

各種焼却灰を用いた汚泥懸濁液の凝集沈降特性

焼却灰 凝集沈降 ゼータ電位

早稲田大学 学生会員 ○三村 裕美

早稲田大学 国際会員 赤木 寛一

早稲田大学 学生会員 景山 隆弘

早稲田大学 学生会員 李 理

(株)福岡建設合材 非会員 福岡 大造

1 研究目的

火力発電等の副産物として、毎年多量の焼却灰が発生しており、その様々な再利用の方法について検討されている。¹⁾ 現在、PS 灰は骨材、路盤材、セメント原料などに再利用されている。²⁾ またバイオマス灰は増加しているもののほとんどが埋め立て又は最終処分されている。再利用最終処分場の容量不足解消や環境負荷の軽減のため、更なる新しい分野での焼却灰の再利用が必要である。³⁾ そこで、本研究では焼却灰を利用した凝集沈降剤を開発することを試みている。焼却灰の物理的、化学的な分析を行い、既往の研究結果に基づいた適切な添加剤を選択し、作成したブレンド材料を粘土系の対象汚泥懸濁液に添加し、汚泥懸濁液の凝集沈降特性の実験的検討を行った。

2 凝集沈降試験⁴⁾

2.1 試験概要

各種焼却灰添加による凝集性能への影響を検討するために、カオリン、Na 型ベントナイトの混合土サンプルを用いて、沈降速度とゼータ電位を調べた。

2.2 使用する試料の基本性質

本試験で使用する試料の物性値⁵⁾と化学組成を表 2.1、2.2 にまとめる。

表 2.1 PS(Paper Sludge) 灰、バイオマス灰とカオリンの物性値

	PS 灰	バイオマス灰	カオリン
比重(g/cm ³)	2.72	2.33	2.19
初期含水比(%)	0.60	0.45	0.24

表 2.2 PS 灰、バイオマス灰とカオリンの化学組成 (mass%)

	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
PS 灰	13.12	3.16	21.66	13.97	48.25
バイオマス灰	22.73	2.03	7.34	28.81	14.91
カオリン	3.74		21.71	72.60	0.10

2.3 試験手順

試験手順は、以下の通りである

- ① 水 1000ml に、カオリン粘土粉末 8g、Na 型ベントナイト 2g を添加し、汚泥サンプルを作成する。
- ② 焼却灰を添加するサンプルはここで添加する。
- ③ 無機凝集剤 1g を添加する。
- ④ pH 調整剤として NaOH(aq) を添加する。
- ⑤ 急速攪拌(120rpm)を 5 分間、緩速攪拌(60rpm)を 20 分間行う。
- A) ゼータ電位測定の場合
- ⑥ 1 分静置後、試料を採取しゼータ電位を測定する。
- B) 沈降速度測定の場合

⑥ サンプルを 1L メスシリンダーに移し、高分子凝集剤を添加する。

⑦ メスシリンダーを 10 回振り、凝集を促す。

⑧ 攪拌を終えた瞬間を 0 秒としてサンプルの固液界面沈降量を測定した。固液界面沈降量より、初期接線の傾きを沈降速度として算出する。

2.4 試験条件

表 2.3 に試験条件を示す。

表 2.3 試験条件

無機凝集剤	PAC, 焼却灰
無機凝集剤添加量(g/L)	1.0
高分子凝集剤	アニオン系
高分子凝集剤添加量(g/L)	0.05
pH	4.3~9.8
pH 調整剤	NaOH(aq)
粘土	カオリン Na 型ベントナイト
粘土割合 (g/L)	10
水温(°C)	20±2.0

なお、無機凝集剤添加量 1.0(g/L)は次のように定めた。

$$\text{無機凝集剤 } 1.0(\text{g}) = \text{焼却灰}(\text{g}) + \text{PAC}(\text{g})$$

2.5 試験結果

2.5.1 ゼータ電位

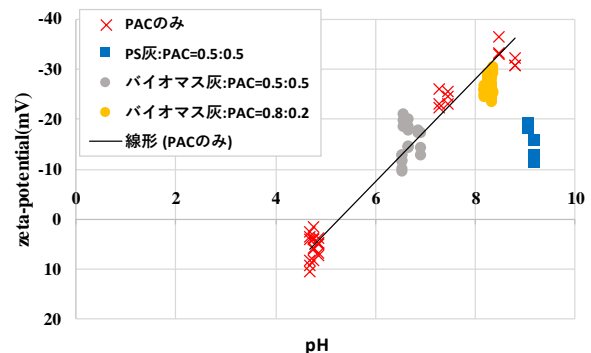


図 1 各種焼却灰添加時の pH とゼータ電位の関係

図 1 は、PAC、PS 灰とバイオマス灰を所定の割合で添加した各サンプルの pH とゼータ電位の関係を表したものである。これより、PAC のみを添加し、pH を調整したサンプルにおいて、ゼータ電位は pH に大きな影響を受けることが分かる。サンプル数は少ないが、PAC のみを添加した場合には、pH とゼータ電位の間に比例関係があることが推測される。この推定関係を用いると、バイオマス灰を添加した場合はゼータ電位に大きな変化は見られないというこ

とが確認できる。一方、PS 灰を添加した場合、ゼータ電位が低下したと考えることができる。

2.5.2 沈降速度

高分子凝集剤添加後、メスシリンダーを静置し、各時刻における固液界面に相当する箇所メスシリンダーの目盛りを読み取り沈降曲線を描く。そして、「沈降曲線の初期接線の傾き＝沈降速度」とし沈降速度を定量化した。

