粘土質廃泥による陶磁器建材の試作

長谷川龍三　山崎達夫　伊藤征幸　小島謙二

Making Use of Slime for Structural Clay Products

by
Ryuzo HASEGAWA, Tatsuo YAMAZAKI, Tatsuyuki ITO
and Kenji KOJIMA

現在および将来にわたり，多量に発生することが予測される廃棄物の資源化により，枯渇化傾向にある窯業界の原料問題の解消を検討。代表的な粘土質廃泥として，砂質に富むもの，有機質に富むもの，特殊成分を含むものの３種類を選定し各種基礎試験を実施。その結果，廃泥相互の組合せ，既存原料の添加，各種成形法の導入等により，14種類の陶磁器建材を試作した。これらは，JIS規格の品質を具備している。

１．はじめに

過去においては，排水と一緒に，あるいは固形物として河川へ，海洋へ，空地へと投棄されていた産業廃棄物（廃泥）も，今や環境汚染防止を目標に各事業所毎に処理することが義務付けられた。またこれとは別に，窯業界の原料事情は，次第に枯渇傾向にあり，悪化の道をたどっている。これは生産性の向上に伴い原料消費量が著しく増大したことの他，可採場が宅地化，農地化あるいは環境保全と言った人間生活の基盤確保に当られ，原料採掘が大巾に制約を受け始めたこと等に起因している。

このように一方には廃棄物がその投棄に苦慮し，一方においては原料入手が思うに任せられない。この２つの問題をリンクし，一挙に解決しようとしたのが今回のテーマ設定の経緯である。見方を変えると，中小企業においては，代替原料の確保，開発に積極的ではあるが，当面の日常生産活動に忙殺され，在来の天然原料とは大いに性状を異にする廃泥を原料化させるに十分な研究体制を組むことは容易ではない。一方廃泥排出者側も，本来的な生産活動が主体となっており，廃泥はあくまでも投棄を対象としているため，窯業原料に要求せられる諸特性の認識も十分でなく，そのため廃泥をより容易に原料化させるような処理方法の改善あるいは廃泥の管理体制などを積極的に導入するまでには至っていない。

この両者のギャップを少しでも小さくし，両者の間に“資源化の橋”をかけることを本研究では意図している。従って対象とした廃泥も，数多ある廃泥の中から，広範囲の廃泥を代表するような，それぞれ特異な廃泥を選定し，さらに試作品の対象も，大量に廃泥が消化できる製品として建材用の陶磁器製品を選んだ。

２．試料とした各廃泥の諸性状

本実験で対象とした廃泥の選定基準としては，まず第１にその排出量が現在および将来にかけて大量に一定量継続して排出されるもので，しかもその品質が長期にわたり大巾には組成変動することがないと予測されるものに限定した。次には，本研究の成果が広範囲の廃泥の資源化に寄与することを考慮し，それぞれ相互に異質な廃泥を対象とした。その結果，砂質廃泥の代表としては珪石採取廃泥を，有機質に富む廃泥としては上水道廃泥を，特殊成分を含む廃泥としてはマグネシアと可溶性成分に富む砕石採取廃泥等を選定した。本項においては，これらの廃泥の排出状況および窯業的諸性状について解説する。

２．１　珪石採取廃泥

２．１．１　排出状況

この廃泥は，愛知県三河地区の領家変成岩よりレジンコーテットサンド，シエルモールド用鋳物用珪砂，人造珪砂等を生産するときに排出されるもので現在この地区では，１ケ月当り約45,000トンの原石を採取し，破砕，篩分け，精製等の処理により製品化しているが，この処理工程で狭雑物として原石に含まれる粘土質物が微粉末珪石とともに廃泥として排出され，その排出量は処理原石の約10%に達する。廃泥はシックナで集めフィルタープレスで脱水されており，含水量は28%前後であるが，砂質に富むため乾燥は比較的容易である。なお，現在は乾式法により珪石を採取する方式も併設されているが，鋳物砂の品質向上が要求されており，廃泥処理が可能ならば，湿式処理方式への全面移行が検討されている。

