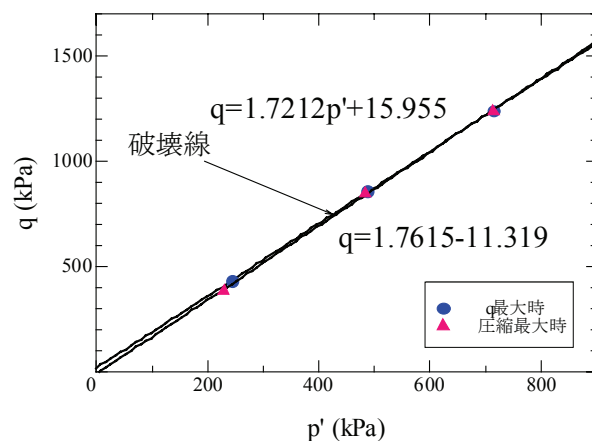


図-4 セン断強度(試料 red ゆる詰め)

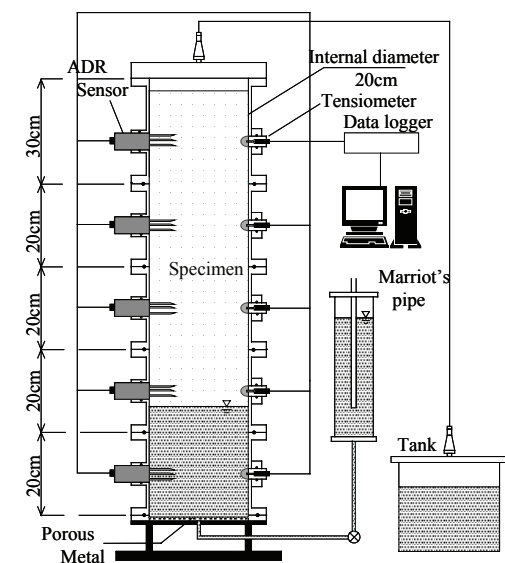


図-5 模型土槽

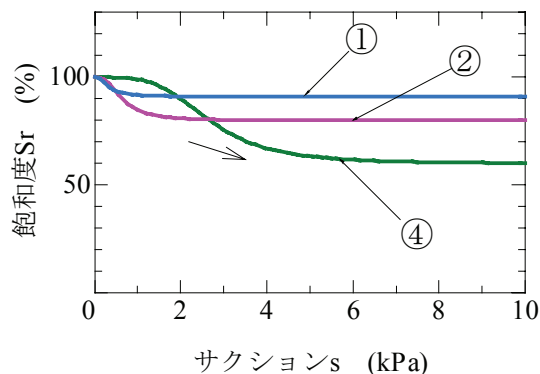


図-6 試料 white 水分特性曲線

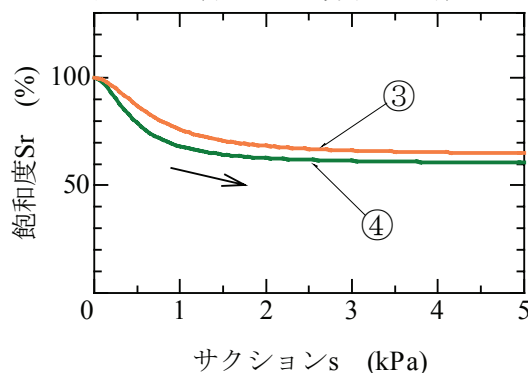


図-7 試料 red 水分特性曲線