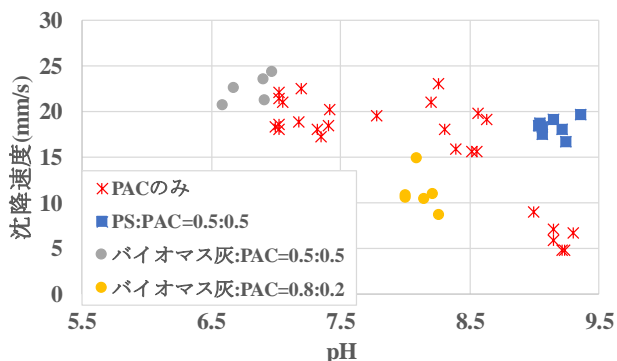


図2 pH と沈降速度の関係



(a)PAC のみ(pH9.3) (b)PS 灰添加(pH9.3)

図 3 沈降試験後のサンプル

図 2 は、無機凝集剤の配合の異なる 4 種のサンプルについて、pH に対する沈降速度を示したものである。無機凝集剤を PAC のみとして pH 調整を行った場合の結果より、沈降速度は pH に依存することが分かる。これは、今回用いた高分子凝集剤の凝集可能範囲が、弱酸性から弱塩基性まで (pH=6~8.5 程度) であることに起因すると考えられる。PS 灰添加サンプルは、凝集可能範囲よりもやや高い pH の状況下でも、沈降速度の低下が見られなかった。一方、バイオマス灰添加サンプルについては、pH は凝集可能範囲内であったが、PAC のみのサンプルの速度と同程度、または速度の低下が生じた。

3 考察

図 3 より、高分子凝集剤の凝集可能範囲よりもやや高い pH (pH=9 程度) において、PS 灰を添加したサンプルは、PAC のみのサンプルに比べて沈降速度が改善されたことが分かる。一方、凝集範囲内の pH (pH=8~8.5 程度) において、バイオマス灰を添加したサンプルは、PAC のみのサンプルに比べて沈降速度が低下したことが分かる。図 4 は、沈降試験を終えた後に撮影したサンプルの沈殿状況を表したものである。写真を比較すると、PS 灰を添加したサンプルの沈殿物フロック b) は、左の PAC のみのサンプルのもの (a) と比べて大きいことが分かる。沈殿物フロックの沈降は、単一粒子の沈降速度を求める式として、通常ストークスの式(1)が適用される。

$$v_t = \frac{g(\rho_s - \rho_w)}{18\eta} D_p^2 \quad (1)$$

v_t : 沈降速度 (cm/s)
 ρ_s : 土粒子の密度 (g/cm³)
 ρ_w : 水の密度 (g/cm³)
 D_p : 粒径 (cm)
 η : 流体の粘度 (g/(cm·s))

式(1)より、粒径が大きいほど、沈降速度は速くなり、凝集性能が上がる事が分かる。本試験においては、図 4 のようにフロックの粒径が大きい PS 灰を添加したサンプルの沈降速度が速くなる事が式(1)よりも言える。

重力沈降するような大きいフロックになるには、高分子凝集剤の働きが重要となる。高分子凝集剤は、架橋効果を起こしてフロックの生成を助長するが、対象の粒子が一定以上の大きさであること、pH が適正な範囲内に収まっていることなどで効果が発揮されやすくなる。

図 1 より、PS 灰を添加したサンプルは、同程度の pH である PAC のみのサンプルに比べてゼータ電位が低いことが分かる。この理由として、表 2.2 より PS 灰がカルシウムを多く含むことから、溶液中に溶けだした 2 価の陽イオンである Ca²⁺ が負に帯電した土粒子表面近傍に集まり、粒子間の斥力を弱めたためであると考えられる。ゼータ電位の低下は凝結を促し、粒子を大きくすることで高分子凝集剤の働きを活性化させる。このため PS 灰は凝集作用の向上に効果があると言える。

一方で図 1 より、バイオマス灰を加えたサンプルと、PAC のみのサンプルのゼータ電位はほぼ等しいことが分かる。この理由として表 2.2 より、バイオマス灰は PS 灰に比べてカルシウムが少ないため、溶出する Ca²⁺ の量が少なく、粒子間の斥力を弱める力が小さいためであると考えられる。これより、バイオマス灰は PS 灰と比較して凝集作用の向上効果が低いと考えることができる。また今回、図 3 においてバイオマス灰を加えたサンプルの速度の低下が見られたが、これはバイオマス灰の添加量が多すぎたために無機凝集剤、高分子凝集剤の架橋作用などがうまく起こらなかったためであると推測できる。

4 まとめ

本試験において、PS 灰を凝集剤として用いた場合、凝集速度の向上が見られた。今回用いた PS 灰は、バイオマス灰と比較してより多くのカルシウムを含有しているため、添加時に溶解するカルシウム量も多く、凝結作用が生じ凝集性能が向上したと理解できる。

今後は、イオンクロマトグラフ等を用いて、実際に溶出しているイオンの種類や量について調べ、今回の結果と併せて各種灰とその組成による凝集性能への影響を検討していく。

参考文献

- 1) 澤, 友久: 産業副産物の混合による泥土の改質について, 日本材料学会ジャーナル(2004), Vol. 53, No. 1, pp. 21-24
- 2) 木下, 氏家, 河合ら: 製紙スラッジ焼却灰を利用した低炭素コンクリートの性能評価, 資源・素材学会ジャーナル(2017), Vol. 133, No. 6
- 3) 高橋, 富田, 若林ら: 木質系バイオマス燃焼灰の安全性評価および有効利用, 廃棄物学会研究発表会講演論文(2008), VOL. 2, No. 19, pp. 627-629
- 4) 井上, 赤木, 檜垣ら: 再生石膏を用いた無機系および高分子凝集剤併用による建設発生土の沈殿特性(土木学会年次学術講演会 2015)
- 5) 地盤材料試験の方法と解説, 地盤工学会(2009)