２．１．２　化学組成

採取した廃泥の化学組成を表１に示す。ここには参考のため湿式法で排出した新，旧２種類の廃泥と乾式法により排出している廃泥組成を比較のため併記した。

表1　珪石採取廃泥の化学組成（%）

廃泥の種類	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ig-loss
湿式法(現)	72.5	12.3	4.83	0.56	0.49	0.08	1.18	2.08	0.24	5.36
湿式法(旧)	74.8	11.8	4.30	0.49	0.44	0.07	1.09	2.02	0.22	4.95
乾式法	81.4	7.80	3.78	0.44	0.32	0.04	0.57	1.99	0.27	3.39

乾式法廃泥は，混入珪石量が多いためSiO_2リッチになっている。なお今後の試験はすべて最も代表的な廃泥として，「湿式法(現)」と表示した廃泥について試験を行っている。この廃泥の組成は，一般の粘土質原料に比べ，SiO_2に富むこと，またFe_2O_3，MnO 等の含有量が多いことなどが特徴で，後述するように焼成色は烏泥色を呈する。

2．1．3　水溶性イオンおよびpH

溶媒に水を用いた場合の原廃泥のｐＨ値と水溶性イオンの種類を表２に示す。

表2　水溶性イオン（ppm）とpH

Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Mn^{++}	Fe^{+++}	pH
13.4	28.0	11.6	27.4	61.4	28.0	7.0

一般の粘土質原料に比較して，この廃泥では水溶性のＭｎイオンが特に多いのが特徴で，この廃泥を使用した素地では，乾燥工程中にＭｎイオンが素地表面に移行してくることがある。なおｐＨ値が 7.0を示すのは，汚泥処理工程でｐＨ調整されているためと考えられる。

2．1．4　粒度構成

図１の粒度分布曲線図が示すように，この廃泥には，200μm以上の粗粒子は殆んど含まれていない。粒度構成は，２μm以下の微粒子約15%，２～50μmのシルト分約55%，50μm以上の砂分約30%で，中粒のシルト分が多く，微粒の粘土分に乏しいため単味での成形性は容易でないことが推察される。

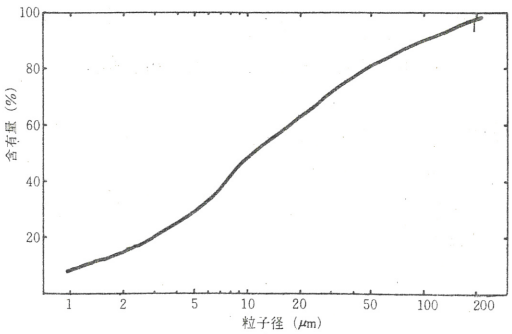

図1　珪石採取廃泥の粒度分布曲線図

2．1．5　加熱変化

加熱重量減，示差熱分析の測定結果を図２に示す。これは試料廃泥を20℃，75%ＲＨの雰囲気中に平衡状態になるまで放置した試料についての測定結果であるが，付着水および粘土鉱物の結晶水に起因する脱水反応が，あまり顕著でないことなどから，粘土質に乏しいことが推察される。

