

## 第5章 めっきスラッジの建材利用の可能性に関する検討

めっきスラッジの殆どが埋め立てされており、将来、その全量を山元還元することは極めて困難と考えられる。めっきスラッジは成分的に無機物であり、何らかの循環化を目指す方策として建築・土木分野での利用の可能性があることから、今回、タイルとレンガの試作を行うと共に物理試験及び溶出試験を実施した。

### 5.1 めっきスラッジ漆喰タイルの試作と評価

めっきスラッジを配合した漆喰タイルは超高压プレスによる成型タイルで、めっきスラッジ 60%と消石灰 40%を原料として田川産業㈱に依頼して製作した。

#### 5.1.1 製作と評価試験要領

試作品の製作及び評価試験の役割分担を図 5.1-1 に示す。また、試作品を図 5.1-2、図 5.1-3 に示す。

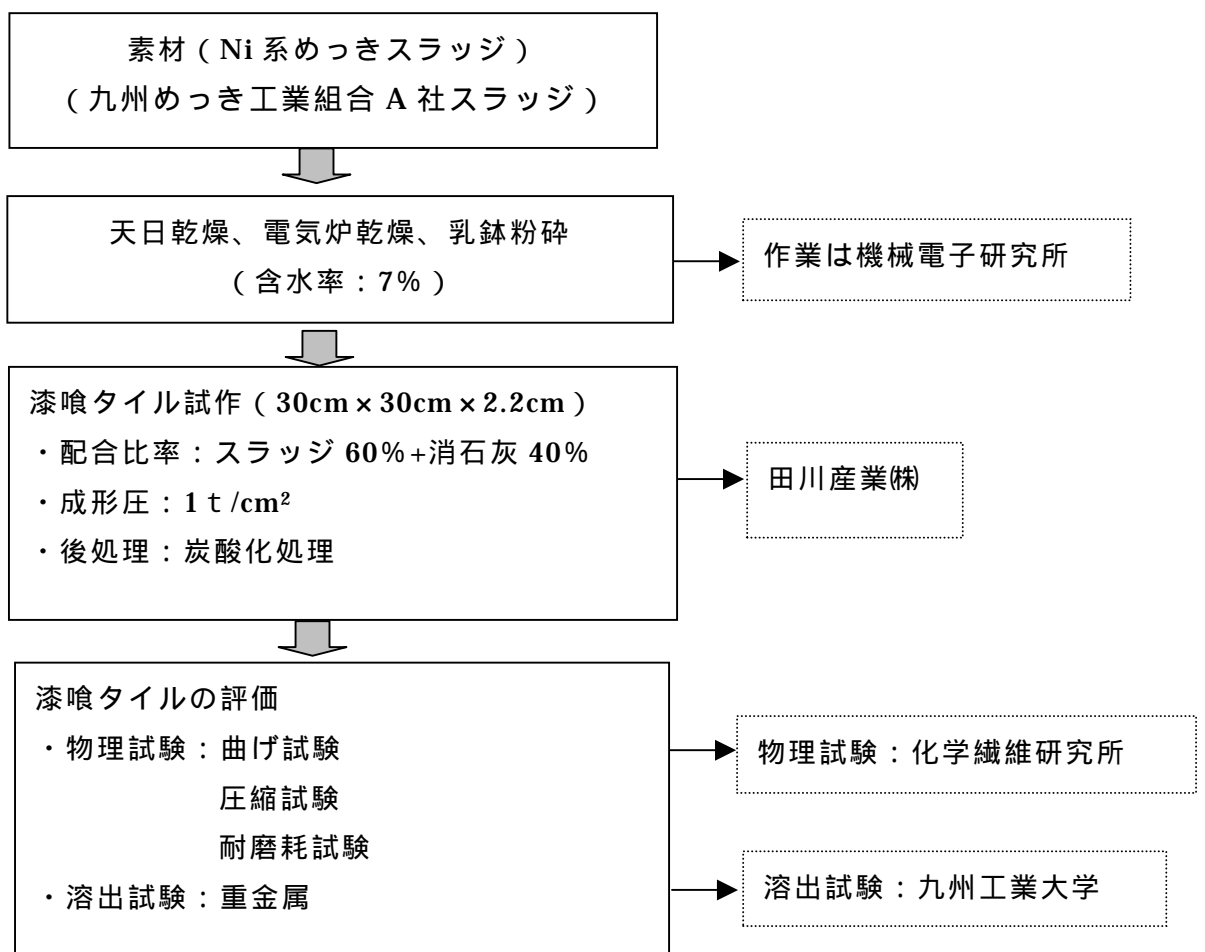


図 5.1-1 漆喰タイルの試作と評価試験



図 5.1-2 めっきスラッジタイル-その 1



図 5.1-3 めっきスラッジタイル-その 2

(1) 試験素材の形状(化学繊維研究所の3枚)

	形状 (cm)	重量 (g)
A(端欠)	14.6(縦) × 14.6(横) × 2.2(高さ)	740
B	15(縦) × 15(横) × 2.2(高さ)	860
C	15(縦) × 15(横) × 2.2(高さ)	840

A, B は別紙に写真を掲載、C は写真なし。

重量の差は、周辺部の欠け等による。

(2) 試験項目と実施箇所

	九州工業大学	化学繊維研究所		
	溶出試験	曲げ試験	圧縮試験	耐摩耗試験
試験規格(JIS)	環告 46 号	A5209 準拠	-	A5209 準拠
試験回数	1	3	3	3

【溶出試験の項目:(表 5.1-3 参照)】

A5209:JIS 規格の名称「陶磁器質タイル」

圧縮試験:R1250「普通レンガ」と寸法が異なるため、類似した規格ということになる。

参考(田川産業株)のヒアリング:

