

初期密度の異なる廃棄物のせん断強度特性

九州大学大学院 学 ○宮本慎太郎 正 安福規之 正 石藏良平
長崎大学大学院 正 大嶺聖 産業廃棄物処理事業振興財団 非 山脇敦

1. はじめに

廃棄物の不適正保管や不法投棄(以下、「不法投棄等」)が多数見られ、重大な社会環境問題となっている。膨大な量の廃棄物が急勾配で堆積している現場も多く、崩壊や支障等が報告されている¹⁾。廃棄物の安定化問題を考えると、化学的な安定性のみでなく力学的な安定性も含めて評価することは極めて重要であると言える。筆者らはこれまで、土質力学をベースとして廃棄物地盤の力学性状の解明と適切な評価手法の開発を行うことを目指して研究を進めてきた²⁾。本原稿では、開発した一面せん断試験機 (30cm×30cm) により、廃棄物のせん断強度特性に及ぼす初期密度の影響を検討した成果を記す。

2. 廃棄物の概要と試験条件

試験に使用した廃棄物は実際の不法投棄等現場より採取したものであり、廃棄物の組成は図-1 となる。図-1 の各材料名に付随する () 内は質量割合を表す。廃棄物の分類項目は実際の廃棄物の状況や既往の研究等を参考とし、プラスチック類、礫・陶磁器類、金属類、木類、雑物類 (ふるい 5 mm 以下)、その他、の計 7 項目とした。5 kg 分の廃棄物の分類を 3 回以上行い、平均値を組成割合とした。この廃棄物を用いて、せん断箱が幅 30 cm、奥行 30 cm、高さ 15 cm となる一面せん断試験機を用いて試験を実施した³⁾。試験時の供試体の含水比は現場と同様の含水比 $w = 30\%$ で一定としている。初期乾燥密度を $\rho_{di} = 0.70, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 \text{ g/cm}^3$ と変化させて、それぞれに対して上載圧 $\sigma = 1 \sim 200 \text{ kN/m}^2$ で試験を行った。

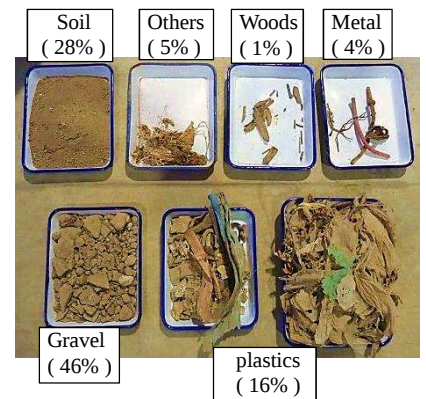


図-1 試験に使用した廃棄物の内訳

3. 初期密度の異なる廃棄物の圧縮・せん断・強度特性

圧縮過程での乾燥密度 ρ_d と上載圧 σ の関係を図-2 に示す。初期乾燥密度 $\rho_{di} = 0.80, 0.85, 0.90 \text{ g/cm}^3$ の試験結果を比較した。廃棄物は拘束圧の増加により大きな密度増加を示した。さらに拘束圧の大きさに応じて、粘性土でみられる過圧密状態と正規圧密状態のような物理状態の変化が認められた。廃棄物は土と同様に弾塑性体であり、圧縮特性に応力履歴依存性があることを示唆している。圧縮特性に及ぼす初期乾燥密度の影響としては、低拘束圧下(過圧密状態)でその影響がよく表れ、初期乾燥密度の違いによって同拘束圧下での密度に差が生じる。しかし高拘束圧下(正規圧密状態)では密度の差が減少していくことが明らかとなった。

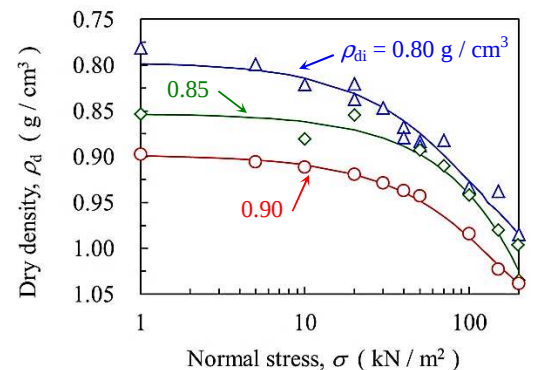
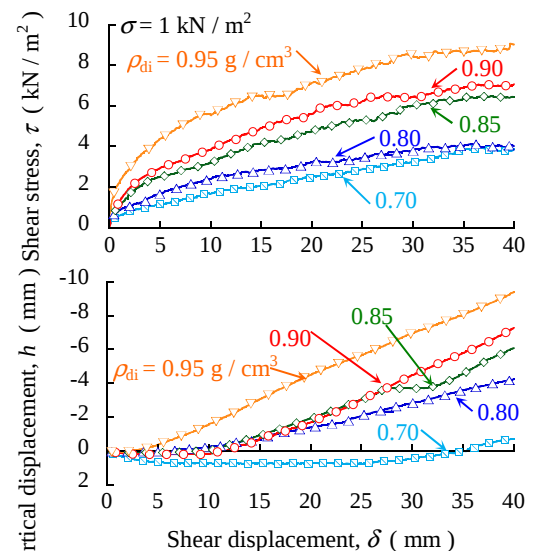