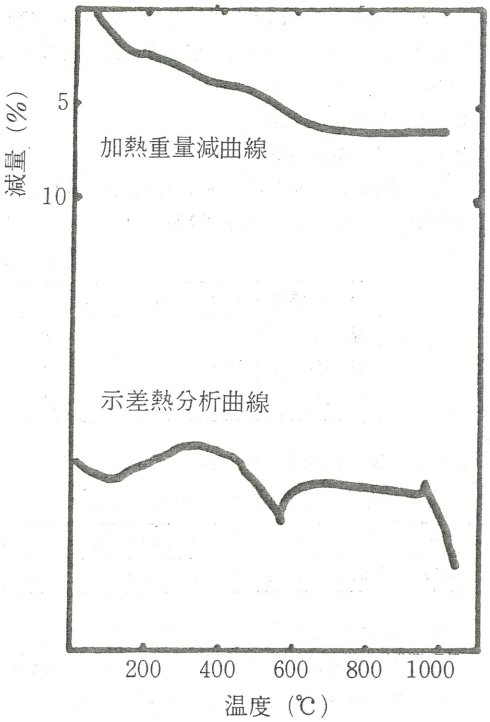

図2　珪石採取廃泥の熱分析

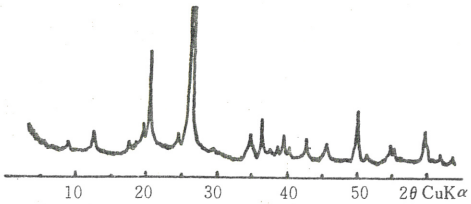

図3　珪石採取廃泥のＸ線回折図

表３　珪石採取廃泥の焼結性状

焼成温度 (℃)	焼成収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm²)	吸水率 (%)	気孔率 (%)	嵩比重	見掛比重
1080	2.14	68.7	17.6	32.3	1.84	2.71
1130	3.98	109.	14.8	28.4	1.92	2.67
1180	5.34	138.	11.2	22.7	2.04	2.63
1230	7.51	198.	7.61	16.6	2.18	2.61

２．１．６　Ｘ線回折

図３に示したＸ線回折図から検出される成分は，石英，カオリン，雲母，長石等である。この結果，および前述の各試験結果等から推定される鉱物構成は，石英55%，カオリン17%，雲母13%，長石３%および若干量のその他成分である。

２．１．７　焼結性状

1080～1230℃の各温度で焼結させた焼成体の諸物性は表３のとおりである。耐火度はＳＫ17であるが単味での焼結性はあまり良好でない。

２．２　砕石採取廃泥

２．２．１　排出状況

この廃泥は，伊勢湾鳥羽沖に浮ぶ菅島の橄欖岩鉱床（埋蔵量１億m³）から道路用砕石，コンクリート用砕石，道床用砕石，割栗石，捨石，砂等を採取するときに産出する廃泥で，排出量は月産6000トンを超える。原石はベンチカット工法により採取され，破砕，篩分け，水洗選別し製品となるが，この工程で廃泥が排出する。廃泥は汚水処理設備で処理され，フイルタープレスでケーキ状になっており，30%前後の水分を含んでいる。

２．２．２　化学組成

表４には採掘当初の旧廃泥と現在排出されている廃泥の化学組成を比較して併記した。採掘当初は，上層を処理していたためか，粘土質物の混入があったが，現在の廃泥は，母岩に由来する橄欖岩粉末が主体となっている。そのため，Al_2O_3は旧廃泥に多く，MgOは新しいものほどその含有量は多くなってきている。

表４　砕石採取廃の化学組成（%）

廃泥の種類	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ig-loss
現廃泥	35.2	3.14	11.8	0.13	0.17	3.32	32.7	0.10	0.73	12.9
旧廃泥	35.9	6.52	9.46	0.18	0.12	5.08	30.7	0.04	0.49	11.8
旧廃泥	37.8	8.53	9.45	0.14	0.10	6.32	26.1	0.10	0.70	10.5

２．２．３　水溶性イオンとpH

表５　水溶性イオン（ppm）とpH

Na^+	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Mn^{++}	Fe^{+++}	pH
2300.	129.3	486.5	198.4	0.2	3.4	8.5

表５に示す水溶性イオンのうち，一般粘土との大きな相違は，2000ppmを超えるＮａイオン，500ppm近く含まれるCaイオンである。これらは原石から溶出するものではなく，原石の水洗処理工程に海水を使用しているため，海水に起因するものと考えられる。さらに多量の塩素イオンも検出されており，これらは廃泥中で“塩”を形成している。この塩は，可溶性のため，この廃泥を使用した素地では乾燥工程中に素地表面に移行し，白華現象を誘発する危険性がある。