漆喰タイルは「JIS A 5209 陶磁器質タイル」を準用しているが、漆喰タイルは非焼成であることから素材としては石材、大理石に近いものである。「JIS A 5003 石材」には圧縮強さ (kgf/cm<sup>2</sup>) {N/cm<sup>2</sup>} 吸水率 (%) 見掛比重 (g/cm<sup>3</sup>) の3つの基準があるが、用途などから暫定的に A5209 としている。

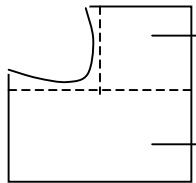
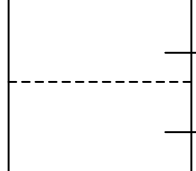

(3) 物理試験実施要領

化学繊維研究所担当部署: 化学課

試験片の製作(切出し及び加工)

試験片の製作及び試験結果の注意事項

- ・ 切断は粉じん対策も含めて湿式切断で行っている。
- ・ タイルの試験は製品の大きさで実施することが普通となっているが、今回は縦、横、高さの寸法比率に合わせて試験片を製作し試験する(試験寸法は小さくなる方向)。
- ・ 試験片寸法が小さくなると試験結果は良好な値になって行くことに注意する必要がある。

試験素材（3枚）	試験内容
	圧縮試験片（cm）：2×2×2 試験回数：3回 このまま曲げ試験
	このまま曲げ試験 } このまま曲げ試験 }      試験終了後に溶出試験
	耐磨耗試験片（cm）：4×4×1以下 試験回数：3回 （加工部分は化繊研にお願いしている）

### 5.1.2 物理試験結果

表 5.1-1 に物理試験結果を示す。表 5.1-2 にスラッジタイルと市場品タイルの比較を示す。

表 5.1-1 物理試験結果

	平均値	1回目	2回目	3回目	備考
曲げ試験 [N/cm]	18	5.1	23.7	25.9	平均値のみ 報告書に記 載
圧縮試験 [N/mm <sup>2</sup> ]	4.8	4.76	5.03	4.61	
耐磨耗試験 (g)	0.10	0.0776	0.0609	0.1758	

