

# 論文 刃物研磨かすスラッジを細骨材として用いたコンクリートに関する研究

渡辺 誠一\*1・後藤瑠美子\*2・鶴川 貴子\*3・松尾 友恵\*3

**要旨**：産業廃棄物である刃物研磨かすスラッジをコンクリートの細骨材に一部置換した場合、その置換率とコンクリートの強度及びコスト比強度についての実験的研究である。このスラッジは砥石及び刃物の種類により、金属繊維の長さ、太さが異なり感触に違いがある。ここでは、種類の異なる砥石によるスラッジ4種を用いて、モルタルによる予備実験とコンクリート(FC370)の細骨材のスラッジ置換率 0/1, 1/1, 3/4, 2/3, 1/2, 1/3, の6種類を行なった。その結果、ある種のスラッジでは置換率 1/3 で強度は落ちず、それ以上の場合はほぼ比例して強度は落ち 1/1 では4週強度で約4割となり、コスト比強度は1/3置換で1.1となった。  
**キーワード**：産業廃棄物、刃物研磨かすスラッジ、スラッジ置換率、コスト比強度

## 1. はじめに

いまや産業廃棄物を如何に利用するかは極めて重要な課題である。岐阜県関市では刃物研磨かすスラッジが産業廃棄物として年間 1600t も排出されている。これらの有効利用として瓦などへの混入が実用化されている。筆者らはそこで、これをモルタルやコンクリートの細骨材の部分的置き換えより、スラッジを混入した場合のコンシステンシー（フロー値、スランプなどを主として）、およびそれらの強度ならびにコストを含めた比強度の観点から実験的研究を行ったものであり、それについて報告する。

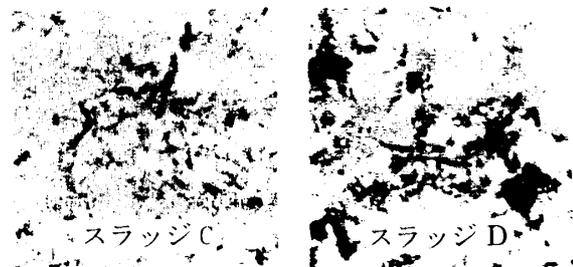
## 2. 刃物研磨かすスラッジについて

刃物製品の包丁やハサミなどを砥ぐための砥石にはセメント系砥石（マグネシアセメント系、砥粒—アルミナ  $Al_2O_3$ ）、及び樹脂系砥石（エポキシ系、砥粒—アルミナ  $Al_2O_3$ ）などがあり、コストの関係からセメント系砥石が多く使用されている。このスラッジは主に繊維状の金属くず、砥石の粉末、研削液（水分）からなり湿潤な状態にあるが貯蔵の仕方により半固形など様々な

ものがある。このうちセメント系砥石により刃物を研磨したスラッジの成分分析結果の一例を表—1に示す。

表—1 スラッジ成分分析の一例

成分 (%)	水分	C	FeO	SiO <sub>2</sub>	Br	Na <sub>2</sub> O
	46.7	21.3	10.2	6.0	3.8	0.4
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	その他	
	0.2	0.0	0.0	0.0	11.4	



写真—1 スラッジ顕微鏡 (47倍)

次に、これらのスラッジは砥ぐ刃物の種類、及び砥石の品番〔研削(荒砥ぎ)から仕上げ用まで〕、砥石の硬さなどによりスラッジに混入する砥粒や金属繊維の長さや太さなどにより違いがあり、スラッジ内の塊などを解した乾燥状態での手ざわりから、もったりしたものとさらつ

\*1 椋山女学園大学教授 生活科学部生活環境学科 博士 (工学) (正会員)

\*2 ㈱中部松下電工エス・エフ・ジー社員

\*3 椋山女学園大学 生活科学部生活環境学科 学生 (当時)

