

焼却灰 地盤改良 凝集沈降

早稲田大学 学生会員 ○李 理  
 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  
 福岡建設合材(株) 非会員 福岡 大造

## 1 はじめに

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いる。焼却灰は一般廃棄物処分場に廃棄され、有効利用するリサイクル方法が求められている。各種の焼却灰を有効利用するために、それらの特性に応じたセメント、石膏などの添加剤を混合ブレンドし、地盤改良材や凝集沈降材を開発することを試みている。本研究では、焼却灰の物理的、化学的、生物学的物性の分析を行い、既往の研究結果に基づいた適切な添加剤(セメント、石灰、石膏など)を選択し作成したブレンド材料を対象地盤サンプルと混合、あるいは粘土系の対象汚泥懸濁液に添加し、改良土の強度と汚泥懸濁液の凝集沈殿特性の実験的検討を行う。

## 2 実験概要

### 2.1 一軸試験

#### 2.1.1 試験概要

焼却灰とセメントを固化材として、軟弱土の地盤改良を行った。使用した焼却灰は、PS 灰と石炭灰である。また、改良対象の不良土はカオリンを含水調整(w=80%)したものである<sup>2)</sup>。配合をカオリン:水:灰:セメント=20:16:5:1 にする。養生日数は 7, 14, 28 日である。表 2.1 は今回使用した石炭灰と PS 灰とカオリンの物性値である。表 2.2 は石炭灰と PS 灰とカオリンの化学組成である。供試体の作成は JGS 0821 2009 そして、土の一軸圧縮試験は JIS A 1216:2009 に基づき実験を行った<sup>1)</sup>。

表 2.1 石炭灰と PS 灰とカオリンの物性値

	石炭灰	PS 灰	カオリン
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	2.19	2.57	2.72
投入時含水比 (%)	0.241	0.962	0.603

表 2.2 石炭灰と PS 灰とカオリンの化学組成(mass %)

	CO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO
PS 灰	13.12	3.16	21.66	13.97	48.25
石炭	65.25	0.36	31.94	44.37	2.56
カオリン	3.74		21.71	72.60	0.10

### 2.1.2 試験結果と考察

図 2.1 は PS 灰と石炭灰を固化させた場合の供試体の養生期間中の強度変化を示したものである。

また、図 2.2 の変形係数は、地盤の変形計算や基礎の沈下量計算に用いられ、下式で求める。

$$E_{50} = \frac{q_u}{\varepsilon_{50}} / 10$$

ここに、 $E_{50}$ :変形係数(MN/m<sup>2</sup>)

$q_u$ :一軸圧縮強さ(kN/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon_{50}$ : $q_u/2$  時の圧縮ひずみ (%)

セメント系固化材を用いた地盤改良において、強度発現はポズラン反応と水和反応によると考えられている。ポズラン反応とは、フライアッシュをコンクリートの混和剤として使用した場合に通常発現する。ガラス状のシリカ(SiO<sub>2</sub>)やアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)がセメントの水和によって生成される水酸化カルシウム[Ca(OH)<sub>2</sub>]と徐々に反応し、カルシウムシリケート水和物等を生成する。この反応はポズラン反応と呼ばれ、生成された水和物はセメントの水和生成物と類似した化合物となり、コンクリートの耐久性や水密性を高める。

図 2.1 から分かるように、石炭灰とセメントを 5:1 で配合した場合、強度はあまり出てなかった。一方、PS 灰の供試体は大きい強度が出る。それは、表 2.2 より化学組成を比較すると、PS 灰にはカルシウム Ca が石炭灰より大量に含まれている事が原因だと考えられる。また、図 2.2 に示されるように、 $E_{50}$ と $q_u$ の関係は石炭灰と PS 灰とで、ほぼ同様となった。

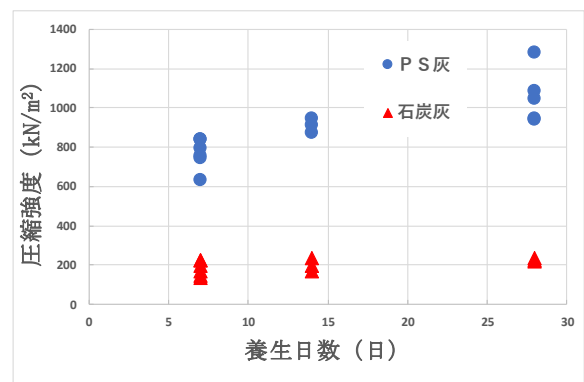


図 2.1 供試体の養生と強度日数の関係

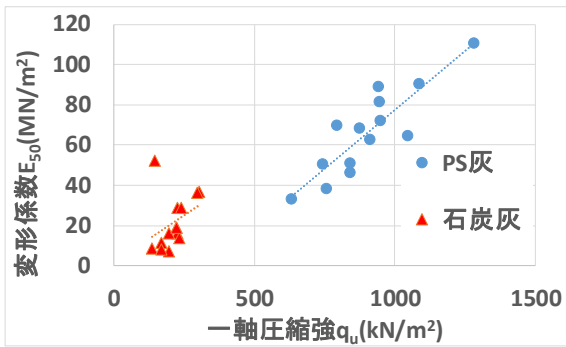


図 2.2 圧縮強度と変形係数の図

## 2.2 凝集沈殿特性試験

### 2.2.1 試験概要

焼却灰を用いて、懸濁液の凝集状況を検討する。凝集対象はカオリンと水を混合した懸濁液である。また、比較対象として、pH が凝集特性に及ぼす影響を調査するため、水酸化ナトリウムを pH 調整剤として同じ条件で実験を行った。試験条件は、表 2.3 の通りである。