表 5.1-2 スラッジタイルと市場品タイルの比較

	スラッジタイル	JIS タイル <sup>(1)</sup>	JIS レンガ <sup>(2)</sup>	LIMIX <sup>(3)</sup>
曲げ試験 [N/cm]	18	12	-	100 以上
圧縮試験 [N/mm <sup>2</sup> ]	4.8	-	15	36
耐磨耗試験 (g)	0.10	0.1	-	0.016

< 参考 >

JIS タイル：A5209 陶磁器質タイル

) 曲げ強さの基準

区分		幅 1cm 当たりの 曲げ破壊荷重 〔N/cm〕kgf/cm}
内装タイル	壁用	12{1.23}以上
	床用	60{6.12}以上
外装タイル	寸法 155mm 以下	80{8.16}以上
	寸法 155mm を超える	100{10.20}以上
床タイル		120{12.24}以上
モザイクタイル		60{6.12}以上

) 耐磨耗性

磨耗減量：0.1 g 以下

) タイルの品質

曲げ強さ、耐磨耗性の以外の品質基準は、反り及びばち、吸水率、耐貫入性、耐凍害性、耐薬品性がある。ただし耐凍害性、耐薬品性は当事者間の協定

JIS レンガ：R1250 普通レンガ

) 特性

	2 種	3 種	4 種
圧縮強さ 〔N/mm <sup>2</sup> 〕kgf/mm <sup>2</sup> }	14.71{1.50}以 上	19.61{2.00}以 上	29.42{3.00}以 上

LIMIX：田川産業(株)ホームページ

) LIMIX の物理的性質

試験項目	試験結果	単位	試験方法
比重	1.9 ~ 2.2	〔g/cm <sup>3</sup> 〕	JISA5209
吸水率	0.5	〔%〕	
曲げ強さ	壁用	100 以上	
	床用	280	〔N/cm〕
圧縮強度	360	〔kgf/cm <sup>2</sup> 〕	JISR1250
	( 35.52 )	〔N/mm <sup>2</sup> 〕	換算値
耐磨耗試験 ( 床用 )	0.016	〔g〕	JISA5209
ヤング率	2.4 × 10 <sup>-5</sup>	〔kgf/cm <sup>2</sup> 〕	-

### 5.1.3 溶出試験結果及び土壌環境基準との比較

表 5.1-3 に漆喰タイル溶出試験結果を示す。鉛が土壌環境基準を超えている。

表 5.1-3 漆喰タイル溶出試験結果

項目	試験値 (mg/L)	土壌溶出量基準
カドミウム	不検出	0.01mg/L以下
全シアン	-	検出されないこと。
有機燐(りん)	-	検出されないこと。
鉛	0.052	0.01mg/L以下
六価クロム	不検出	0.05mg/L以下
砒(ひ)素	-	0.01mg/L以下
総水銀	不検出	0.0005mg/L以下
アルキル水銀	-	検出されないこと。
P C B	-	検出されないこと。
銅	0.98	農業用水(田)0.02mg/L以下
セレン	-	0.01mg/L以下
ふっ素	-	0.8mg/L以下
ほう素	-	1mg/L以下
亜鉛	不検出	-
ニッケル	不検出	-
マンガン	不検出	-

同一試料 3 回の単純平均値/環境庁告示 46 号法

### 5.1.4 商品としての評価について

緑色の建材はないので、商品価値は高いと考えられる。現在の緑色の顔料は3価クロムのもので、これに近い緑色となっている。クロム系に変わる発色が求められている状況である。

商品化するには消費者の意見だけでは売れないので、通常、全国の設計士や建築士にコメントをもらう必要があり、そして設計仕様に反映されるようになると商品価値が上がる。建築士、設計士はピュアーでないもの、使われたものに興味を持っているとのこと。この緑色は深みがある色となっているので注目される可能性はあるが、ロットによる色の違いが無いようにしなければいけない。