としたものなどその違いがわかる。

これらのスラッジの一例を顕微鏡拡大により品番の異なるセメント系砥石によるものを写真—1に示す。なお、現在、これらのスラッジは管理型処分場に処分されている。

### 3. 実験の概要

実験は予備実験として、モルタルの砂分の一部をこのスラッジで置き換え混入した場合、及び本実験としてコンクリートの細骨材を部分的に置き換え混入した場合の混入率についてそれぞれ数種類のケースを想定した。ここに用いたスラッジはセメント系砥石(品番 60, 80 混合)によるステンレス包丁のスラッジで、金属繊維が太く絡みの少ない手さわりのうえからさらっとしたもの(スラッジ A と呼ぶことにする)、及びステンレス包丁の樹脂系砥石(品番 80)による金属繊維が細く、絡まりの多い手さわりの上、もったりしたもの(スラッジ B と呼ぶことにする)を用いた。

## 4. スラッジを混入モルタルの実験

### 4.1 使用機材他

#### (1) 使用機器

- ・ 粉体混練機(ミックスミキサー)
- ・ フロー試験機(JIS R5201)
- ・ テストピース型枠(50mmφ×100mm)

#### (2) 使用材料

- ・ 普通ポルトランドセメント(JIS R5210)
- ・ 川砂(JASS 5)
- ・ 刃物研磨かすスラッジ A, B

(モルタル混入用スラッジは乾燥させた後、塊などを解し2.36mm目のフルイにより通過したものを用いる)

- ・ 混和剤 AE 減水剤

### 4.2 モルタルの配合上の仮定、および砂の置き換え率

この実験においてスラッジを混入しないモルタルを基本モルタルと以下呼ぶことにする。

モルタルの配合上の仮定は基本モルタルの水

セメント比を 65%, フロー値を 190, セメントと細骨材の混合を重量比で 1:2 とした。また、砂とスラッジの置き換え率は容積の内割で 30%, 50%, 70% の 3 種類とした。また、スラッジを混入したモルタルのコンシステンシーを合わせるため、基本モルタル調合の砂をスラッジ置き換えたスラッジ混入モルタル調合に仮定のフロー値に近くになるまで基本モルタルと同じ水セメント比のセメントペーストを加えることにした。これらのモルタルの最終調合結果を表—2 に示す。なお、フロー試験は 4.1(1)に示す試験装置によりフローコーンに各種モルタルを 2 層に分けてつめ、突き棒で 15 回ずつ突いて上面をならし、カムを 15 回転させてテーブルを上下に振動させモルタルの平均広がり測定する。また、練り混ぜ時間は空練り 2 分、本練り 3 分とした。

表—2 スラッジ混入モルタル最終調合表

		基本		A			B		
スラッジ混入率(%)		0	30	50	70	30	50	70	
単位質量 kg/m <sup>3</sup>	水	368	402	407	437	368	380	393	
	セメント	567	621	626	674	567	586	605	
	細骨材	1133	710	488	263	793	543	310	
	スラッジ	—	281	449	566	313	499	667	
混和剤		—	3.2	3.3	3.7	2.8	3.0	3.0	

### 4.3 実験結果

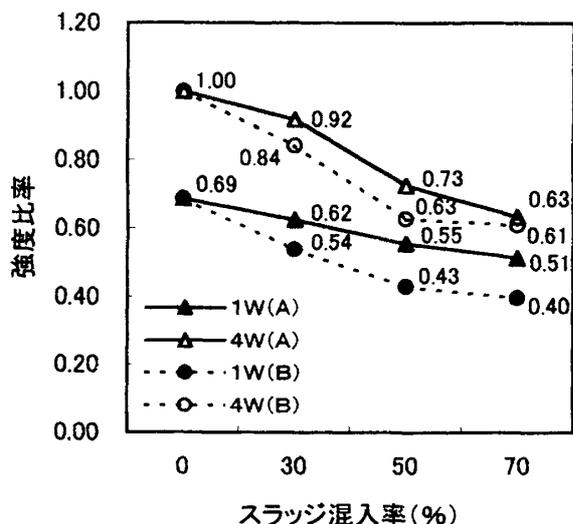
1 週及び 4 週強度を表—3 に示す。また、基本モルタル強度に対するスラッジ混入モルタル強度比率を図—1 に示す。なお、練り混ぜ直後のフロー値はスラッジ B の方が伸びは良好であった。