２．２．４　粒度構成

図４の粒度分布図が示すようにこの廃泥の粒度構成は，微粒子：中粒：粗粒の比が，18：70：12で粘土分に乏しくシルト質になっている。一般にこのように人工的に処理された廃泥では，微粒，粗粒に乏しく成形体の緻密度はあまり良好でない。

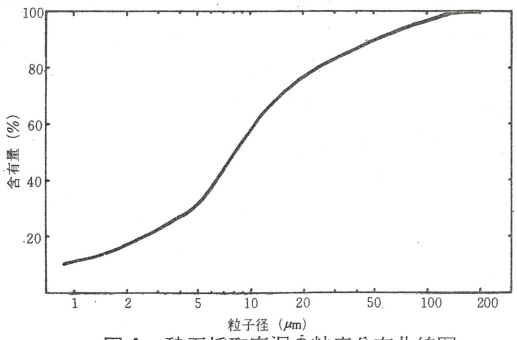

図４　砕石採取廃泥の粒度分布曲線図

２．２．５　加熱変化

加熱重量減，示差熱分析の結果を図５に示す。これらの試料は20℃，75%ＲＨの雰囲気で処理したもので，約３%の付着水を含み，600～700℃にかけて緑泥石の分解に起因する脱水反応が認められる。

２．２．６　Ｘ線回折

粉末法によるＸ線回折図を図６に示す。Ｘ線による検出成分は，蛇紋石，緑泥石で，粗粒部は蛇紋石が主体となっている。

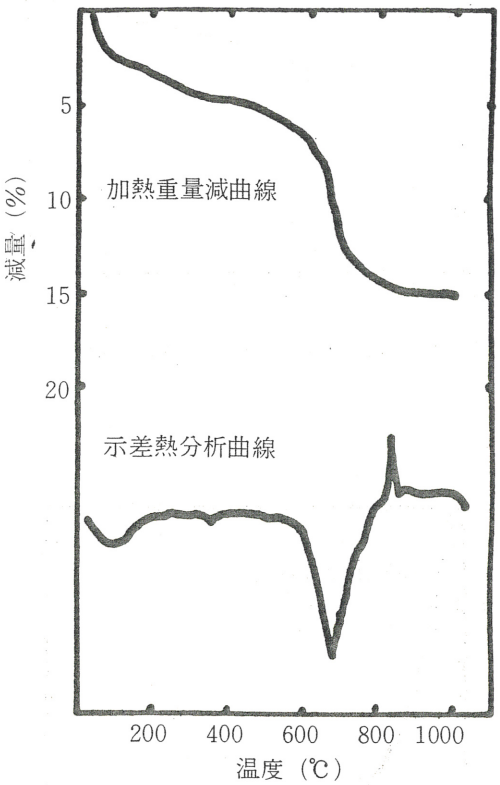

図５　砕石採取廃泥の熱分析図

２．２．７　焼結性状

1080～1230℃で焼成した焼結体の諸性状を表４に示す。低温ではほとんど焼結しないが1200℃付近を過ぎると急速に焼結が進行し，1230℃焼成では気孔率は２%以下になり，曲げ強度は500kgf／㎠を超える高強度となる。しかしながら焼成巾が極端に狭くその取扱い

