

製紙スラッジ焼却灰の工学的特性

大同工業大学 正会員 大東憲二
水谷建設 稲熊一仁
太洋基礎工業 横山 光

1. まえがき

今日、我々が生活する上で増え続ける一般及び産業廃棄物は、我々の生活水準の向上の現れであると共に大きな社会問題になっている。しかし、埋立処分場には、今も絶えずゴミの焼却灰や自動車などの破碎ゴミが持ち込まれ、処分場の許容範囲を確実に減らし続けている。そこで本研究は、産業廃棄物に分類される製紙スラッジ焼却灰の埋立跡地の有効利用を念頭に置き、その締固め特性、圧縮特性および強度・変形特性を調査し、最適な締固め方法を見出すことを目的とした。

2. 試料と実験の概要

2. 1 試料とした製紙スラッジ焼却灰

産業廃棄物に分類される製紙スラッジは、紙を製造する工程で副次的に発生するパルプチップの絞りかすのことである。製紙スラッジ焼却灰は、現在、管理型処分場に埋立られている。一般にゴミの焼却灰の力学的な性質については、過去に幾つかの研究報告¹⁾があるが、製紙スラッジ焼却灰の圧縮挙動に関する研究は少ない。今回用いた試料は、製紙スラッジを約800℃で焼却した焼却灰である。製紙スラッジ焼却灰の主要成分を表1に示した。

表1 製紙スラッジ焼却灰の主要成分

Si (シリカ)	11~16%	Ca (カルシウム)	12~20%
Al (アルミニウム)	7~14%	Mg (マグネシウム)	1~3%
Fe (鉄)	6~15%	Cl (塩素)	0.05~0.1%

これらの成分は、添加剤（漂白、光沢、強度などを調整）の中に含まれており、これらの主要成分から、製紙スラッジ焼却灰は有機物をほとんど含まないことが分かる。

2. 2 実験の種類と目的

今回行った実験は、密度試験、粒度試験、突固めによる締固め試験、一軸圧縮試験の4種類である。密度試験と粒度試験では、製紙スラッジ焼却灰の工学的特性を表す上で必要な焼却灰粒子の密度と粒度分布を求めた。突固めによる締固め試験と一軸圧縮試験では、それぞれ締固めエネルギーを140%、120%、100%、80%、60%に変化させた供試体を用いた試験を行い、締固め試験からは、最適含水比と最大乾燥密度の関係を、また、一軸圧縮試験からは、締固めエネルギー—一軸圧縮強度の関係と締固めエネルギー—変形係数の関係を明らかにすることを目的とした。そして、これらの試験結果から最適な締固めエネルギーを求め、製紙スラッジ焼却灰埋立地盤の有効利用について検討した。

Engineering Properties of Ashes burned Paper Sludge : Kenji Daito (Daido Institute of Technology), Kazuhito Inaguma (Mizutani Construction Co., Ltd.), Akira Yokoyama (Taiyo Kiso Kogyo Co., Ltd.)

「構造的な増大」?

3. 実験結果

3.1 密度試験

今回の実験は、土粒子の密度試験と同じ方法で行い、焼却灰粒子の密度 ρ_s を求めた。この結果から、製紙スラッジ焼却灰粒子の密度は 2.73g/cm^3 であり、普通の土粒子に近い密度であることが分かった。今回の製紙スラッジ焼却灰は、約 800°C の高温で焼却してあるために色が赤褐色であるものの、触った感じが砂とほぼ同じであった。

3.2 粒度試験

今回は、粒度試験の中の沈降分析を省略し、全ての試料をふるい分けした。手順としては、気乾燥試料を 2mm ふるい残留分と 2mm ふるい通過分に分けた。そして、 2mm ふるい残留分は、 $75, 53, 37.5, 26.5, 19, 9.5$ および 4.75mm のふるいで、 2mm ふるい通過分は、 $0.85, 0.425, 0.25, 0.16$ および 0.075mm のふるいでふるい分けして、各ふるいに残留した試料の質量を測定した。そしてこれらの測定値から、図1に示すような製紙スラッジ焼却灰の粒径加積曲線が得られた。この粒径加積曲線から、均等係数 $U_c=2.0$ 、曲率係数 $U'c=1.5$ が得られた。