表—3 スラッジ混入モルタルの強度

スラッジ 混入率(%)	1W		4W		
	N/mm <sup>2</sup>	1W/4W	N/mm <sup>2</sup>	4W/4W	
0	26.46	0.687	38.52	1.000	
A	30	24.04	0.624	35.38	0.919
	50	21.33	0.554	27.93	0.725
	70	19.77	0.513	24.39	0.633
B	30	20.69	0.537	32.43	0.842
	50	16.49	0.428	24.11	0.627
	70	15.29	0.397	23.45	0.609

\* テストピース3本平均 \* Wは週を示す

\* 基本4W強度を1.0とする



図—1 スラッジ混入モルタル強度比率

4.4 考察

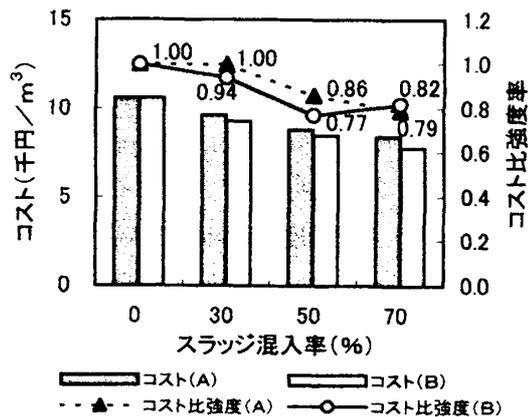
これらの結果から次のようなことが言えよう。

- ① スラッジの混入率が増えれば、モルタル強度は減少する。スラッジAよりスラッジBが強度は低い。これは金属繊維の細かい絡まりが原因と考えられる。
- ② スラッジの混入率が50%, 70%となるにつれスラッジAはコンシステンシーが小さくなり、セメントペーストを多く加えることとなった。
- ③ 4週圧縮強度はスラッジの混入率が50%でAが基本の0.73, Bが基本の0.63となったが、混入率70%ではA, Bとも約0.6となり大きな違いがなかった。これはセメントペーストを多く加えたことによるものと考えられる。
- ④ 次に、コスト比較をコスト比強度(それぞれの強度をコストで除した値)により行うものとし、それらを図—2に示す。(これらを計算したコスト単価は本文の付—1に示す資料による。)コスト比強度で比較すると、30%以上のスラッジ混入率ではコンシステンシーを一定にする仮定条件からセメントペーストを多く加えることにより安くはならないことがわかる。

5. スラッジ混入コンクリートの実験—その1

5.1 使用機材

(1) 使用機器



図—2 スラッジ混入モルタルコスト比強度

- ・ 強制型コンクリートミキサー(TM-100)

(2) 使用材料

- ・ 普通ポルトランドセメント(JIS R5210)
- ・ 細骨材: 川砂(JASS 5)
- ・ 粗骨材: 砕石(JIS R5005)
- ・ テストピース型枠(100mm φ × 200mm)
- ・ 刃物研磨かすスラッジ
- ・ 混和剤: AE 減水剤

5.2 調合及び使用スラッジとその混入率

スラッジを混入しない基本コンクリートの設計強度を  $F_c : 27N/mm^2$  水セメント比 50%, スランプ 18cm とし調合強度を  $33N/mm^2$  とした。それらの調合を表—4に示す。

次に、ここで使用したスラッジはセメント系砥石によるもので金属繊維が細かく、絡み合いの多いもの(ハサミ・砥石品番 150), 及び金属繊維が太く、絡み合いが少ないもの(包丁・砥石品番 60・80 混合)を使用し、前者を C, 後者を D とした。

スラッジの混入コンクリートについては基本コンクリート調合における細骨材について容積の部分置き換えとし、1/3, 1/2, 2/3, 3/4, 1/1 の5種類とした。

表—4 スラッジ混入コンクリート調合表—1

単位質量 kg/m³	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
	191	382	768	1006	1.05

### 5.3 実験結果

スラッジを混入しない基本コンクリートの練り上がりスランブは17cmで、1週及び4週圧縮強度はそれぞれ9.98N/mm<sup>2</sup>, 37.4N/mm<sup>2</sup>であった。これを基にスラッジを混入したコンクリートの1週及び4週圧縮強度の比率を図-3に示す。また、スラッジ混入コンクリート練り上がり時のスランブを表-5に示す。スランブ試験の状況を写真-2に示す。

