

製紙スラッジ焼却灰の利用について (その1)

高 橋 正 紘*

On a Use of Paper Sludge Ash (Part one)

Masahiro Takahashi

The Paper Sludge is the sludge obtained at the recycling process of the pulp from the old paper. The Ash remained after burning the Paper Sludge at $900^{\circ}\text{C}\sim 950^{\circ}\text{C}$ is the Paper Sludge Ash. And the Paper Sludge Ash kept again at 1000°C , for a few hours is designated as White Paper Sludge Ash. These Ashes contain SiO_2 , Al_2O_3 , CaO etc. and are possible to be a valuable resources.

The purpose of this study is to make a building material of the pastes using these ashes as the main raw material.

This paper reports on the chemical components of these Ashes from some documents first, and discusses the test results of sieve analysis of aggregates, bulk density of aggregates and solid content in aggregates etc.

1. はじめに

製紙スラッジ (ペーパースラッジ) は、古紙をリサイクルし、パルプを再生する過程で出る廃棄物で、過去には、公害問題を引起したこともある。その後、焼却処理されるようになった。この焼却による残灰が製紙スラッジ焼却灰である。静岡県富士工業技術センター (旧静岡県製紙工業試験場) を中心として、製紙スラッジ、製紙スラッジ焼却灰の有効活用の研究がすすめられ、



写 真 1. 製紙スラッジ (ペーパースラッジ)

* 建設工学科 建築専攻

近年では、自動車内装シート、製鉄用酸化防止剤、土壌改良剤、アスファルト舗装用填料等への活用が計られているが、その1/4余りが産業廃棄物として、埋め立てられている。^{*1、*2}

この研究で、使用している製紙スラッジ焼却灰は、中小の製紙工場から搬入された製紙スラッジを旋回流型流動床焼却炉で、900℃～950℃で焼却したもので、その有効活用は、平成12年度現在で、まだ、その75%が埋め立てられており、さほどすすんでいない。^{*3}

こうした廃棄物材料が使われるためには、① 材料の詳細な品質管理が求められること。

② 利用するため、更なる加工や、施設・設備、手間と費用が掛かること。③ 物の移動、運搬に費用が掛かること。等は、よろこばれることではない。しかし、筆者は、少し手を加え、製紙スラッジ焼却灰を電気炉で、1000℃で、数時間養生することで、白色化することを調べ、また、製紙スラッジを直接1000℃で、数時間養生することでも、得られることを確認している。このとき得られる白い製紙スラッジ焼却灰を白製紙スラッジ焼却灰(WPS灰)と名付けた。この白製紙スラッジ焼却灰は色付けのための付加価値をもつと筆者は考えている。

本研究は、こうした事柄を考慮して、製紙スラッジ焼却灰、白製紙スラッジ焼却灰を主な材料としたペーストをつくり、これにより、何らかの建築用材料、外構材料等を開発し、地元で生産しようとするものである。

この開発するための基礎資料を得るため、この製紙スラッジ焼却灰の化学的組成の推移を文献等により調べ、また、骨材としての性質を、コンクリートの細骨材の試験法に準じて試験を行い、調べた。この報告はそれらの結果である。

