

製紙スラッジ焼却灰などの工業副産物を用いた水和固化体の強度

愛媛大学大学院 学生会員 ○金子美波

学生会員 加藤雅也

正会員 木下尚樹

正会員 安原英明

1. はじめに

近年、産業廃棄物の再生利用の取組みが進められている。愛媛県は製紙産業の盛んな地域であり、紙・パルプの製造過程で産業廃棄物である製紙スラッジが大量に排出される。製紙スラッジは減量化、腐敗防止を図るために焼却され、製紙スラッジ焼却灰（PS 灰）となり、埋め立て処分や再生利用される。PS 灰の化学組成は普通ポルトランドセメント（OPC）と類似している¹⁾ことから、建設材料や地盤改良材への実用化が期待されている。本研究では、PS 灰にフライアッシュ等の副産物を加えることにより改良し、強度特性を評価した。

2. 試験概要

本実験では、硅砂 6 号に PS 灰を添加し供試体を作製する。本実験で作製した供試体の基本配合を表 1 に示す。PS 灰の混合率を PS 灰水比 (p/w) として定義し、p/w=1.0 で供試体を作製する。また、p/w=1.0 の PS 灰を、フライアッシュ (FA) で 10%、30% 代替する。さらに、PS 灰と FA の配合に、石膏 (CaSO₄)、シリカフェーム (SF)、普通ポルトランドセメント (OPC) で 10% 代替する。また、固化材の配合比を変化させたときの強度に及ぼす影響を確認するため、p/w を変化させた供試体を作製する。供試体の寸法は、高さ 100 mm、直径 50 mm の円柱形で各配合 3 本ずつ作製する。室温 20 °C で湿潤・密封状態とし、直射日光を避け養生を行う。また、養生日数は 7 日、28 日とし、養生期間による強度への影響を確認する。

作製した供試体の強度特性を評価するため、一軸圧縮試験を行う。供試体がき裂または破壊するまで載荷し、最大荷重から圧縮強さを求める。その後、X 線回折分析を用いて作製した供試体の水和反応物や鉱物を同定する。また、走査型電子顕微鏡を用いて、供試体の微視構造観察を行う。

3. 水和固化体の強度特性

図 1 に代替材料の代替割合と一軸圧縮強度の関係を示す。PS 灰単体の供試体と比較すると、FA と SF を 10% ずつ代替した場合、強度が発現

表 1 供試体の基本配合表 (一例)

		硅砂 [g]	水 [g]	PSA [g]	FA [g]	代替 材料 [g]
(1)	p/w=1.0	1350	450	450	—	—
(2)	P90F10	1350	450	405	45	—
(3)	P70F30	1350	450	315	135	—
(4)	P80F10A10	1350	450	360	45	45
(5)	P60F30A10	1350	450	270	135	45

CaSO₄ : Ca, SF : S, OPC : C

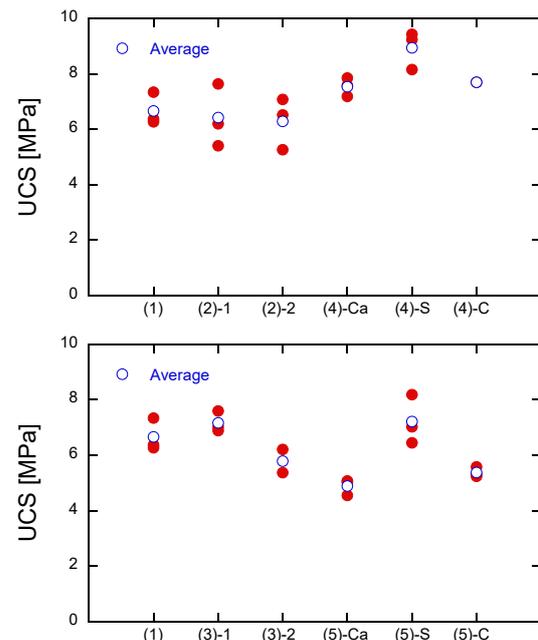


図 1 代替割合別の圧縮強度

(上 : FA を 10%、副産物を 10% 代替したモルタル
下 : FA を 30%、副産物を 10% 代替したモルタル)

していることが分かった。また、FAのみ代替した場合と比較すると、OPC、石膏を代替したことでわずかに強度増加した。

図2に単位体積あたりのPS灰量と一軸圧縮強度の関係を示す。既往の研究²⁾より、PS灰の増加に伴い強度が増加していることが確認されており、代替材料を加えた場合にも同様の傾向が確認できた。また、代替材料を加えた場合、 $p/w=0.5$ 未満の配合では水の割合が多すぎるため供試体作製が困難であった。