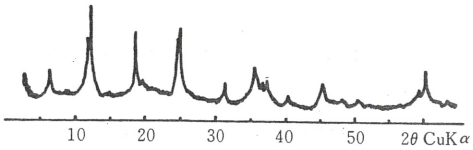

図６　砕石採取廃泥のＸ線回析図

は困難が予想される。

２．３　上水道廃泥

２．３．１　排出状況

愛知県水道局の浄水場の沈殿池に沈殿する汚泥で，昭和50年度の１ケ月当りの推定汚泥排出量は約 200トンであるが，今後は給水量の需要増に伴い浄水場の拡張工事がすすめられ，さらにその汚泥発生量は増大することが予測されている。現在浄水場においては，愛知用水の取水口から取入れた水を沈殿池に導き，ここで浮遊物を凝集沈殿させ，次にこの汚泥は，シックナーで含水率93%程度に濃縮し，さらに脱水効率を高めるため消石灰を20～30%程度添加し，フイルタプレスにより含水率70%程度の脱水ケーキとして投棄している。なお，将来は脱水技術の改善により消石灰を用いない処理技術の導入も検討されており，本実験においては，凝集剤を用いない原廃泥についての利用研究を主体に実施した。

２．３．２　化学組成

愛知県下各浄水場廃泥の化学組成の変動は表７のとおりであり，事業所および採取時期において若干の変動はあるが，組成的には顕著な差はない。この化学組成の特徴は，廃泥としてはAl_2O_3量に富み粘土質であることを示しているが，Ig. loss が20%以上もある。これは重量で10%を越える多量の有機物質の混在に起因しているものであり，この有機物質の存在が，後述する製品化試験において緻密素地を得る点で極めて不

表６　砕石採取泥の焼結性状

焼成温度（℃）	焼成収縮率（%）	曲げ強さ（kgf/㎠）	吸水率（%）	気孔率（%）	嵩比重	見掛比重
1080	4.06	47.8	22.9	42.4	1.86	3.22
1130	5.35	52.3	20.3	39.2	1.93	3.18
1180	10.3	182.	12.0	27.2	2.28	3.14
1230	18.8	505.	0.67	1.89	2.86	2.92

表７　上水道廃泥の化学組成(%)

廃泥の種類	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ig-loss
W	40.4	26.5	4.51	0.57	1.07	0.56	1.29	0.66	20.9
A	44.1	24.1	4.65	0.44	1.96	0.56	1.58	0.86	21.8
B	40.4	23.5	5.81	0.79	0.35	1.51	1.91	0.31	25.1
C	39.5	29.4	4.60	0.49	0.83	0.75	1.77	0.95	21.0
D	40.4	27.0	2.96	0.24	0.42	0.40	0.70	0.17	27.5
W′(石灰入り)	37.0	22.1	3.25	0.41	9.28	0.58	1.37	0.70	24.8

都合なことになる。W′ 廃泥は，脱水助剤として消石灰が投入されているものであり，その結果としてCaOを10%ほど含有している。

なお以下の実験に供した廃泥は，表中WおよびW′の符号を付した廃泥である。

2．3．3　水溶性イオンとpH

表8　水溶性イオン（ppm）とpH

廃泥の種類	Na^{+}	K^{+}	Ca^{++}	Mg^{++}	Mn^{++}	Fe^{+++}	pH
W	24.2	26.2	805	4.58	9.16	0.82	7.61
W′（石灰入り）	22.3	32.8	2520	14.4	3.25	21.0	8.75

水溶性イオンとしてはCaイオン量が一般粘土に比し極めて多い。特に消石灰を投入した廃泥では2500ppmにも達する。またその影響でpH値は8.75を示している。

2．3．4　粒度構成

図7の粒度分布曲線図からも分るように，この廃泥は，2μm以下の微粒子が30%以上，50μm以上の粗粒子は20%程度で，取り上げた各廃泥の中では最も粘土分に富んでおり，この粒度分布のみから判定すると，比較的良質の粘土質原料であるかのような様相を呈する。

2．3．5　加熱変化

130℃前後に認められる顕著な吸熱ピークは，付着水に起因するものであり，そのピークの大きさ，重量減少量からも分るように，この廃泥は極めて吸湿性に富んでいることを示している。

また有機質に起因すると考えられる吸熱および発熱のピークも検出されている。特に発熱ピークはかなり高温に位置すること，および極めてブロードであることなどより推定し，微細な有機成分は粘土粒子と密着して混在しているものと考えられる。