2. 製紙スラッジ焼却灰の化学的組成

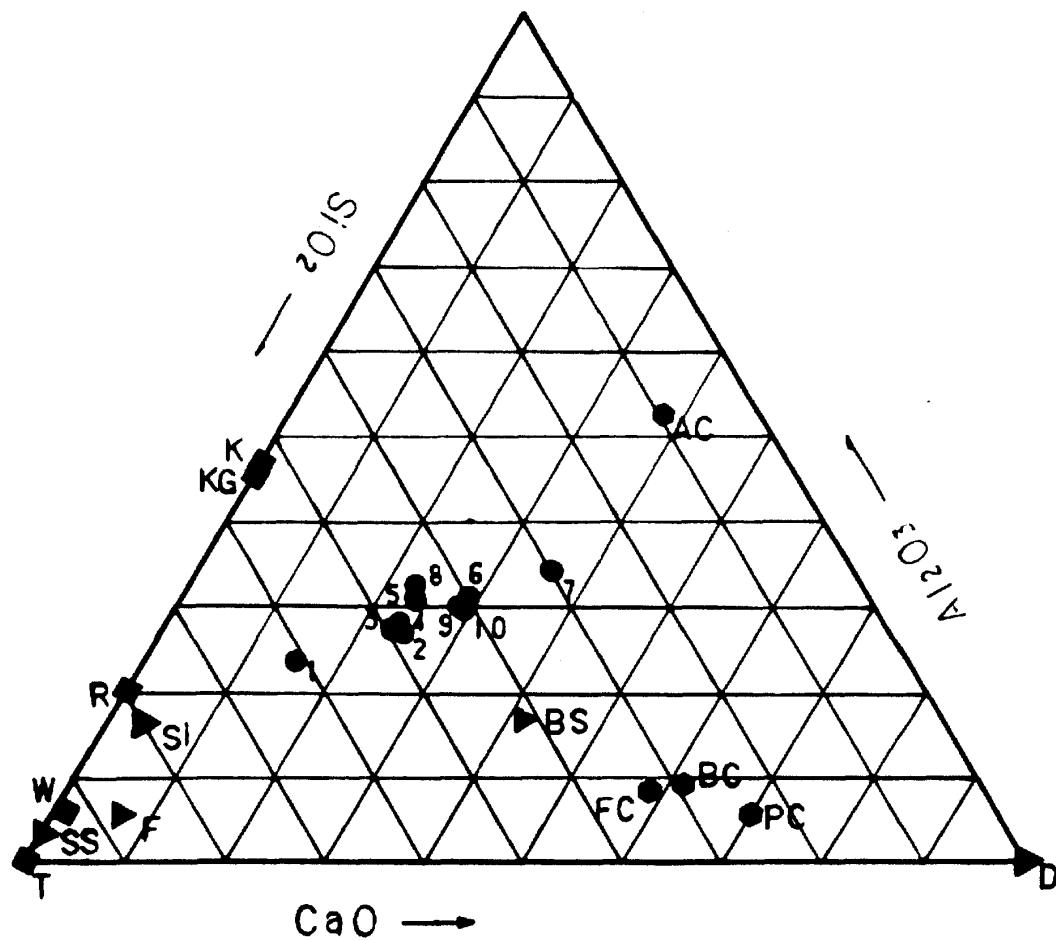
製紙スラッジ焼却灰は、上述したように、製紙スラッジを焼却した残灰分で、紙の填料・コーティング材として使用されるカオリン、白土、ろう石および炭酸カルシウムや、廃棄処理の過程で凝集剤として使われる硫酸礬土、印刷インクの成分等が含まれる。

ここで使用する製紙スラッジ焼却灰の化学的組成は、製紙スラッジを焼却施設が他の分析調査施設に依頼して調査した報告書である計量証明書^{*4}に拠ると、珪酸分(SiO_2)、アルミナ分(Al_2O_3)および酸化カルシウム分(CaO)が多くを占め、およそ全体の80%近くになる。

製紙スラッジ焼却灰と製紙用填料、凝集剤等の材料との関連・影響の推移を見るために、図1に示す、「 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{SiO}_2 = 100\%$ 」となるような三角図をつくった。更に、この図に、製紙用填料、コーティング材、および、セメント、フライアッシュ等の材料の組成について、プロットした。これらの組成については、主に「粉体物性図説」^{*5}に拠った。