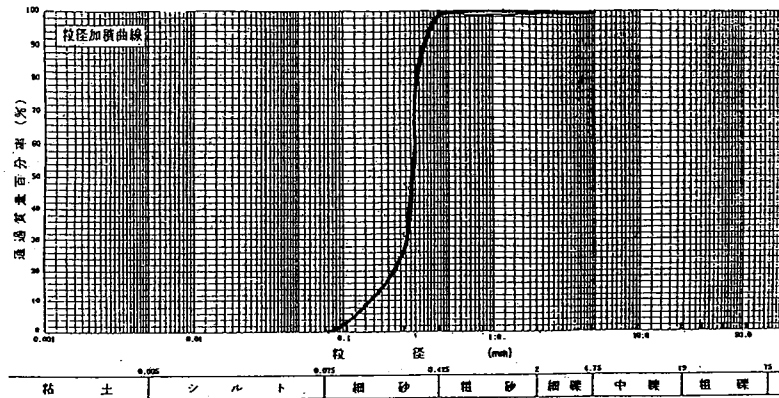


図1 製紙スラッジ焼却灰の粒径加積曲線

3.3 突固めによる締固め試験

今回の試験手順は、通常の土に対する試験と同様に初期含水比を測定し、そこから徐々に水を加えて含水比を高くしながら、重さ 2.5kgf 、落下高さ 30cm のランマーと直径 10cm 、高さ 12.68cm のモールドを用いて、一層あたり 25 回を 3 層に分け、これを締固めエネルギー 100% として突固めた。この他にも、一層あたり 35 回、 30 回、 20 回、 15 回とエネルギーを変化させた締固め試験も行った。これらの測定値を基にして作成した締固め曲線とゼロ空気間隙曲線を図2に示した。

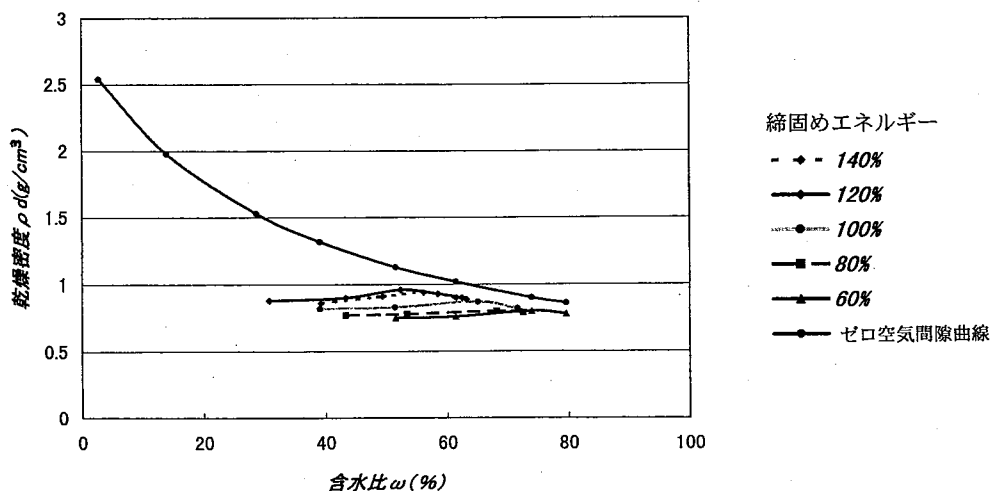
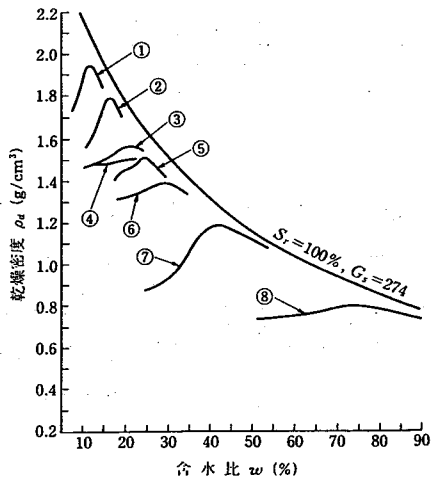


図2 製紙スラッジ焼却灰の締固め曲線とゼロ空気間隙曲線

図2を見ると、締固めエネルギーを変化させた5本の締固め曲線ともほぼ平らで、含水比が変化しても乾燥密度にあまり大きな変化が見られないことが分かる。また、図2と図3に示す代表的な土の締固め曲線²⁾と比較した結果、製紙スラッジ焼却灰の締固め曲線は、⑧の火山灰質粘性土の締固め曲線の傾向によく似ていることが分かる。