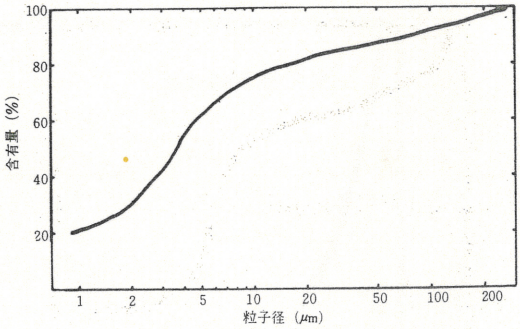

図7－(2)　石灰入り上水道廃泥の粒度分布曲線図

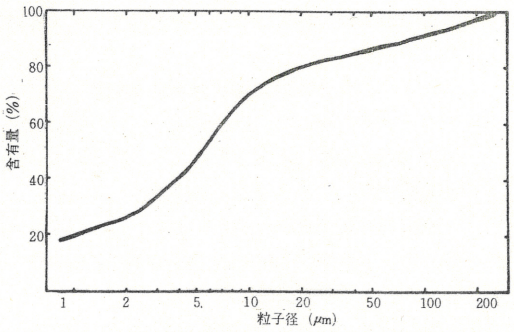

図7－(1)　上水道廃泥の粒度分布曲線図

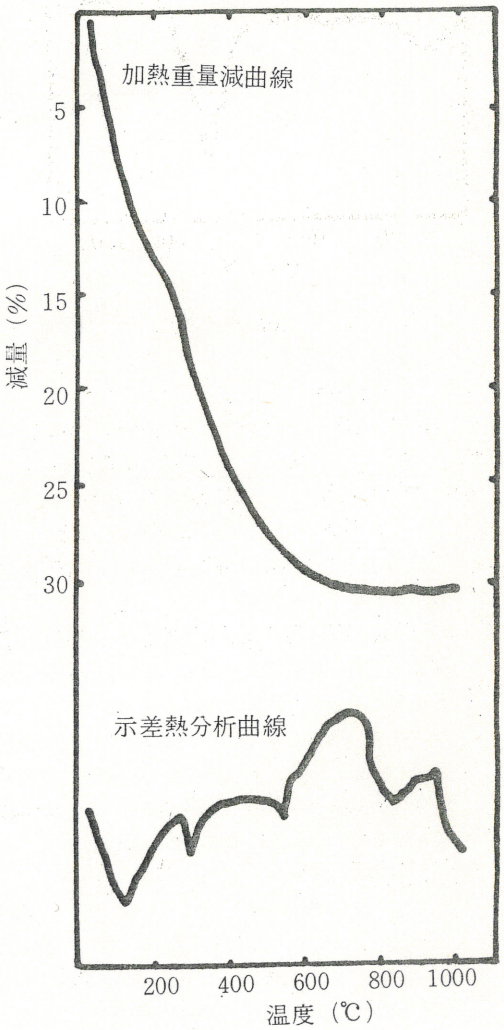

図8－(1)　上水道廃泥の熱分析図

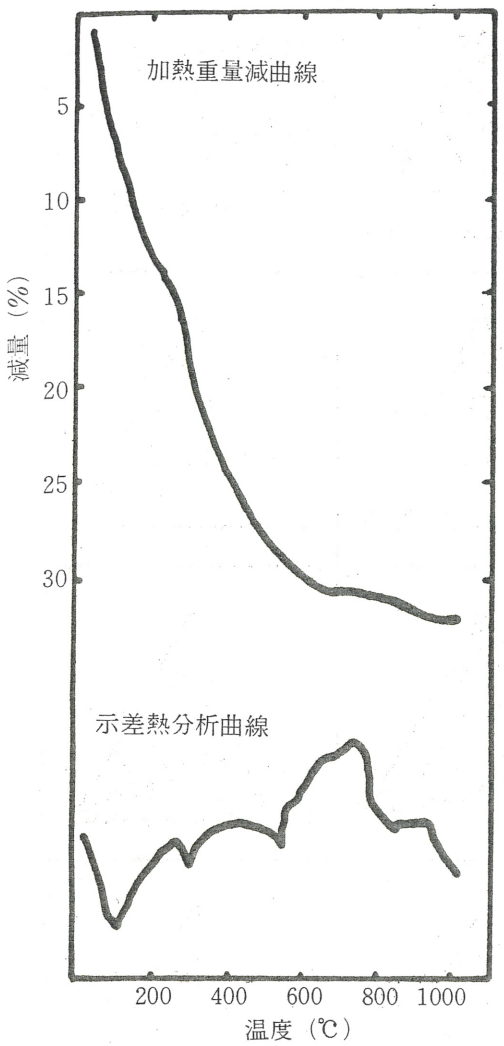

図８－(2)　石灰入り上水道廃泥の熱分析図

２．３．６　Ｘ線回折

図９のＸ線回折による検出成分は，ハロイサイト，雲母，石英，長石等で結晶度の低い粘土鉱物が相当量含有されており，回折図のみから判定すると一般粘土と大差ない様相である。しかしながら，先にも触れたように多量に含まれている有機物質が，この廃泥の粘土としての価値を著しく低下させている。また脱水助剤に消石灰を投入した廃泥では，炭酸カルシウムのピークが顕著に現われている。

２．３．７　焼結性状

焼結性状は表示したように極めて悪く，緻密な焼結体を得ることは困難であり，焼成温度を高めても，吸水率の低下，強度の向上は殆んど望めず，さらに焼成収縮率も大きく，一般の建材用陶磁器原料としてはあまり期待できない。

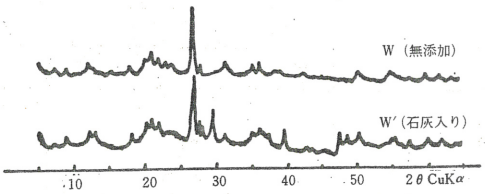

図９　上水道廃泥のＸ線回折図

表９－１　上水道廃泥の焼結性

焼成温度 (℃)	焼成収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm²)	吸水率 (%)	気孔率 (%)	嵩比重	見掛比重
