

論文 Article

バイオマス発電灰の吸水性を利用した土壌改良材に関する基礎的研究

原稿受付 2024 年 8 月 2 日

ものづくり大学紀要 第 14 号 (2024) 25~30

立屋敷久志^{*1*2}, 澤本武博^{*2}^{*1} ダイヤリフォーム株式会社^{*2} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

概要 近年, 異常気象による河川氾濫のリスクに対して保全工事が進められているが, その際, 浚渫土の農地等への有効利用が課題となっている. その対応策の一つにペーパースラッジ灰を使用した中性系の土壌改良材があるが, ペーパーレス化の進行に伴い, 将来的には灰の確保が困難になる. 本研究では, 再生可能エネルギーの一つであるバイオマス発電で副産するバイオマス灰の吸水性機能を実験的に検討して, ペーパースラッジ灰の代替材料への適用性を評価することを目的とした.

キーワード: ペーパースラッジ, バイオマス発電, 飛灰, 吸水性, 土壌改良材

Fundamental Study on Soil Improvement Materials Using Water Absorption Property of Biomass Power Generation Ash

Hisashi TATEYASHIKI^{*1*2}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}^{*1} DIAREFORM Co. Ltd., ^{*2} Institute of Technologists

Abstract In recent years, rivers have frequently overflowed due to abnormal weather conditions by garble warming, and flood control works have been underway as a countermeasure. It is difficult to reuse dredged soil as cement for agricultural land, etc. One possible method is to use paper sludge ash as a neutral soil improvement material. In the future, it will become more difficult to secure enough ash as there will be less need to use paper to be sustainable. This study focuses on neutral biomass ash, a byproduct of biomass power generation, an alternative energy source, to measure its water absorption properties and evaluate its applicability as a substitute material for paper sludge ash.

Key Words: paper sludge, biomass power generation, fly ash, water absorbency, soil conditioner

1. はじめに

近年, 地球温暖化によって引き起こされる洪水災害が頻発して, その度に河川の浚渫工事の規模, 頻度ともに拡大し, 発生する大量の浚渫土の有効利用が課題となっている. 浚渫土や護岸工事で発生する建設汚泥を有効利用するために, 乾燥・安定化技術が多くの研究者によって研究されており,

特に, ペーパースラッジの焼却灰の利用が注目されている¹⁾.

セメント系材料を使用する従来工法は, 実績のある工法で工期短縮が図れる反面, 過度のアルカリ性により近隣の農地等の植物に悪影響を及ぼす危険性ある理由で, ペーパースラッジ灰の中性かつ吸水性の高いものを使った土壌改良材への適用が実用段階に入っている²⁾.

しかし、社会状況を鑑みると、ITの革新的な進歩や脱炭素社会の構築に伴いペーパーレス時代の到来は必至で、その結果、ペーパースラッジ灰の発生量の減少、さらには入手困難な事態になると考えられる。

そこで、本研究では、代替エネルギーの一つであるバイオマス発電で副産する中性のバイオマス灰に着目して、吸水性能を実験的に検討して、将来のペーパースラッジ灰の代替材料への適用性を評価することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 材料および試験水準

3種類のバイオマス灰（飛灰A、飛灰B、底灰A）を使用した。比較用に、2種類のペーパースラッジ灰（PSA、PSB）と1種類の石炭火力発電所の石炭灰（FA）を用いた。試料と試験項目を表1に示す。

Table1 Material Properties and Test Items Used

No.	試料名 (記号)	起源または諸元	試験項目	
			吸水 試験	SEM 観察
1	バイオマス灰 (飛灰A)	バイオマス発電所Aの飛灰	○	○
2	バイオマス灰 (飛灰B)	バイオマス発電所Bの飛灰	○	○
3	ペーパースラッジ灰 (PSA)	ペーパースラッジの焼却飛灰A	○	○
4	ペーパースラッジ灰 (PSB)	同上を加湿調整したもの	○	—
5	石炭灰 (FA)	火力発電所の石炭飛灰	○	○
6	バイオマス灰 (底灰A)	バイオマス発電所Aの底灰	○	—

○：実施、—：不実施

バイオマス灰は、廃木材や間伐材を原料とした木質系チップを焼却処理してエネルギー回収する際に発生した残渣で、飛灰と底灰の2種類がある。本研究で使用した主な材料を写真1に示す。