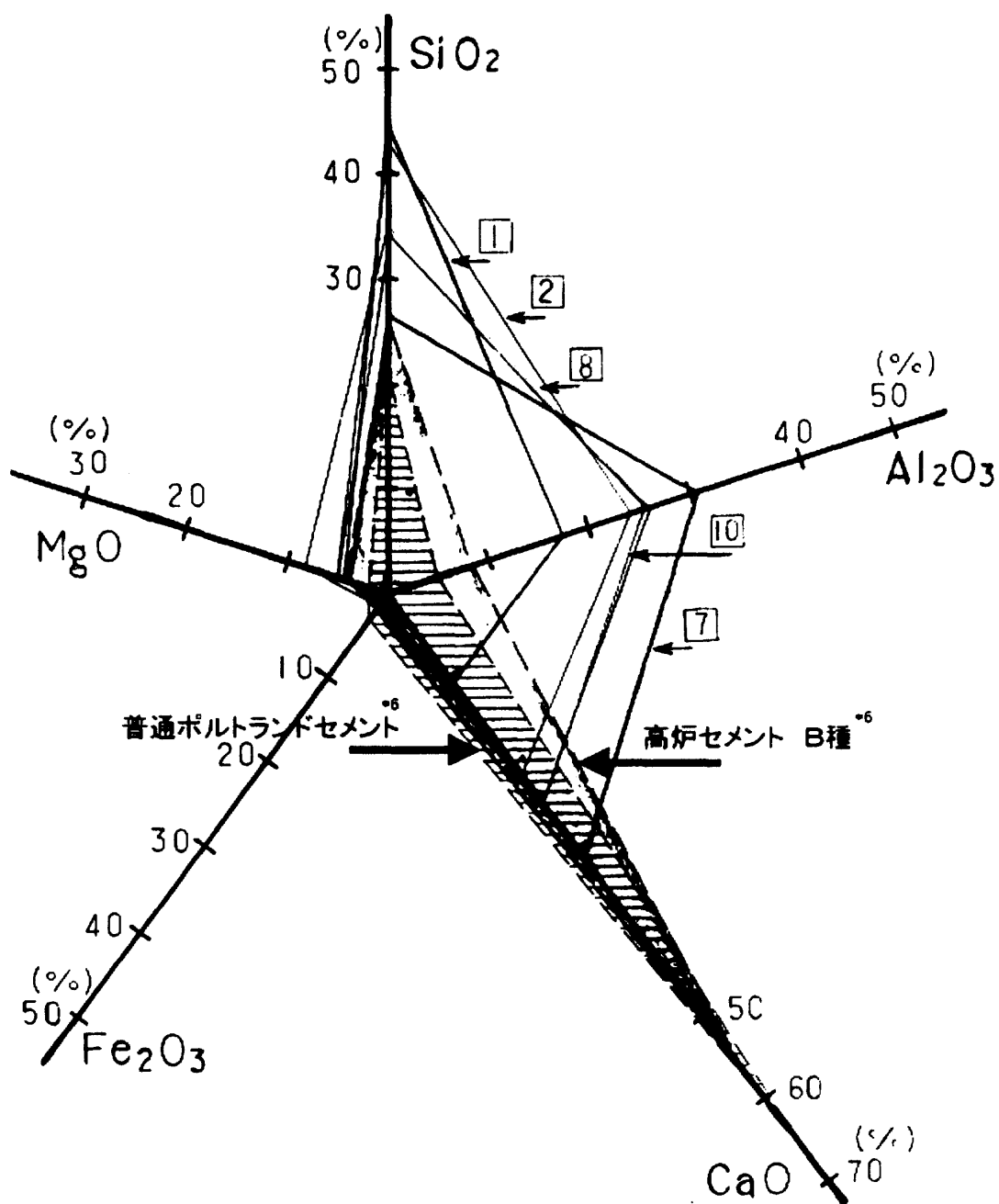
この図によれば、製紙スラッジ焼却灰の組成は、製紙用填料および凝集剤の影響があり、また、使用される製紙用填料の変化の影響もあることが分かった。

製紙スラッジ焼却灰-1の時期と中性紙の使用が多くなり、炭酸カルシウムの使用が多くなってきた時期、製紙スラッジ焼却灰-2以降のものとは CaO に違いが見られる。また、廃液等の環境への配慮が必要とされるようになると、製紙スラッジ焼却灰-2、製紙スラッジ焼却灰-3、製紙スラッジ焼却灰-4のグループと製紙スラッジ焼却灰-5以降のものとは、 Al_2O_3 に