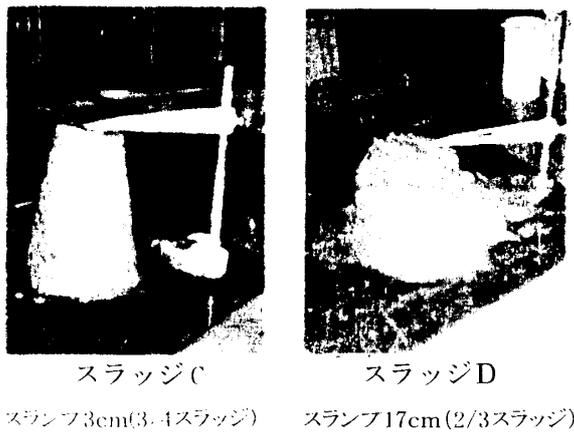


写真-2 スランブ測定状況

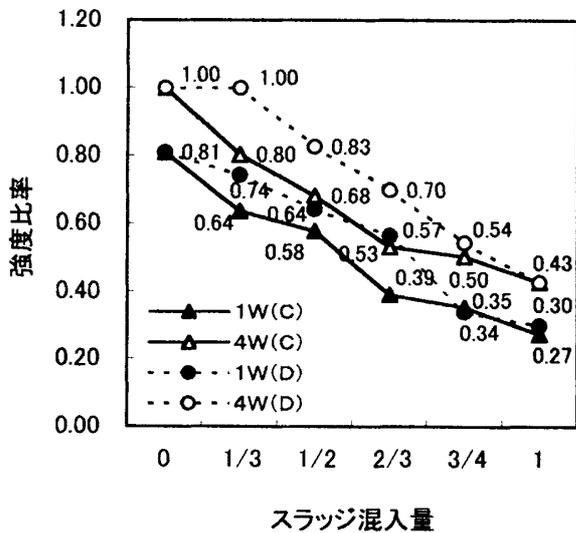


図-3 スラッジ混入コンクリートの強度比率

表-5 スラッジ混入コンクリートのスランブ

スラッジ混入量	0/1	1/3	1/2	2/3	3/4	1
スランブ (cm)	C	17.0	10.0	9.8	6.0	3.0
	D	17.0	17.0	18.9	17.0	16.5

### 5.4 考察

#### ① 圧縮強度について

図-3に示すようにスラッジDの細骨材1/3混入では基本コンクリートの強度に比して殆ど強度低下は起こらなかった。(これについて更に確かめるため水セメント比などを変えた実験を行った。以下6.において述べる)。しかし、それ以上の混入になると強度はほぼ比例して低下した。混入2/3まではスラッジDの強度の約75%がスラッジCの強度となった。即ち、スランブの小さいコンシステシーの小さいコンクリートは強度低下が大きいという結果となった。また、細骨材を2/3スラッジに置き換えたコンクリート強度は置き換えないものに比して、スラッジC及びDの混入において、それぞれ1週で0.39, 0.56に、4週で0.53, 0.70とスラッジCがDの約70%となった。また、スラッジ混入1/1では4週圧縮強度においてスラッジC, D共に基本コンクリートの約40%程度でほぼ同じ値となった。

#### ② 練り上がりコンクリートの状況

スランブについては表-5に示すようにスラッジDはともかく、スラッジCについてはスラッジ混入の増加につれて極度に小さくなった。スラッジC混入コンクリートは金属繊維が細かく、絡み合いの多いことによりコンシステシーが小さく、強度も低いコンクリートとなった。