①	シルト質砂
②	粘土質砂
③	粘土
④	粒度のわるい砂
⑤	シルト (低液性限界)
⑥	シルト (高液性限界)
⑦	火山灰質砂
⑧	火山灰質粘性土 (Ⅱ型)

⑦、⑧は九州阿蘇地方の火山灰質土

図3 代表的な土の締固め曲線

次に、図2のグラフで重って見分けのつけにくかった5本の締固め曲線を拡大したグラフを図4に示した。

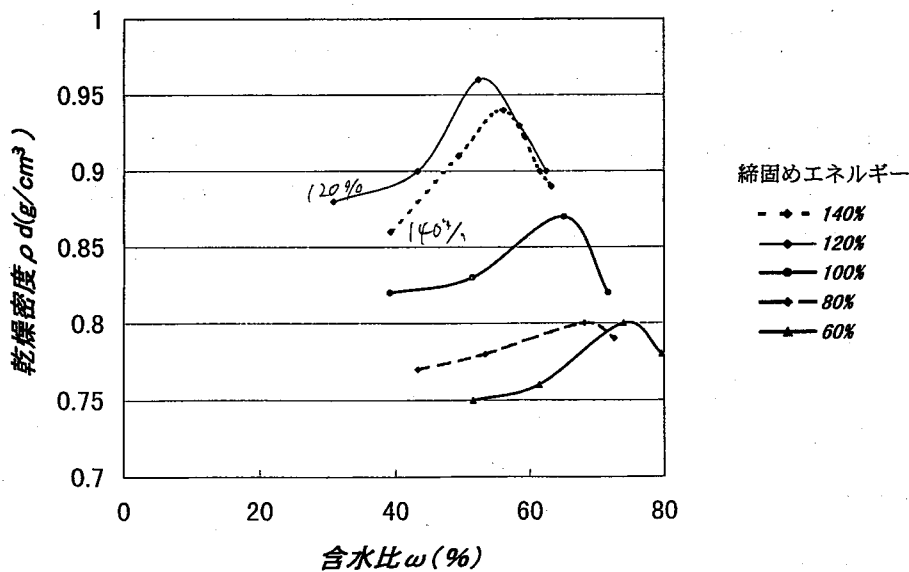


図4 拡大した製紙スラッジ焼却灰の締固め曲線

図4を見ると、各締固め曲線とも、最大乾燥密度および最適含水比が求められる形をしていることが分かる。また、締固めエネルギー120%迄は、エネルギーを大きくすると共に乾燥密度も若干ではあるが高くなり、締固めエネルギー140%の時に乾燥密度が低下していることが分かる。この原因としては、エネルギーの加え過ぎにより、余分なエネルギーが供試体の構造を破壊してしまったことが考えられる。この5本の締固め曲線から得られた最大乾燥密度と最適含水比を表3に表した。

表3 製紙スラッジ焼却灰の最大乾燥密度と最適含水比

締固めエネルギー	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
140%	0.94	56.10
120%	0.96	52.34
100%	0.87	65.10
80%	0.80	68.15
60%	0.80	73.92

工理由

3.4 一軸圧縮試験

今回の試験手順としては、まず、重さ1024gf、落下高さ10.72cmのランマーと直径5cm、高さ10.18cmのモールドを用いて、製紙スラッジ焼却灰を締め固めて供試体を作成した。焼却灰試料は約65%の含水比になるように水を加え、一層あたりの突固め回数を締固め試験で用いた締固めエネルギーと同じエネルギーになるように調整し、締固め試験と同様に3層に分けて突固めた。そして、このように作成した供試体を用いて一軸圧縮試験を行った。表4は、締固め試験での一層あたりの突固め回数と一軸圧縮試験での一層あたりの突固め回数との対応を示している。

表4 供試体作成時の突固め回数の対応

締固めエネルギー	締固め試験の回数	一軸圧縮試験の回数
140%	35回/層	48回/層
120%	30回/層	41回/層
100%	25回/層	34回/層
80%	20回/層	27回/層
60%	15回/層	20回/層