1. 製紙スラッジ焼却灰	S 6 3. 0 2	PC	ポルトランドセメント
2. 製紙スラッジ焼却灰	H 0 1. 0 2	BS	高炉スラグ
3. 製紙スラッジ焼却灰	H 0 1. 0 8	D	ドロマイト粉末
4. 製紙スラッジ焼却灰	H 0 1. 1 2	F	フライアッシュ
5. 製紙スラッジ焼却灰	H 0 9. 0 2	Si	シラス
6. 製紙スラッジ焼却灰	H 1 2. 0 2	SS	豊浦標準砂
7. 製紙スラッジ焼却灰	H 1 3. 0 2	K	カオリン
8. 製紙スラッジ焼却灰	H 0 9. 0 8	KG	カオリングレー
9. 製紙スラッジ焼却灰	H 1 1. 0 8	R	ろう石
10. 製紙スラッジ焼却灰	H 1 2. 0 8	W	活性白土
AC	アルミナセメント	T	タルク
BC	高炉セメント B種	[$Al_2O_3 + CaO + SiO_2 = 100$ (%)]	
FC	フライアッシュセメント B種		

図 1 製紙スラッジ焼却灰とさまざまな物質*4 *5



- | | | | | | |
|---|-----------|------------|---|-----------|------------|
| ① | 製紙スラッジ焼却灰 | S 6 3. 0 2 | ② | 製紙スラッジ焼却灰 | H 0 1. 0 2 |
| ⑦ | 製紙スラッジ焼却灰 | H 1 3. 0 2 | ⑧ | 製紙スラッジ焼却灰 | H 0 9. 0 8 |
| ⑩ | 製紙スラッジ焼却灰 | H 1 2. 0 8 | | | |

図 2 製紙スラッジ焼却灰の組成

ついてわずかではあるが、差異が見られる。

製紙スラッジ焼却灰の組成の長い年月の推移を見ると、少しずつ変化して、安定しているものではない。

また、建築材料として使用する場合の参考資料を得るため、セメント、フライアッシュ、高炉スラグ、ドロマイト粉末、豊浦標準砂等の粉体材料と比べて見ると、製紙スラッジ焼却灰は三角図の中央近くに離れて分布しており、これらのいずれか材料と類似の材料として、製紙スラッジ焼却灰を扱うことは難しい。

図2は、製紙スラッジ焼却灰と普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント（B種）とについて、 Fe_2O_3 、 MgO を含めた5つの成分について比べたものである。この図からも、図1と同様のことが言える。

3. 製紙スラッジ焼却灰の骨材としての性質

3. 1 ふるい分け試験

製紙スラッジ焼却灰（PS灰）および白製紙スラッジ焼却灰（WPS灰）の粒度分布を調べるため、骨材のふるい分け試験法（JIS A 1102）に準じて、ふるい分け試験を行った。その結果を図3の製紙スラッジ焼却灰の粒度分布曲線図に示す。

製紙スラッジ焼却灰は、1988年の時とほとんど差異がないように見られ、0.075以下の微粒分が多い。また、白製紙スラッジ焼却灰は、製紙スラッジ焼却灰の分布より全体に下に位置し、製紙スラッジ焼却灰の分布よりバランスがよいように見受けられる。

なお、白製紙スラッジ焼却灰は、炉で再焼却してつくられる。その際、軽く焼結し、容器の形に固まるが、簡単に壊れる。ふるい分けに当たり、2.5mmふるい以下に壊してから、ふるい分け試験を行った。

3. 2 各ふるいに残る粒の色

ふるい分け試験を行った製紙スラッジ焼却灰の各ふるいに残る粒の色について観察した結果を表1に示す。

製紙スラッジ焼却灰の新旧の違いは、新しいものは、1.2mm程度のふるいで振るわれているため、炉材の欠片のようなものは除去されて、白い粒の白さの程度も良化している。両者とも、粒度が大きいと白粒が多く、0.15mmの粒度でも、半々か、やや白粒が灰緑色の粒に勝っている。また、粒形は角張った球に近いものが多いように思われる。（写真2 0.3mmの場合 参照）

白製紙スラッジ焼却灰の場合は、すべての粒度とも、白粒および白微粉末である。このことは950℃～1000℃でカオリン鉱物がムライトを生成しはじめるということ等と関連すると考えている。粒形については、製紙スラッジ焼却灰と同様、角張った球に近い形が多いように思われた。（写真3 0.3mmの場合 参照）