外観からは、飛灰Aは均一な粉体であったが、



Photo1 Overview of Incinerator Ash before Sieving
(left: Fly-Ash A, center: Bottom-Ash A, right: PSA)

底灰Aには、炭化した粒子や砂粒子が混在していた。PSAには塊が混在していたが、指で容易に圧壊して粉化して、全体的には一様な粉体になった。

バイオマス灰の飛灰Aとペーパースラッジ灰のPSAを指触で比較すると、PSAの方が細かった。

なお、PSBは、土壌改良材に使用するペーパースラッジ灰の品質下限を想定して、PSAに予め水分を吸収させたものであり、灰そのものはPSAとPSBは同一である。

2.2 試験方法

(1) 吸水性試験

粉体の吸水性を評価する試験方法は、JIS等で規格化されてはいないため、地盤工学会（無機系吸水性材料を用いた土の改良技術の理活用に関する研究員会）で提示された方法³⁾に準拠した。試験方法の手順は、次の通り行った。

なお、メスシリンダーの容量および振動による粒子の沈降時間などは一部改良を加えて実施した。

①1000mlのガラス製メスシリンダーに水道水を入れて300mlにメスアップした後、10ml程度をビーカーに移した。

②各種の灰は、代表的な箇所から2kg程度を分取して、2mmのふるいを通過した灰を実験に供した。

③100.0g, 150.0g, 200.0gの試料を正確に測りとり、溢さない様に注意しながら、メスシリンダーに投入した。投入後、ガラス内面に付着した試料を①のビーカーに入れた水で洗い流した。

④所定の時間（10分,20分,30分,40分,50分,60分）で水面と試料面を読み取り、式(1)で吸水率に換算した。また、バイブレータ（振動数=3000回/分、振幅1mm）で5分間締固め、30分間静置した後にも測定し、同様に吸水率を求めた。

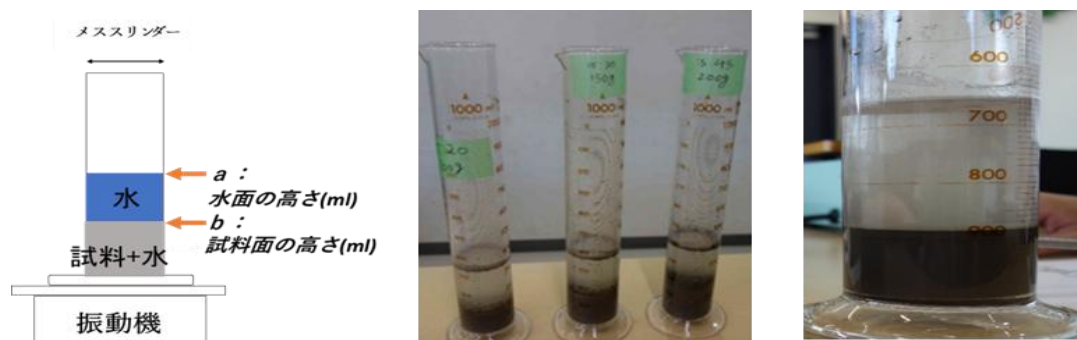


Figure1 Test Method and Sedimentation Conditions of Ashes

$$A(\%) = \{300 - (a - b)\} / Q_s \times 100 \cdots (1)$$

A : 吸水率(%)

a : 水面の高さ(ml)

b : 試料面の高さ(ml)

Qs : 試料の質量(g)

A) の吸水率は 13% (試料量 150g) と他の試料と比較して著しく吸水率が低く、評価対象から除外した。

試験方法と試料の沈降の様子を図 1 に示す。

バイオマス灰とその他の材料の吸水性の比較試験の予察として、各材料の試料量の違いによる吸水量を測定して、本試験方法での試料量の違いによる吸水性を比較した。

(2) SEM 観察

株式会社日立ハイテック製走査型電子顕微鏡 SU5000 を用いて、試料の粒形とその表面状態を観察した。試料調製は次の通り行った。

- ①個々の粒子自体を観察できるように、スパチュラー等を使ってホルダー上に試料を分散させた。この時、試料を多く載せ過ぎないことが重要となる。
- ②静置後、試料表面を Pt-Pd で蒸着した試料を装置本体にセットして、試料室の脱気後、観察を行った。