次に、一軸圧縮試験から得られた製紙スラッジ焼却灰の応力-ひずみ曲線を図5に示す。この図から分かることは、締固めエネルギーを大きくするに連れて曲線の立ち上がりの傾きの角度が急になっていることから、供試体がよく締め固まっていることが分かる。

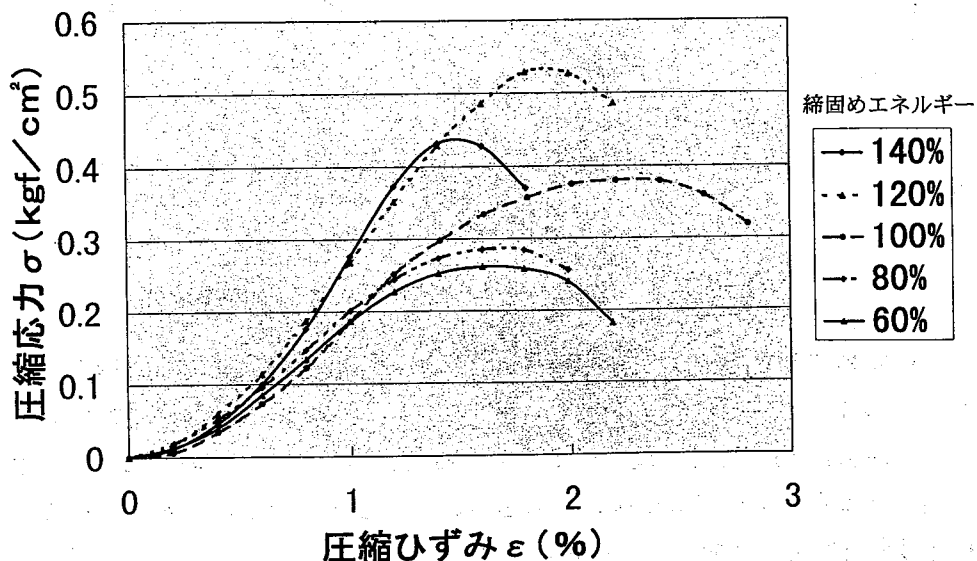


図5 製紙スラッジ焼却灰の応力-ひずみ曲線

次に、製紙スラッジ焼却灰の締固めエネルギーと一軸圧縮強度の関係を図6に示した。この図を見ると、締固めエネルギー120%までは締固めエネルギーを大きくするに連れて一軸圧縮強度も高くなっているが、締固めエネルギー140%の時に一軸圧縮強度が低下していることが分かる。なお、一軸圧縮強度が低下する原因としては、図4と同様の傾向を示しており、エネルギーの加え過ぎによって、供試体の構造が破壊されていることが考えられる。