3. 3 密度と含水率について

製紙スラッジ焼却灰、白製紙スラッジ焼却灰ともに、粘土鉱物を含むので、気乾状態のまま、

表 1 製紙スラッジ焼却灰の観察・試験結果

		製紙スラッジ焼却灰 (01)	白製紙スラッジ焼却灰	製紙スラッジ焼却灰 (88)
全 体	色・ 粒形等	灰緑色の微粉末、白粒 が時折浮かぶ。	白色の微粉末	灰緑色の微粉末 粒形は 目立たない。
	密 度	2.19	2.12	2.41
	気乾含水率 (%)	0.20	0.00	0.81
	単位容積質量 (kg/l)	0.84	0.76	—
各 粒 度 (μm)	1.2	白色粒が多くを占める。	白色粒	白色粒が多くを占める。
	0.6	白色粒が多くを占める。	白色粒	白色粒が多くを占める。
	0.3	白色粒と灰緑色粒が雑じる。	白色粒	灰緑色の粒が主になる。
	0.15	白色粒と灰緑色粒が雑じる。	白色微粒	灰緑色の粒が主を占める。
	0.075	灰緑色の微粒	白色の微粉末	灰緑色の微粒
	0.038	灰緑色の粉末	白色の微粉末	灰緑色の粉末
	0.038未満	灰緑色の粉末	白色の微粉末	灰緑色の粉末

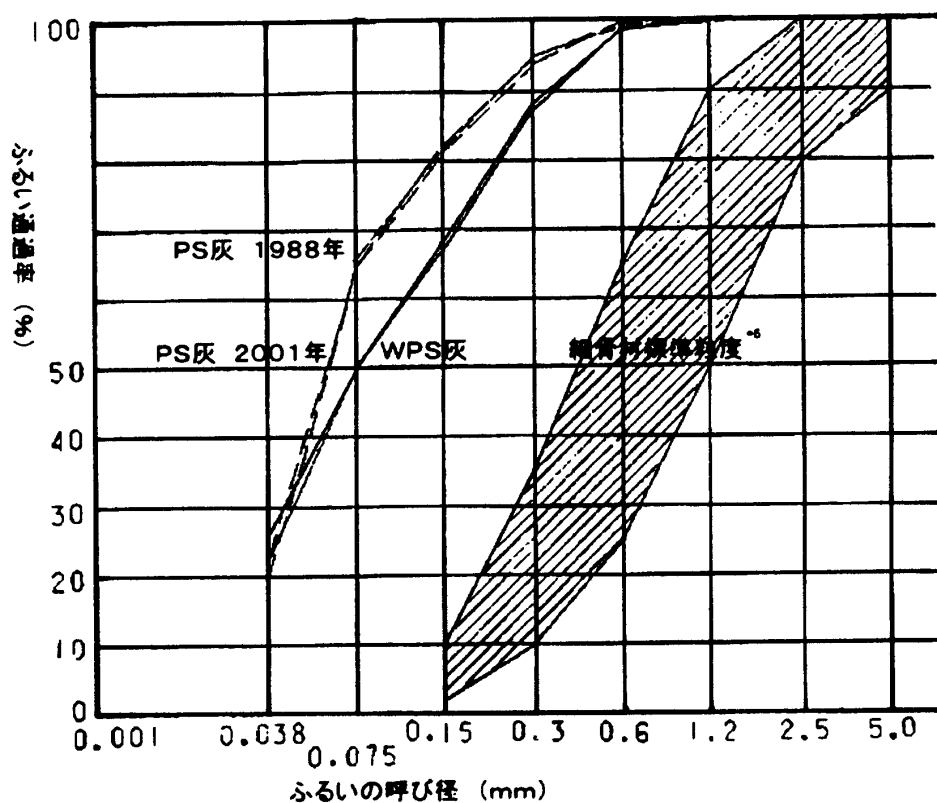
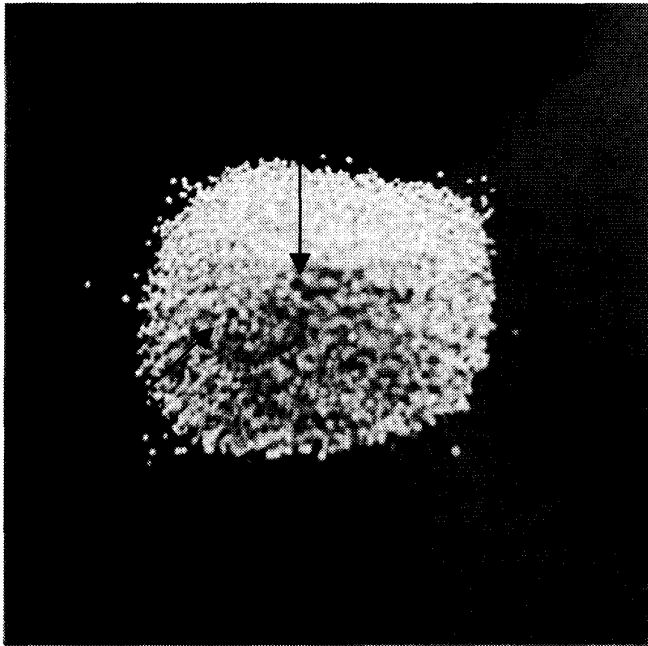