図-2 乾燥密度 ρ_d と上載圧 σ の関係

この密度の拘束圧依存性が、せん断特性に及ぼす影響を検討した。初期乾燥密度が異なる供試体のせん断特性を低拘束圧下 ($\sigma = 1 \text{ kN/m}^2$) と高拘束圧下 ($\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$) で比較した。図-3 に両拘束圧下でのせん断特性を示す。低拘束圧下では、初期乾燥密度が大きい程、せん断応力は増加する傾向を示す。それに対応して体積変化挙動の膨張傾向が大きくなる。しかし高拘束圧下では、せん断応力はほぼ同程度の値を示し、体積変化挙動に明確な違いはみられない。初期密度がせん断特性に及ぼす影響は、せん断前(圧縮後)の乾燥密度に依存しており、低拘束圧下では密度の影響がよく認められ、拘束圧の増加に伴い消失すると考えられた。

せん断特性から廃棄物の強度特性を考察する。図-3 に示すせん断特性において、繊維廃材を多量に含む廃棄物はせん断応力にピーク値を示さないことが確認された。そこでここではせん断変位 $\delta = 35 \text{ mm}$ でのせん断応力をせん断強度と定義した²⁾。粘着力 $c = 0 \text{ kN/m}^2$ としてせん断強度と上



(a) 低拘束圧下 ($\sigma = 1 \text{ kN/m}^2$)

載圧の応力比 $R = \tau / \sigma$ からセカントアングル $\phi_s = \tan^{-1}(\tau / \sigma)$ を算定した。セカントアングルと上載圧の関係を図-4 に示す。セカントアングルは低拘束圧下では上載圧の増加によって顕著に減少し、高拘束圧下では収束していく傾向が確認された。初期密度の違いによる強度特性への影響は、低拘束圧下でよく表れており、高拘束圧下ではあまり認められなかった。

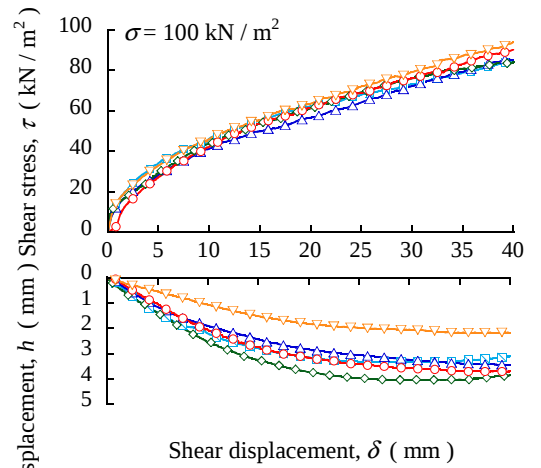
これまでの試験結果から、廃棄物は拘束圧依存による大きな密度変化を生じる材料であり、変形・強度特性も密度変化に依存するものと考えられた。これより、初期密度を基準として Coulomb の規準による強度評価を行うことの不適切性が危惧される。そこで初期密度ではなく、破壊時の密度に着目して、廃棄物の強度特性を整理した。ここではせん断変位 $\delta = 35\text{mm}$ を破壊想定時と定義する。図-5 にせん断強度 τ_f ・破壊想定時の乾燥密度 ρ_{df} と上載圧 σ の関係を示す。せん断強度と上載圧の関係、破壊想定時の乾燥密度と上載圧の関係の両方で、同初期密度条件で一義的な関係性が認められる。これは破壊時の物理状態と応力状態が初期密度に強く依存することを示している。これより廃棄物の強度定数の密度依存性を図-6 に整理した。黒塗りプロットは、破壊想定時の乾燥密度を基準として Hvorslev の規準により有効粘着力 c_e ・有効摩擦角 ϕ_e を算定した結果である。比較のために、Coulomb の規準による粘着力 c ・内部摩擦角 ϕ を白抜きプロットで示した。横軸は破壊想定時の乾燥密度 ρ_{df} と初期密度 ρ_{di} の共軸となる。どちらの規準で算定した場合でも、密度変化による摩擦角の変化はあまり認められず、密度による違いは粘着力に強く影響することが明らかとなった。また破壊時の密度を基準とする Hvorslev の規準によって強度を考えることで、廃棄物の強度定数の密度依存性をより詳細に表すことができている。