試験装置を写真 2、試料のセットアップの状況を写真 3、試料ホルダーの外観を写真 4 に示す。



Photo2 SEM Equipment



Photo3 Setting Up of Samples

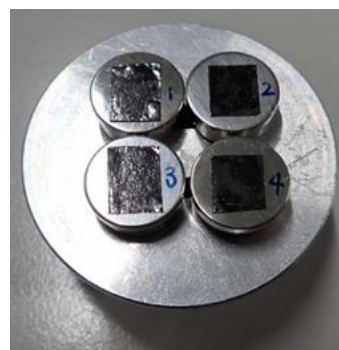


Photo4 Holder of Samples

3. 実験結果および考察

3.1 吸水性試験

(1) 試料量による吸水性の違い

100g, 150g, 200g の試料を用いた振動後 30 分の結果を図 2 に示す。なお、バイオマス灰 (底灰

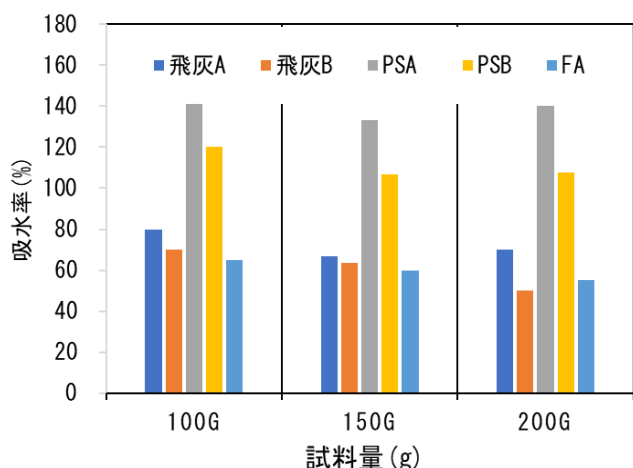


Figure2 Absorption for Different Sample Volumes

図 2 では、いずれの試料においても、試料量によって吸水率が異なることが分った。本試験方法では、吸水率の絶対値を評価することは難しい。しかし、3 通りの試料量では、ペーパースラッジ灰 > バイオマス灰 > 石炭灰の順で吸水率が高くなっており、同様の傾向を示している。

ここでは同一試料量であれば、試料間の吸水性を相対的に検討することは可能であると考えて、バイオマス灰の吸水率が最も高い 100 g の試料量で以後の評価を行った。

(2) 吸水率の経時変化

注水後 60 分までの試料面と水面の高さを測定して、吸水率に換算した結果を図 3 に示す。

いずれも注水後 10 分後には吸水率が飽和状態達して、その後は一定値に収束している。多孔質粒子による吸水性は、粒子の微細な部分の毛管現象と粒子間の液架橋構造の水分保持力による⁴⁾⁵⁾。多孔質粒子が表面から水分を吸収していくと、内部の空気圧が上昇して吸水力が低下して吸水率が飽和するために数時間要する場合もあるが、ここでは粒子径が小さいこと、図 3 の結果も比較的短時間で吸水率が飽和していることから、いずれの試料も毛管現象より液架橋構造による効果と考えられる。

また、飛灰 A と PSB は、10 分から 20 分で吸水率が低下している。これは、粒子間の空気が残留して 10 分以降に脱気して試料面が低下したためである。一方、吸水率の高い PSA は吸水率の低下はなく、注水直後の粒子の分散性が高いと考えら

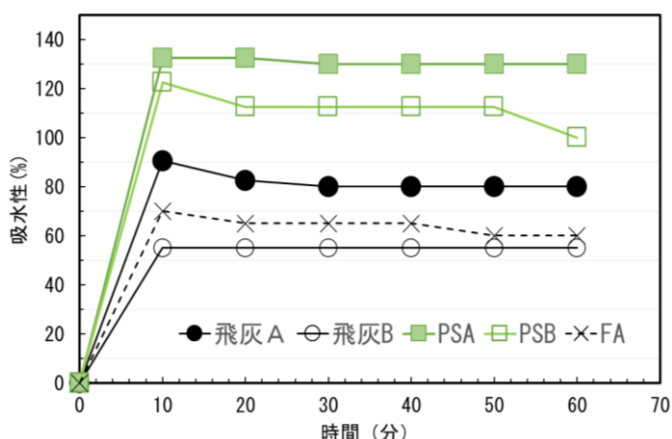


Figure3 Changes over the Time of Absorption

れる。

バイオマス灰（飛灰 A、飛灰 B）とペーパースラッジ灰（PSA、PSB）を比較すると、概してバイオマス灰の吸水性はペーパースラッジより劣る結果であった。しかし、各灰の種類でも差異があり、60 分経過時の吸水率で比較すると、飛灰 A と PSB は近い値になっている。

