

ペーパースラッジ灰の地盤改良材への利用に関する研究

宮城大学食産業学部 学生会員 ○ 阿部友里恵・阿部真由子
正会員 北辻政文
西松建設（株）正会員 吉野修・岩谷隆文

1. はじめに

紙・パルプ製造業では、年間 3,200 万 t の産業廃棄物が排出されており、その量は我が国の産業廃棄物の全発生量の約 8.3%を占めている。廃棄物の約 7 割がペーパースラッジ(以下、PS と称す)と呼ばれる有機汚泥であり、それを焼却処理したものがペーパースラッジ灰(以下、PS 灰と称す)である。また、PS 灰の CaO 含有率は 40～50%と高く、自硬性がある。これは紙の製造過程で添加される填料の炭酸カルシウムに由来する。この特徴を利用し、PS 灰を地盤改良材として使用されている生石灰の代替材料にできれば、産業廃棄物を有効に活用し、さらに経済性に優れた地盤改良材となる可能性がある。既往の研究¹⁾では、人工的に作製した模擬土を使用して、PS 灰による改良効果を検討している。その際、強度発現が認められたが、同時に PS 灰に含まれる重金属（ふっ素）の溶出量が環境基準を超えるケースも認められた。そこで本研究では、エトリンサイト生成による重金属のふっ素の不溶化を検討した²⁾。また、エトリンサイトはセメントの初期の水和反応において生成され、硬化に寄与することから、強度発現特性についても検討結果を併せて報告する。

2. 実験概要

実験に使用した PS 灰の外観を写真-1 に示す。その他の材料として、高炉セメント B 種、無水石膏を用いた。供試体に使用した模擬土は粘性土を想定し、シルト、珪砂 5 号および粘土を 4:4:2 で混合し、含水比を 30%とした。

PS 灰に石膏、石膏と高炉セメント B 種を添加し生成されるエトリンサイトによる、重金属の不溶化について検討を行った。配合を表-1 に示す。ふっ素の溶出試験は、環境省告示 46 号法(ふっ素溶出基準：0.8mg/L 未満)に準じて行った。エトリンサイトは、既往の研究³⁾を参考に硫酸アルミニウムと水酸化カルシウムをエトリンサイトのモル比に合わせて混合し、室温 20℃で三日間乾燥させ作製した。

模擬土への PS 灰、石膏およびセメントの添加割合を変えた円柱供試体(φ 50mm×100mm)を JIS A 1216 法に準拠し作製した。材齢 3 時間、6 時間、1 日、3 日、7 日、および 28 日で一軸圧縮強度試験(JIS A 1216、以下一軸圧縮試験)を行い、一軸圧縮強さ q_u を測定した。配合表を表-2 に示す。また、一般的に一軸圧縮強さとコーン指数 q_c との間には、 $q_c=5\times q_u$ という関係があることから、一軸圧縮試験で測定した一軸圧縮強さをもとにコーン指数を求めた。コーン指数の目標値は、建築物の埋戻し、土木構造物の裏込めなどへの使用を想定した第三種改良土の基準³⁾である 400kN/m²と設定した。

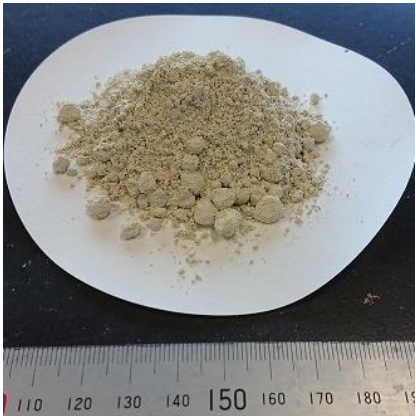


写真-1 PS 灰の外観

表-1 不溶化の試験配合

	単位量(g)		
配合名	PS灰	石膏	高炉セメントB種
P100	100	0	0
P100S50	100	50	0
P100S10	100	10	0
P100S5	100	5	0
P100S2B1	100	2	1

表-2 一軸圧縮試験の配合

	模擬土	PS灰	石膏	高炉セメント
	(L)	(kg)	(kg)	(kg)
P 50	1000	50	—	—
P 100		100	—	—
P100S5 50		47.62	2.38	—
P100S5 100		95.24	4.76	—
P100S2B1 50		48.54	0.97	0.49
P100S2B1 100		97.08	1.94	0.98

3. 結果および考察

溶出試験に使用したエトリンガイトの顕微鏡写真を写真-2 に示す。エトリンガイト特有の針状結晶が認められる。エトリンガイトによるふっ素不溶化のメカニズムを図-1 に、環境省告示 46 号法によるふっ素溶出試験の結果を図-2 に示す。PS 灰の溶出量は 2.3mg/L であったが、不溶化処理を行ったものは 0.17~0.54mg/L となり、土壤環境基準の 0.8mg/L を大きく下回った。これは、図-1 に示すエトリンガイトのイオン交換反応によって硫酸イオンとフッ化物イオンが置き換えられ、PS 灰に含まれるふっ素の溶出が抑えられたためだと考えられる。