商品化までの課題は多いが、これらを乗り越えればスラッジの有価での購入も考えられるとの評価が得られている。

## 5.2 めっきスラッジ配合インターロッキングブロックの試作

### 5.2.1 インターロッキングブロックの製造試験

めっきスラッジがセメント二次製品用の骨材として使用可能かどうかの確認の為、今回インターロッキングブロックで製造試験を実施した。

#### (1) 製造概要

##### (a) 製造月日

H17年 2月 21～23日

##### (b) めっきスラッジ種類

区分	含水率	主成分				外観
		ZnO	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
A社製	80%	4～5%	2～3%	1～2%	1～2%	粘土塊状
		ZnO	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
B社製	70%	4～6%	1～4%	4～10%	1～3%	粘土塊状
		ZnO	CaO	CuO	SnO <sub>2</sub>	

##### (c) 原材料配合表(重量%)

原材料	A社スラッジ		B社スラッジ	
	A 1	A 2	B 1	B 2
ポルトランドセメント	40%	40%	40%	40%
細砂	55%	50%	55%	50%
スラッジ	5%	10%	5%	10%
W/C水セメント比	40%	40%	40%	40%

\*スラッジの影響を調べるために原料配合は出来るだけ同一条件とした。

(d) 製造工程

スラッジ予備処理

塊状を解きほぐす。

混練

セメント+細砂+スラッジ+水を加え均一に混ぜる。

秤量

製品重量に見合うモルタル重量を計量

プレス

200×100×60mmの型に成型する。(湿式製法)

養生

強度確保のため湿潤養生 7日間。

検査

形状、外観、サイズ、強度、等の検査。

(2) 製造結果

(a) 成品外観

通常インターロッキングと同じ

(b) 成品サイズ

目標 200×100×60mm、重量 2.2～2.4 Kg

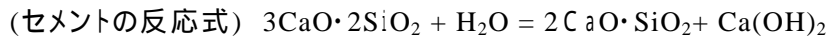
単位：(mm)

		長さ	巾	厚
実績(n=10)		199	99.2	59.4
許容差	実績	-1～+2	-0.8～0.4	-0.6～+0.3
	JIS規格	±5.0	±3.0	±2.5

(c) 曲げ強度

区分	水準	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均
A 社	A 1	7.3、 7.9	7.6
	A 2	5.7 5.7	5.7
B 社	B 1	1.4 1.4	1.4
	B 2	1.2 1.0	1.1
JIS規格		-	> 4.9

B 社 製品は、CaO 分が高いためにセメントとの反応の前に水とCa(OH)<sub>2</sub>を合成しセメントの水和反応を妨害のために強度低下を期していると思われる。



(d) スラッジの配合率

スラッジの配合を重量比 5%、10%、15%と増加し試験を行ったが、15%の場合成品が出来ない、原因としては湿式プレス成型ではプレス圧力を加えモルタルの保持している水を絞り出す、とともに気泡を追い出しセメントと骨材の結合性を高める。スラッジの粒子が微細なために水の出口をふさぎ絞り不良を起こす事になる、改善策とすれば細砂+スラッジを粗砂+スラッジに変更し水抜けがよいように粗い骨材を使用すれば配合率は高められると思われる、今後の課題である。

(e) インターロッキングの溶出試験等

(ア) スラッジの含有試験

試料符号		A 社	B 社
Zn	%	0.17	18.51
Ni	%	19.10	0.54
Pb	%	0.08	0.03
As	%	0.01 以下	0.01 以下

(イ) インターロッキングの溶出試験及び含有試験

試料番号		A社1	A社2	B社1	B2社	土壌汚染策 法基準値
スラッジ比率		5%	10%	5%	10%	
溶出試験 (mg/L)	Zn	0.1以下	0.1以下	0.1	0.2	-
	Ni	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	-
	Cr <sup>6+</sup>	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下
	Pb	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下
	As	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下
	CN	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	不検出

(ウ) 試験結果について

スラッジ中に含有されている亜鉛(18.5%), ニッケル(19.1%)は、スラッジ比率 10%以下のセメント固化を行う事で、その成分がほとんど溶出しない結果が得られた。

スラッジのインターロッキング(セメント固化)化は、一つの有効な手段と思える。

5.2.2 まとめ

めっきスラッジをセメント製品骨材としての使用は可能であることが判明した。但し今回は重量比 10%までであった。他の骨材と異なり含水率が高く塊状で微粒子であることから大量生産にいくつかの課題を残した。