4. X線回折分析結果

図3にX線回折分析(XRD)の結果を示し、鉱物名の略称を正式名称とともに化学式にまとめたものを表2に示す。PS灰にFA、SFを10%ずつ代替したモルタルでは石英(SiO_2)、アルバイト($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$)：曹長石)の反応が確認された。石英の反応強度が最も大きいのは、供試体作製に硅砂を用いていることによるものと考えられる。

5. 微視構造観察結果

図4に走査型電子顕微鏡観察(SEM)結果を示す。生成物として球状生成物が確認され、これは代替したFAと考えられる。また、球状生成物の周辺に針状生成物が確認され、これはアルミノ硅酸塩と推定された。PS灰は粘土鉱物によるイオン交換性が作用したことで、水和固化反応が起きたと考えられる。

6. おわりに

本研究では、PS灰にFAおよび石膏、SF、OPCを加えることにより改良した固化体の強度特性を評価した。PS灰に工業副産物を代替した場合、強度が得られ、強度発現を促す鉱物を確認することができた。このことから、PS灰は建設材料や地盤分野へ適用できる可能性があるといえる。今後は代替材料の代替割合を考慮し、より強度発現する配合を検討する必要がある。また、より詳細な水和反応物の構造観察や組成物の同定を行う必要がある。

参考文献

- 1) 木下尚樹, 川口隆, 松尾暁, 本田美紀, 安原英明: 製紙スラッジ焼却灰造粒材料を用いたモルタルのプレキャスト材料としての性能評価, Journal of MMIJ, Vol.128, pp.611-619, 2012.
- 2) 小根國裕美: 製紙スラッジ焼却灰の水和固化メカニズムと固化体の強度評価, 愛媛大学工学部環境建設工学科卒業論文, 22pp., 2017.

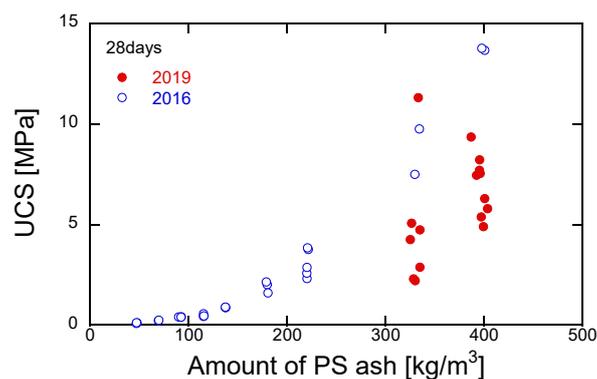


図2 単位体積あたりのPS灰量と一軸圧縮強度の関係

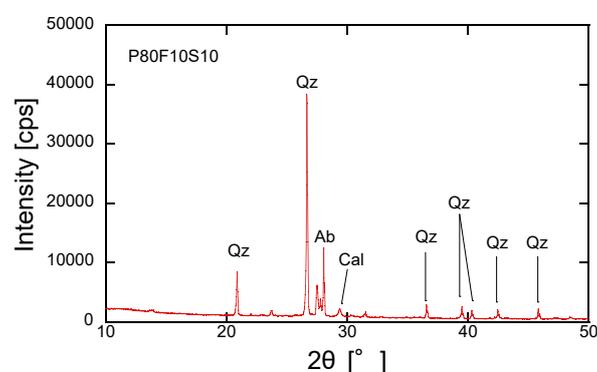


図3 PS灰にFA、SFを10%代替したモルタルのX線回折分析結果

表2 X線回折分析結果で確認された鉱物

鉱物名	略称	化学式
Calcite	Cal	CaCO_3
Quartz	Qz	SiO_2
Albite	Ab	$\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$

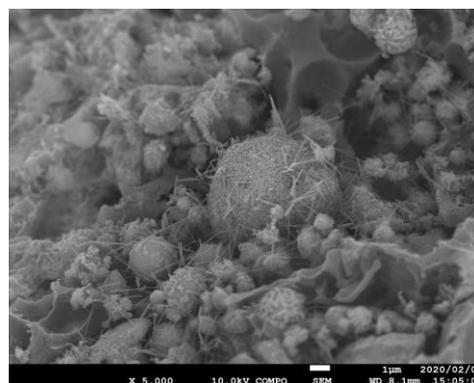


図4 SEM画像