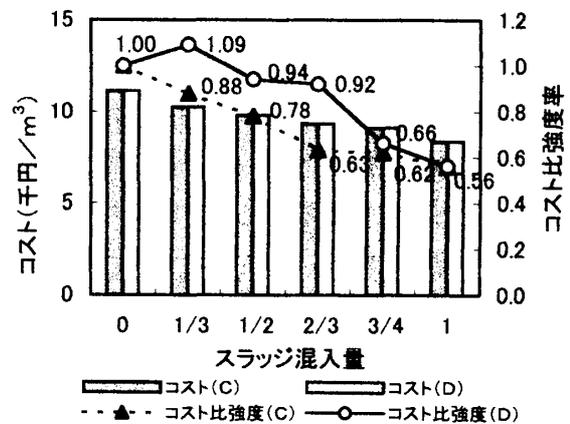


図-4 コンクリートのコスト比強度-1

③ スラッジ混入コンクリートのコスト

モルタルの場合と同様にスラッジ D 使用の場合のコスト比強度を求めたものを図—4 に示す。この図から細骨材の 1/3 置き換えたコンクリートでは細骨材を置き換えないコンクリートに比べて約 1.1 倍となりコスト上は有利な結果となった。

6. スラッジ混入コンクリート実験-その 2

ここでは細骨材の 1/3 スラッジ置き換え混入のコンクリートが強度低下のないことからその検証のため、金属繊維が太く、絡み合いが少ないスラッジDに類似したスラッジAを用いて細骨材容積で内割り 30%とした3ケースの実験を行った。

6.1 実験の種類

①ケース 1, 水セメント比 71% スランプ 11cm のコンクリートを基本とし、スラッジ混入コンクリートはスランプを 11cm 近くになるまで同じ水セメント比のペーストを加えることとした。しかし、この場合、セメントペーストを追加する割にスランプ伸びが小さいことからスランプ 9cm で止めた。

②ケース 2, 水セメント比 78%スランプ 24.5cm のコンクリートを基本とし、スラッジ混入コンクリートは細骨材のみスラッジ内割り 30%とする。

③ケース 3, 水セメント比 60%スランプ 23cm のコンクリートを基本とし、スラッジ混入コンクリートは細骨材のみスラッジ内割り 30%とする。

これらの結果をまとめて表—6 に示す。

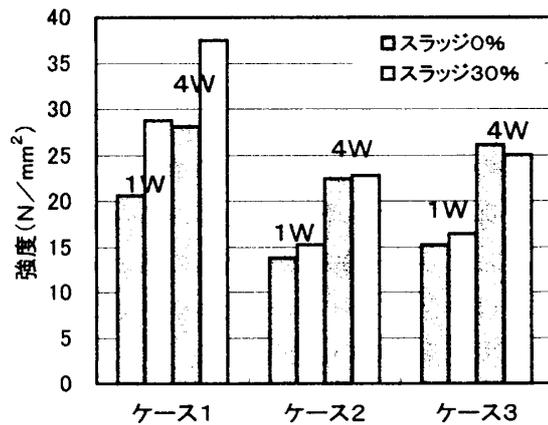
6.2 実験結果と考察

ケース 1~3 の圧縮実験結果を図—5 に示す。ケース 1 ではスラッジ混入コンクリートの強度が 1 週, 4 週共にモルタル実験の場合と同様に基本のコンクリートに比べて高い値となった。このような特殊なコンクリートでは水セメント比説は成り立たないといえる。

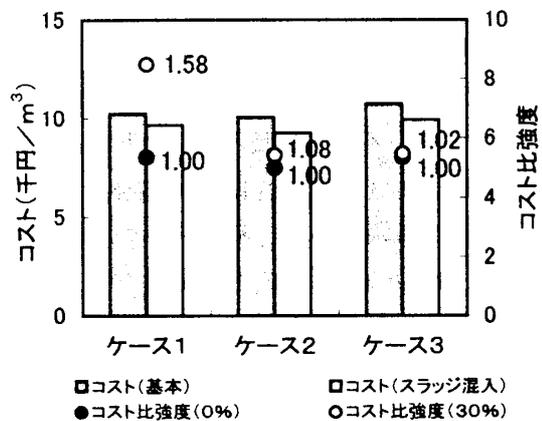
ケース 2 及び 3 では 1 週, 4 週において両者

表—6 スラッジ混入コンクリート調査表—2

		ケース1		ケース2		ケース3	
W/C(%)		71		78		60	
スラッジ混入率(%)		0	30	0	30	0	30
スランプ(cm)		11.0	9.0	24.5	15.0	23.0	7.5
単位質量 kg/m <sup>3</sup>	水	284	331	302	302	249	249
	セメント	394	463	384	384	413	413
	細骨材	633	395	623	435	668	468
	スラッジ	—	158	—	173	—	187
	粗骨材	871	777	853	853	918	918
混和剤		1.3	1.4	1.2	1.2	—	—