表 2.3 試験条件

焼却灰の種類	石炭灰, PS灰
焼却灰の添加量 (g/L)	0, 0.50, 1.00
無機凝集剤	PAC
無機凝集剤添加量 (g/L)	1.00
水温 (°C)	22.0 ± 2.0
高分子凝集剤	アニオン系
高分子凝集剤添加量 (g/L)	0.10
pH調整剤	NaOH

### 2.2.2 試験手順

試験手順は、以下の通りである。

- ① 水 1000m l に、カオリン 10.0 g を添加し、汚泥サンプルを作成し、pH を調整する。
- ② 無機凝集剤と焼却灰を添加する。
- ③ 急速攪拌(120rpm)を 5 分間、緩速攪拌(60rpm)を 20 分間行った。
- ④ 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。
- ⑤ メスシリンダーを 10 回振り、凝集を促し、攪拌を終えた瞬間を 0 秒としてサンプルの固液界面の沈降速度を測定する。

### 2.2.3 試験結果

図 2.3 は、凝集剤添加量と沈降速度の関係を示している。また図 2.4 は pH を調整したときの沈降速度の変化を示しているものである。なお、沈降速度は、沈降曲線の初期接線より求めた。

図 2.4 の NaOH(aq)で調整したサンプル結果より、沈降速度は pH に大きく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であることに起因すると考えられる。

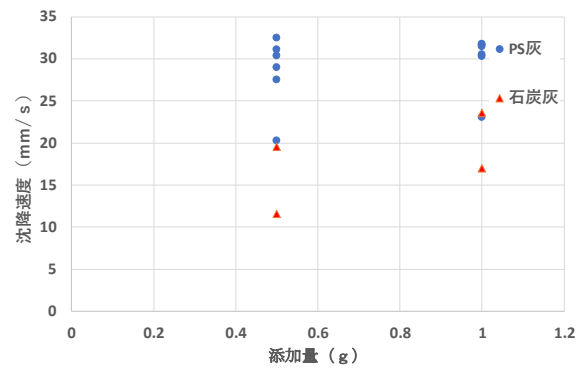


図 2.3 添加量と沈降速度の関係

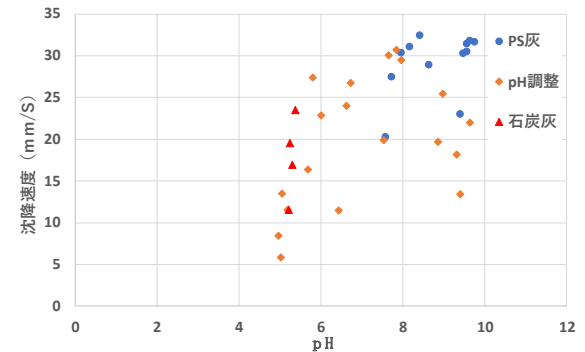


図 2.4 pH と沈降速度の関係

石炭灰を凝集試験に用いた場合、pH が約 5.0 となり図 2.4 のように沈降速度は pH に応じて変化する。

一方、PS 灰を凝集試験に用いた場合、図 2.4 のように pH が最適凝集可能の範囲に入り、沈降速度に改善がみられた。また、PS 灰を用いた場合、pH が 8.0 以上になっても、凝集性能の低下が生じなかった。これは、既往の研究より、PS 灰にカルシウム Ca が大量に含まれることから、溶液中の微粒子が電気的中性となり、凝集効果が発生したためと考えられる。

## 3 まとめ

焼却灰は原材料で種類を決められるが、地域が違ふことによつて、同じ種類の灰としても、成分的に大きい差が出る可能性がある。

今回の石炭灰は水に溶けにくく、表 2.2 よりカルシウムが少ないため、凝集と強度増加の上ではあまり効果が出なかった。

一方、PS 灰は水に溶けて、pH が高くなり、表 2.2 よりカルシウムも大量含まれることから、凝集と強度増加に効果があることが分かった。

今後、別の配合割合と他の灰を用いて強度増加と凝集試験を行いたいと考えている。また、セメント系固化材による地盤改良において、六価クロム溶出量が環境基準(0.05 mg/L)を超過する場合は指摘されているので、六価クロムの溶出試験も行う。

### 参考文献

- 1) . 土質試験の方法と解説 第一回改訂版 地盤工学会 (2004)
- 2) . 地盤改良の調査・設計と施工-戸建住宅から人工島まで- 地盤工学会(2012)