一軸圧縮強さ試験の結果を図-3 に示す。PS 灰のみの配合に比べて石膏および石膏とセメントの一軸圧縮強さが大きいことが分かった。これは PS 灰に石膏および石膏とセメントを添加することで生成されたエトリンガイトが強度発現に寄与したためと考えられる。また、初期強度では、石膏のみの強度が石膏とセメントの強度に比べ高かった。これは石膏が高炉セメント B 種に比べ反応が早かったためと考えられる。

一軸圧縮強さから求めたコーン指数を図-4 に示す。全ての配合において材齢 6 時間の時点で目標としたコーン指数の 400kN/m²を上回っており、粘性土に PS 灰および PS 灰に石膏、石膏とセメントを添加することで早期の地盤改良効果が期待できると考えられる。

以上のことから、PS 灰に石膏、石膏とセメントを添加することで、エトリンガイトが生成され、ふっ素の溶出を抑えることができ、かつ早期に地盤改良効果が期待されたことから地盤改良材としての利用の可能性は高いと判断される。

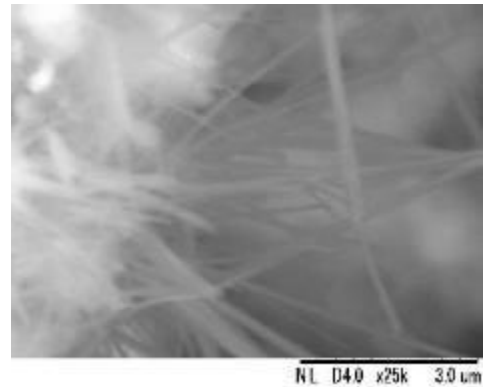


写真-2 試料の顕微鏡写真 (25000 倍)

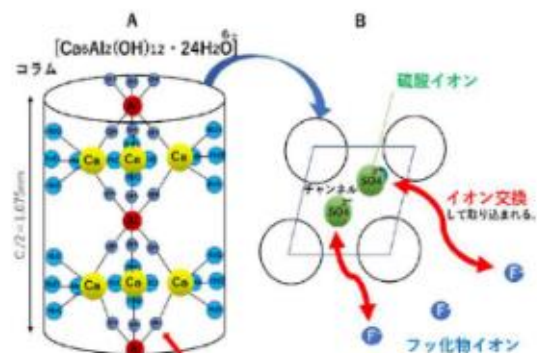


図-1 エトリンガイトによるふっ素不溶化のメカニズム²⁾

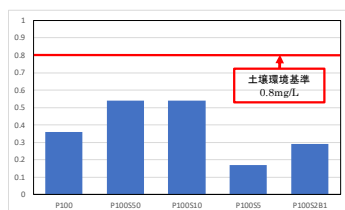


図-2 溶出試験の結果

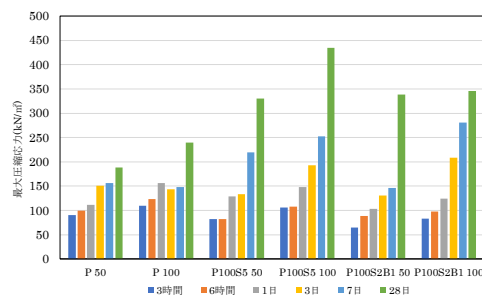


図-3 一軸圧縮強さ試験の結果

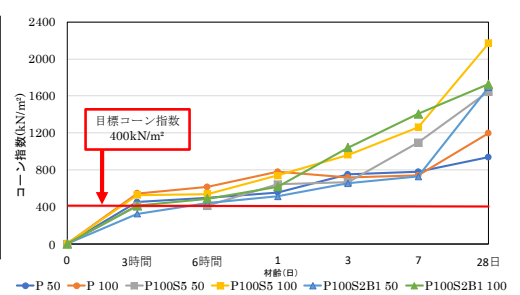


図-4 コーン指数

参考文献

- 1) 中瀬喬之, 北辻政文(2014):ペーパースラッジ灰の地盤改良材としての基礎的研究, 廃棄物資源循環学会東北支部研究発表会 PP.3-4
- 2) 本條貴之ら(2018):焼却灰のセメント固化処理における二水石膏によるフッ素の不溶化効果, 第 29 回廃棄物資源循環学会研究発表会 PP.217-218
- 3) セメント協会 セメント系固化材による地盤改良マニュアル第 4 版

キーワード ペーパースラッジ灰, エトリンガイト, ふっ素, 不溶化, 一軸圧縮強さ