したがって、バイオマス灰には、ペーパースラッジ灰と近い吸水性のものもあり、石炭灰より吸水性が劣るものがあることが分った。

3.2 SEM 像による粒子表面の観察

飛灰 A は、微細な粒子とそれらが凝集して粒状になったもの、さらに溶融して球状になった粒子で構成されていた（写真 5）。

飛灰 B は、20 μm 程度の粒子が溶融して凹凸の少ない表面になっているものが確認できた。また、数 μm 以下の微細な粒子が少なかった（写真 6）。

PSA は、構成する粒子や表面状態については飛灰 A と同様であったが、数 μm 以下の微細な粒子が少なく、10 μm 程度の粒子が多かった。また、その表面は FA ほど溶融していなくて、粒子表面に数 μm の粒子が付着していた（写真 7）。

FA は、粒子表面が溶融して、10 μm 程度の球状の粒子が多い。バイオマス灰やペーパースラッジ灰とはストラクチャが異なっていることが分った（写真 8）。

上記の観察結果から、各試料のストラクチャを比較すると、吸水性の高い PAS と、バイオマス灰

の飛灰 A および飛灰 B は、粒子表面状態は類似しているが、各々の粒度分布に違いがある。

吸水性の低い FA とバイオマス灰を比較すると、表面状態が異なり、熔融の有無が確認できた。

4. まとめ

本研究では、バイオマス発電で副産するバイオマス灰に対して、河川浚渫土や汚泥改良材に使用できる中性系の吸水性材料としての適用性について検討した。

バイオマス灰、ペーパースラッジ灰、石炭灰の3分類で各1ないし2試料を使用して、吸水性および粒子の表面状態や粒度などのストラクチャの違いについて実験的検討を行い、次のことが明らかになった。

- (1)今回実施した吸水性の試験方法では、試料量の違いで吸水率が異なることが分った。定量的な評価には更なる検討が必要である。
- (2)試料量を一定にした吸水性の評価では、バイオマス灰は、ペーパースラッジ灰に比べて概して吸水性は低い結果であったが、ペーパースラッジ灰と近いバイオマス灰もあった。
- (3) 吸水性の高いペーパースラッジ灰とバイオマス灰の粒子表面状態は類似しているが、粒度分布に違いがあることが分った。
- (4)吸水性の低い FA とバイオマス灰を比較すると、表面状態が異なり、熔融の有無が確認できた。

今回の研究で使用したバイオマス灰の吸水性は、ペーパースラッジ灰ほど高い吸水性を示さなかった。しかし、飛灰 A は吸水性の低い PSB と近い吸水率を示した。両者の粒子の表面状態は類似しており、粒度分布の違いが、粒子間の液架橋構造の水分保持力に影響している可能性もある。

焼却灰の特性は、燃焼材料と燃焼方法によって異なり、バイオマス発電炉では 1000℃ くらいから部分熔融が始まり、1200℃ くらいになると大半の粒子が熔融状態になるとの報告⁶⁾もある。また、飛灰の回収方法によって粒度分布も異なるため、発電所によっては吸水性の高いバイオマス灰を排出している可能性がある。

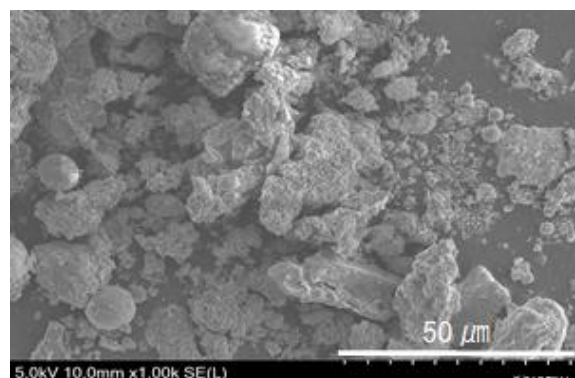


Photo5 Biomass Ash (Fly Ash A)