図 3 製紙スラッジ焼却灰の粒度分布曲線図



写 真 2.
製紙スラッジ焼却灰
(0.3mm)

→ の先に、灰緑色
の粒が見られる。



写 真 3.
白製紙スラッジ焼却灰
(0.3mm)

細骨材の密度および吸水率試験法 (JIS A 1109) に準じて、密度と含水率の試験を行った。
結果は表 1 に示す。

また、含水率は、製紙スラッジ焼却灰、白製紙スラッジ焼却灰ともに、表 1 の結果に示すように、
絶乾状態、あるいはそれに近い状態にある。

なお、上述した計量証明書によれば、嵩比重は、

製紙スラッジ焼却灰—5 0.69 製紙スラッジ焼却灰—6 0.49

製紙スラッジ焼却灰—7	0.78	製紙スラッジ焼却灰—8	0.67
製紙スラッジ焼却灰—9	0.74	製紙スラッジ焼却灰—10	0.83

となっている。

3.4 単位容積質量について

製紙スラッジ焼却灰、白製紙スラッジ焼却灰の単位容積質量は、骨材の単位容積質量及び実績率試験法（JIS A 1104）にそって、棒突きによる方法で試験を行った。その結果は表1に示す。

4. 結び

製紙スラッジ焼却灰の有効活用を図るための資料を得るため、製紙スラッジ焼却灰の組成の推移を三角図をつくり検討をした。長年月の推移をみると、その組成は安定しているとはいいがたく、利用に当たっては、その点を考慮した活用方法をするべきで、筆者が考えているようなペースト等への活用はまず妥当なものであると思われる。また、現在使われている建築粉体材料の組成との類似性についても検討したが、類似する組成をもつものは見あたらなかった。

更に、骨材としての性質について、コンクリート用の細骨材の試験法に準じて行い、表1に示すような結果を得た。

謝辞

本報告に当たり、静岡県富士工業技術センター研究主幹日吉公男先生には、文献調査をはじめ、数々のお世話を頂いた。また、富士製紙共同組合からは製紙スラッジ焼却灰および関係する資料を頂いた。ここに、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- * 1 製紙スラッジの有効利用の現状と資源化の研究動向
下野 健一 他4名
静岡県製紙工業試験場報告 第31号 1979年11月
- * 2 ペーパースラッジの焼却灰処分（平成11年度）
静岡県富士市H. P 産業・生活環境資料 2000年10月
- * 3 PSの処理・処分状況（平成12年度）
富士製紙共同組合資料 2001年 7月
- * 4 静岡県環境計量証明書（含有試験）
富士製紙共同組合資料
- * 5 改定増補 粉体物性図説
粉体工学会、(社)日本粉体工業技術協会編
日経技術図書(株) 1985年12月
- * 6 建築材料用教材
(社)日本建築学会編
(社)日本建築学会 2000年2月

(平成13年12月5日受理)