(課題)

- ・ 搬入スラッジの含水率が高くバラツキがあるため W/C(セメント水比)の確保が難しく事前に、含水率を把握しておく必要がある。出来れば使用前に乾燥しておく事が望ましい。
- ・ 搬入スラッジを他の骨材と均一に混ぜるためにスラッジを解きほぐす予備処理が必要である。特にスラッジの配合率を上げるためにはこの予備処理が必要であり、コストアップ要因となる。
- ・ B社製のスラッジは CaO含有量が多いために、セメント強度が不足している。これは、セメント量を増加すれば、A社並みの強度は確保できる。各社のスラッジの成分が異なることが予想されるために搬入するスラッジ毎に配合を変える事が必要である。

5.2.3 市場性評価

今回の試験製造結果では、強度確保をそれぞれのスラッジに応じたセメント配合調整を行う

ことによって、従来の製品相当のインターロッキングブロックと同等品として評価できると考えられる。

市場では平板(例えば 300×300×30mm)の需要が高いことから、こうした資材への適用性も検討することが考えられる。

市場は建材販売の大型店からの注文で開けるので、循環資材としての PR も必要であろう。

A 社スラッジ



B 社スラッジ



図 5.2-1 めっきスラッジ(A 社、B 社)

混練機



プレス機



図 5.2-2 混練機とプレス機

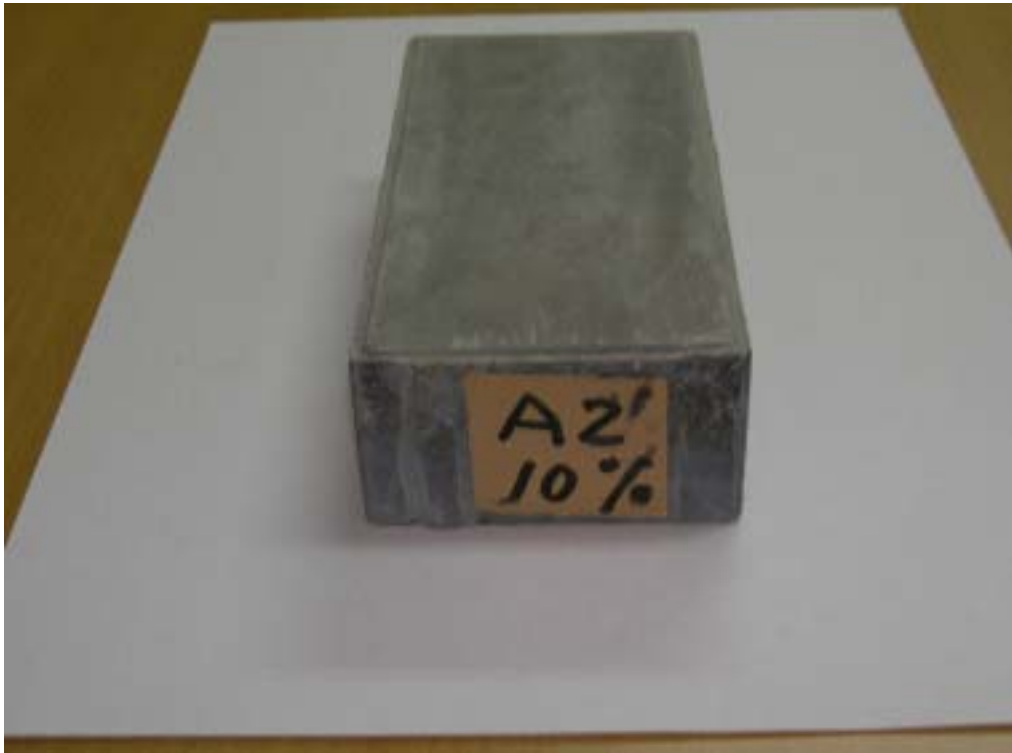


図 5.2-3 製品インターロッキング(A社)



図 5.2-4 製品インターロッキング(B社)