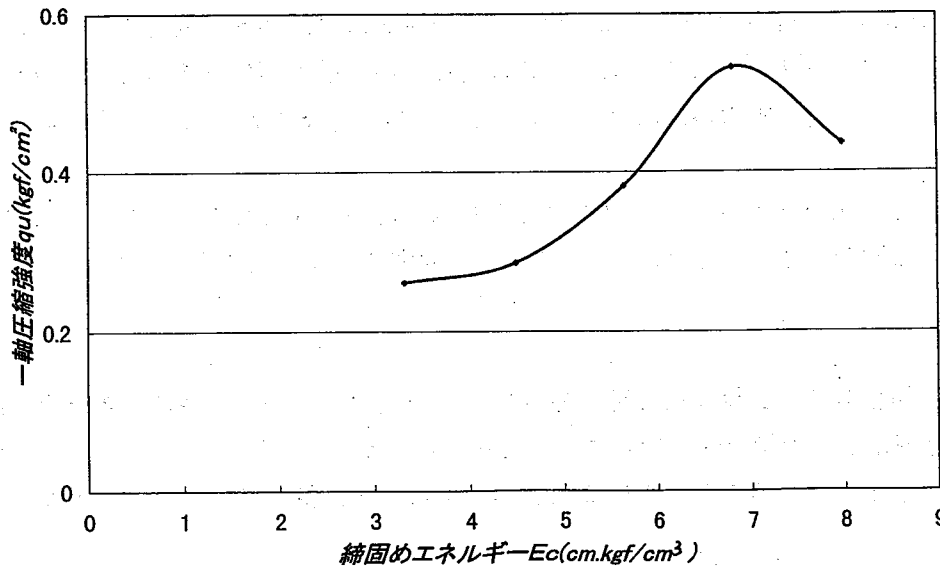


図6 製紙スラッジ焼却灰の締固めエネルギーと一軸圧縮強度の関係

次に、製紙スラッジ焼却灰の締固めエネルギーと変形係数 E_{s0} の関係を図7に示した。図7を見ると、締固めエネルギーを大きくするに連れて変形係数も大きくなっており、供試体が硬く締固まっていることが分かる。しかし、図4と図6の結果から、締固めエネルギー140%の時は、供試体が硬く締固まっても、エネルギーの加え過ぎによって供試体の構造が破壊されて、もろくなっている状態にあることが分かる。

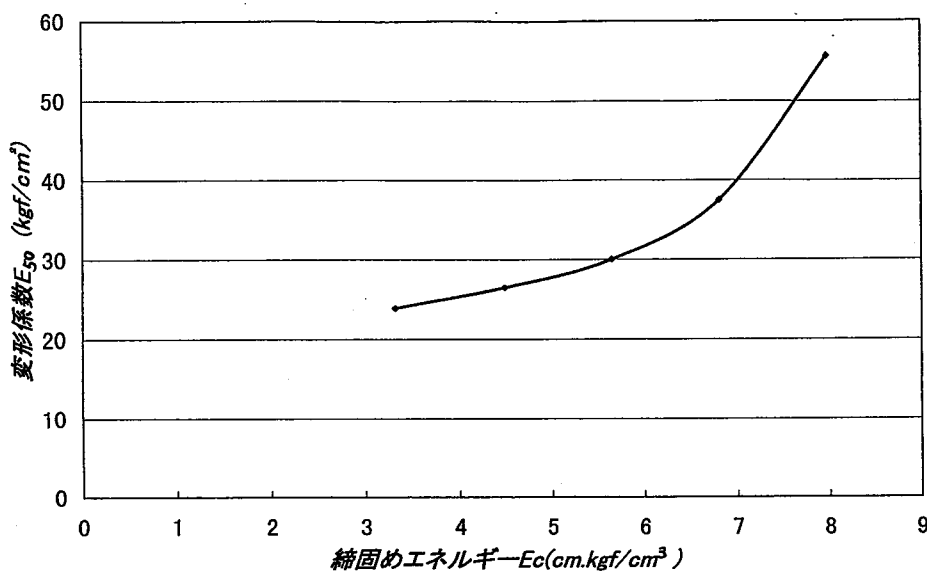


図7 製紙スラッジ焼却灰の締固めエネルギーと変形係数 E_{s0} の関係

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- (a) 製紙スラッジ焼却灰は、普通の土に比べて粒度分布が悪く、ほぼ細砂に近い粒径分布をしていた。
- (b) 締固めた製紙スラッジ焼却灰の性質は、最大乾燥密度が低く、最適含水比が高いことから、施工含水比の調整および締固め度による施工管理が難しい火山灰質粘性土によく似ていた。
- (c) 締固めエネルギーを変化させた締固め試験と一軸圧縮試験の結果からは、締固めエネルギーを大きくするに連れて乾燥密度と圧縮強度が共に高くなり、より強固な供試体を作成できることが分かった。しかし、締固めエネルギーを大きくし過ぎると、乾燥密度と圧縮強度が低下することも分かり、これらの結果から、製紙スラッジ焼却灰の最適な締固めエネルギーは、標準締固めエネルギーの120%であることが分かった。

今回の試験結果から、製紙スラッジ焼却灰の埋立地盤は、適切な締固めエネルギーで締固めをすれば、地盤は安定し、跡地を公園や宅地として有効に活用できる可能性があることが分かった。

5. あとがき

本研究の成果は、製紙スラッジ焼却灰の埋立処分場の延命化に役立つと同時に、処分場の跡地を有効利用する際に必要な、造成地盤の力学特性の参考になると考えられる。

最後に、本研究で使用した製紙スラッジ焼却灰と奨学寄付金を提供していただいた王春工業（株）に謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 鍋島康之, 松井 保: 廃棄物焼却灰の圧縮特性と焼却灰粒子の細粒化, 第32回地盤工学研究発表会平成9年度発表講演集, pp.121~122, 1997.
- 2) 土質工学会編: 土質試験の方法と解説, pp.210~211, 1991.