図—5 スラッジコンクリートの強度



図—6 コンクリートのコスト比強度—2

の圧縮強度は殆ど差がでなかった。このことから 5. で述べた実験結果はほぼ妥当なものといえる。また、これらのコスト比強度を図—6 に示す。ケース 1 はセメントペーストを加えたことによりコスト比強度は 1.58 と極めてよく、その他は 1.08~1.02 となり基本のコンクリートよりやや良好となった。

## 7. 結論

スラッジ混入モルタル及びコンクリートの実験から次のような知見が見出された。

- 1) 刃物研磨かすスラッジをコンクリートに混入した場合の強度は、混入率が高いほど強度は低下する。モルタルにおいても同様である。
- 2) コンクリートの細骨材の1/3程度までの置き換え混入では、スラッジ内の金属繊維が太く、絡み合いの少ないものでは強度は殆ど低下しない。しかし、金属繊維が細く絡みの多いものは強度低下がある。
- 3) コンシステンシーはスラッジ内の金属繊維の太さや絡み具合により異なる。

即ち、砥石の種類・品番（目の粗さ）などにより、金属繊維の絡みの多いスラッジではスランプやフロー値は小さくなり、置き換え率が高いほど著しい。

- 4) コストについて、コスト比強度で比較したところ、コンシステンシーを一定にしたモルタルでは細骨材のスラッジ内割り 30%まででは普通モルタルとほぼ同じであったが、それ以上の置き換え混入率で、コスト比強度は低くなり約 15%割高となった。

一方、スラッジ混入コンクリートでは細骨材の1/3程度置き換えの場合、スラッジ内の金属繊維が太く絡み合いの少ないものでは約 10%コスト安となったが、金属繊維絡み合いの多いものでは 12%コスト高となった。しかし、いずれもスラッジの混入率が多くなるほどコストパフォーマンスは悪くなり、細骨材をスラッジで総て置き換え場合では 50%コスト高となった。

以上スラッジ混入コンクリートの強度とコンシステンシー及びコスト比強度の一端を述べたが、実用化には更にコンクリートの物理的諸性質について研究されなければならない。また、指定廃棄物であるから混入コンクリートの成分の流出がある場所に用いる場合には

安全基準値内にあるかを確認しなければならないであろう。実用化には左官モルタルやコンクリートの強度上はスラッジの性質と混入率を考慮することにより可能であり、産業廃棄物再利用への一歩となれば幸いである。

## 謝辞

スラッジを提供頂いた㈱ニッパ、長谷川刃物㈱川嶋工業㈱の方々、並びに岐阜県金属試験所試験研究部、関市役所環境経済部企業誘致対策室の皆様のご協力に感謝いたします。

## 資料 付—1 コスト単価

使用材料		比重 g/cm <sup>3</sup>	コスト 円/kg
練り混ぜ水	水道水	1.0	1
セメント	普通ポルトランドセメント	3.2	10
細骨材	0.1~5.0mmの川砂	2.6	4
	スラッジ	2.3	0
粗骨剤	5~25mmの石	2.6	4
混和剤	チューポール	1.0	30

注)コストは、T建設会社技術研究所主催の学生によるコンクリートコンテスト資料中のコスト表による

## 参考文献

- 1) 廃棄物ハンドブック 廃棄物学会篇  
オーム出版 1996.5
- 2) 産業廃棄物処理ガイドブック 東京ガス産業廃棄物処理問題研究会篇—改訂版  
電力新報社 1998.3
- 3) 新建設材料実験 日本材料学会 1998

注)

この論文は下記の卒業研究論文を纏めたものである。

- ・ 後藤瑠美子・岩田明子：平成 10 年度椋山女学園大学卒業研究論文 「スラッジを細骨材として用いたコンクリートの基礎的研究—関市の産業廃棄物の有効利用—」 1999.3
- ・ 鶴川貴子・松尾友恵：平成 10 年度椋山女学園大学卒業研究論文 「スラッジの骨材としての利用—関市の刃物研磨くずの有効利用—」 2000.3