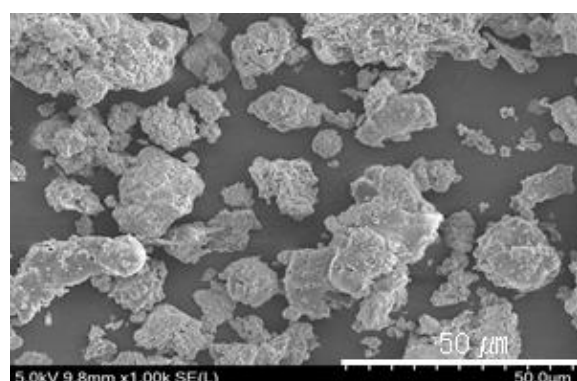


Photo6 Biomass Ash (Fly Ash B)

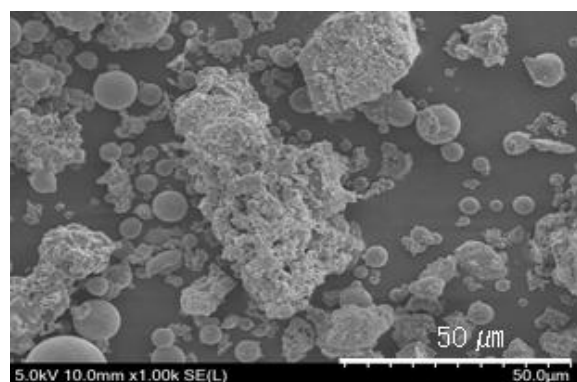


Photo7 Paper Sludge Ash (PSA)

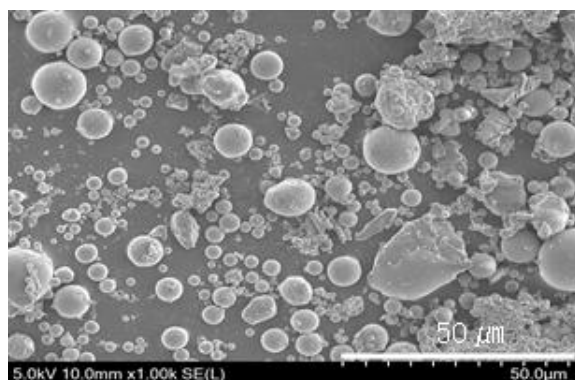


Photo8 Coal Ash (FA)

今後、バイオマス発電所から発生する飛灰を収集して、吸水性能を評価するとともに、破碎分級によって粒度分布と吸水性の関係を明らかにして、バイオマス灰の吸水性材料としての改善方法を検討したい。

謝辞

本研究の機材購入の一部に「2023 年度ものづくり大学教育力・研究力強化プロジェクト」を活用させて頂いた。

また、本研究は、澤本研究室の 2023 年 3 月卒業／Biash Basent 君が多くの実験を実施した卒業研究をまとめたものであり、ここに謝意を表す。

文 献

- 1) 田島孝敏, 甚野智子, 大島義徳: 木質バイオマス発電燃焼灰の有効利用に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 84, pp. 1- 6, 2020
- 2) 岩谷隆文, 吉野修, 北辻政文: ペーパースラッジ(PS), PS 灰の有効利用に関する技術開発, 西松建設技報, Vol. 43, pp. 1- 7, 2020
- 3) 公益社団法人地盤工学会関東支部: 無機系吸水性材料を用いた土の改質技術に関する手引き, pp. 16- 18, 2021. 03. 21
- 4) 桑原徹: 土中水と土の物理的・力学的性質, 土の物理性, vol. 28, pp. 23- 27, 1973
- 5) 遠藤禎行, 向坂保雄: 粒子間の液架橋形成機構とその付着力, vol. 33, No. 1, pp. 30- 36, 1996
- 6) 陳碧深, 藤井幹也, 田之上健一郎: 木質バイオマスの燃焼中における灰付着に及ぼす燃焼温度の影響, 日本エネルギー学会バイオマス科学会議発表論文集, pp. 85- 86, 2022