5. まとめと今後の展望

廃棄物のせん断強度特性に及ぼす初期密度の影響を以下にまとめる。

- 1) 廃棄物は拘束圧依存による大きな密度変化を生じる材料であり、変形・強度特性も密度変化に大きく依存する傾向を示した。圧縮・せん断・強度特性において、初期密度の違いは低拘束圧下(過圧密状態)でよく現れ、高拘束圧下(正規圧密状態)ではその差は消失していく。
- 2) 廃棄物の強度特性を破壊時の密度に着目して整理することで、廃棄物の物理・応力状態は初期密度に強く依存することが明らかとなった。
- 3) 強度定数は密度依存性を示し、密度の増加によって粘着力は大きくなる傾向を示す。摩擦角はあまり密度の影響を受けない傾向を示した。

本研究では、廃棄物は様々な廃材が混入しているものの、供試体サイズでは見かけ上均一と取り扱うことで、変形・強度特性の把握を行った。今後はより詳細な検討を行い、土質力学の適用限界を明確にする必要がある。(参考文献) 1) Blight, G. E. and Fourie, A. B. : Catastrophe revisited – disastrous flow failures of mine and municipal solid waste, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol.23, pp.219-248, springer, 2005. 2) 宮本慎太郎：プラスチック類の補強効果を考慮した堆積廃棄物の強度評価法の提案, 第 57 回地盤工学シンポジウム 平成 24 年度論文集, pp.111-116, 2012.等 3) 宮本慎太郎：原位置一面せん断試験を用いた堆積廃棄物のせん断強度特性, 第9回地盤環境シンポジウム, pp.319-322, 2011. [謝辞] 平成 23 年度「循環型社会形成推進科学研究費補助金」(課題番号 K22033)の支援を得た。



(b) 高拘束圧下 ($\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$)

図-3 せん断特性に及ぼす初期密度の影響

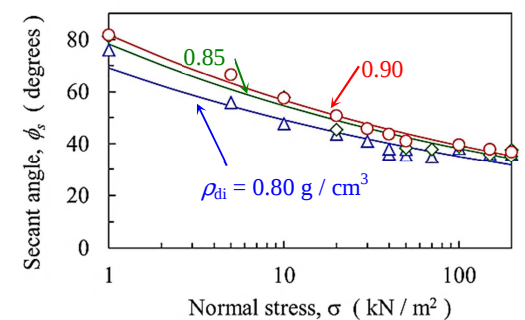


図-4 セカントアングル ϕ_s と上載圧 σ の関係

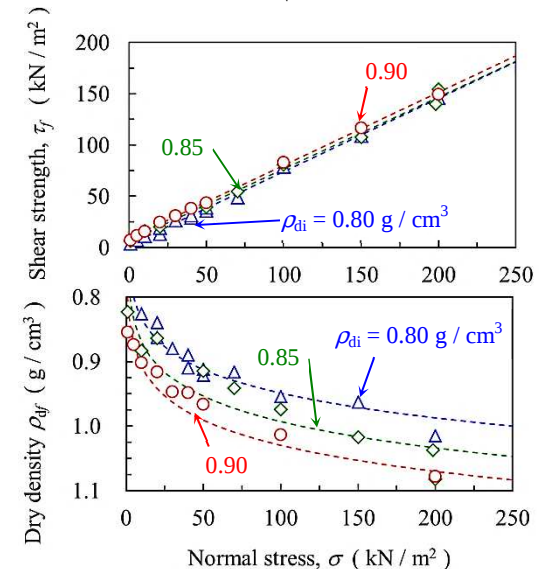


図-5 破壊想定時の応力状態と乾燥密度の関係

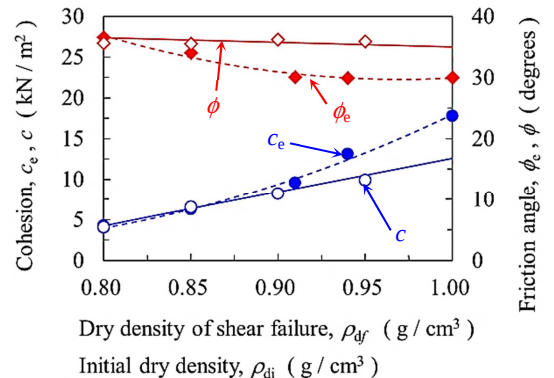


図-6 乾燥密度 ρ_{di} と上載圧 σ の関係