

各種の建設副産物の環境地盤工学技術への適用について

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、改良土の強度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、タイヤ灰とバイオマス灰である。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:固化材=100:80:6, 100:80:12 にする。養生日数は 7 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 2.1.1 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 2.1.2 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 試料配合割合

試料の配合割合を下表にまとめる。

表 2.2.3 試料配合

サンプル名	配合割合
A	石炭灰:セメント=1:5
B	石炭灰:セメント=2:4
C	石炭灰:セメント=3:3
D	石炭灰:セメント=4:2
E	PS 灰:セメント=1:5
F	PS 灰:セメント=2:4
G	PS 灰:セメント=3:3
H	PS 灰:セメント=4:2
I	石炭灰:セメント=4:8
J	石炭灰:セメント=6:6
K	PS 灰:セメント=4:8
L	PS 灰:セメント=6:6
M	PS 灰:セメント=10:2
N	セメント=6
O	石炭灰:石膏:セメント=1:1:4
P	PS 灰:石膏:セメント=1:1:4

2.1.3 試験結果と考察

図 2.1 と 2.2 は固化材の添加量による強度変化を示したものである。

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。水和反応はセメントが水と反応し、水和物(エトリンガイト C<sub>3</sub>A・3CaSO<sub>4</sub>・H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)と水酸化カルシウム Ca(OH)<sub>2</sub>が生成する。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材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。

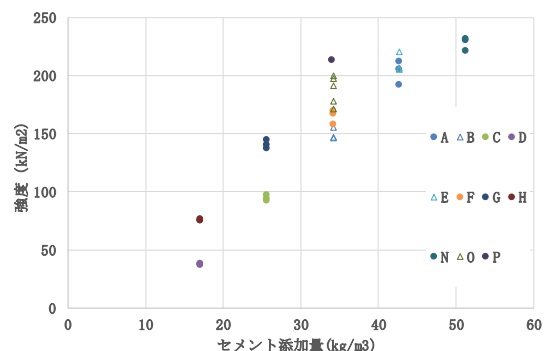


図 2.1 固化材添加量 (51.3kg/m<sup>3</sup>) の強度

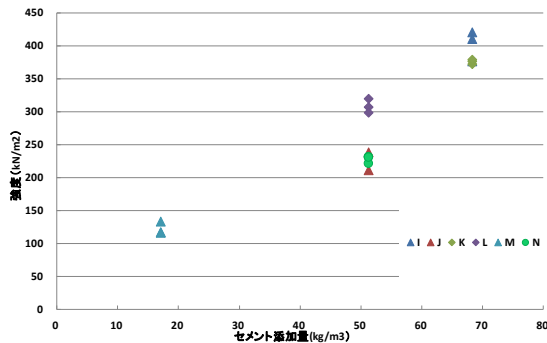


図 2.2 固化材添加量 (102.5kg/m³) の強度

図 2.1 より、サンプル O, P において、セメント添加量がセメント単体であるサンプル N と比較して 66% であるにもかかわらず、一軸圧縮強度が 90 パーセント程度発現している。これは、再生石膏を添加することで、カルシウム分が増加し、エトリンサイトなどの発現が生じやすくなるためと考えられる。また、図 2.2 においても、カルシウム分を多く含む PS 灰を用いたサンプル (L, M) は、強度増加がしやすいことが分かった。

## 2.2 溶出試験

### 2.2.1 試験概要

地盤改良された土壌は、環境基準を満たさなければならない。環境省の土壌環境基準によると、改良後の地盤は時間をたつと共に、特定有害物質がある数値以下に抑えないといけない。ここで、焼却灰のまま、あるいは第四章の所定の強度を超える供試体について、第二種特定有害物質（重金属類ヒ素、ホウ素、セレン、カドミウム、フッ素、水銀、六価クロム、鉛）の溶出試験を行った。本論文では、焼却灰自体での溶出試験を行った際に、基準値を超える物質（ホウ素、六価クロム、砒素、鉛、セレン）について記述する。サンプルは、サンプル N, O, P である。

### 2.2.2 試験手順

- ① 焼却灰、あるいは供試体から約 50 g 分の試料を 1L のアイボーイにとる。
- ② 水 (pH 5.8 ~ 6.3) を 10:1 の割合で入れる。
- ③ 振動機に載せて、1分間 200回で6時間振動を与える。
- ④ 5分静置する
- ⑤ 遠心分離機で、1分に3000回転の速度で20分遠心分離する。
- ⑥ 上澄み液をろ過する。
- ⑦ 各装置の前準備を行う。
- ⑧ 各装置で量る。

### 2.2.3 環境基準

環境省の土壌環境基準によると、改良後の地盤は時間をたつと共に、特定有害物質がある数値以下に抑えないといけない。第二種特定有害金属の基準値を下表にまとめる。

表 2.2.4 第二種特定有害物質

特定有害物質の種類	土壌溶出量基準 (mg/L)
六価クロム	0.05 以下
セレン	0.01 以下
鉛	0.01 以下
砒素	0.01 以下
ふっ素	0.8 以下
ほう素	1 以下

### 2.2.3 試験結果

供試体の強度が出るものの溶出結果を表にまとめる。供試体の溶出では、全部基準値以下になった。それは、土と混合することで、相対的な配合量や土壌との吸着等によりある程度溶出濃度を減らせたと考えられる。

表 2.2.5 各サンプルの溶出量 (mg/L)

	B	Cr <sup>6+</sup>	As	Pd	F	Se
N	0.0034	0.0036	0.00026	0.00043	0.400	0.0023
	0.0059	0.0045	0.00030	0.00071	0.390	0.0025
	0.0046	0.0046	0.00035	0.00061	0.390	0.0032
O	0.0175	0.0031	0.00043	-	0.340	0.0018
	0.0202	0.0030	0.00035	-	0.460	0.0021
	0.0185	0.0030	0.00041	-	0.340	0.0017
P	0.0087	0.0056	0.00028	0.00013	0.210	0.0016
	0.0100	0.0055	0.00025	0.00041	0.210	0.0015
	0.0089	0.0051	0.00020	0.00017	0.210	0.0018

表 2.2.5 より、全てのサンプルにおいて環境基準値以下になった。ただ、セメントのみ配合しているサンプル N と比較して、サンプル P, O は、全ての物質の溶出量において、下回る結果が出た。これは、セメントの配合割合が低いためであると考えられる。

## 3 まとめ

焼却灰は原材料で種類を決められるが、地域が違うことによって、同じ種類の灰としても、成分的に大きな差が出る可能性がある。

今回の石炭灰は、表 2.2 よりカルシウムが少ないため、強度増加の上ではあまり効果が出なかった。ただ、再生石膏を添加しカルシウム分を補うことで、一軸圧縮強度が増加した。

また、PS 灰は、表 2.2 よりカルシウムも大量含まれることから、強度増加に効果があることが分かった。

今後、経済的、環境的に考え、別の配合割合と他の灰を用いて強度増加に寄与する配合を検討していきたいと考えている。また、セメント系固化材による地盤改良において、特定有害金属の溶出量が環境基準以下に収まるが、セメントのみの固化材と比較して、どのような機構で低下するのか検討を行う。

### 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)