1080	17.4	64.4	25.5	42.1	1.65	2.85
1130	18.5	98.5	22.9	38.8	1.69	2.76
1180	18.5	70.6	21.8	37.2	1.71	2.72
1230	18.8	98.1	21.6	37.1	1.71	2.72

表９－２　石灰入り上水道廃泥の焼結性状

焼成温度 (℃)	焼成収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm²)	吸水率 (%)	気孔率 (%)	嵩比重	見掛比重
1130	7.04	19.6	52.1	59.2	1.14	2.78
1180	9.98	28.5	44.6	55.4	1.24	2.78
1200	14.6	71.1	32.6	45.7	1.50	2.76
1230	19.4	113.7	20.6	36.0	1.75	2.74

３．素地調合試験

前項に記した様に各廃泥は，一般粘土質原料と大いに性状を異にし，窯業原料としては好ましからぬ性状を具備している。この劣性性状を打解するための一手段として，ここでは各廃泥同志の組み合せ，あるいは一般窯業原料の添加と言った調合技法による打開策を検討した。

３．１　プレス成形による素地調合試験

プレス成形法による調合試験は，他の成形法にくらべ，比較的作業性が良好なので，各廃泥について広範囲な組成変動の調合実験が可能である。ここではプレス成形適性素地調合の開発と合せて，広範囲な組成変動における各廃泥の焼結性状の挙動追求を目的とした。

３．１．１　試験方法

前掲の各種廃泥および補助原料として頁岩粘土（常滑地区に産する雑粘土で，陶管，植木鉢等の主要原料）を用いた各種組合せの配合物について調合実験を行っ

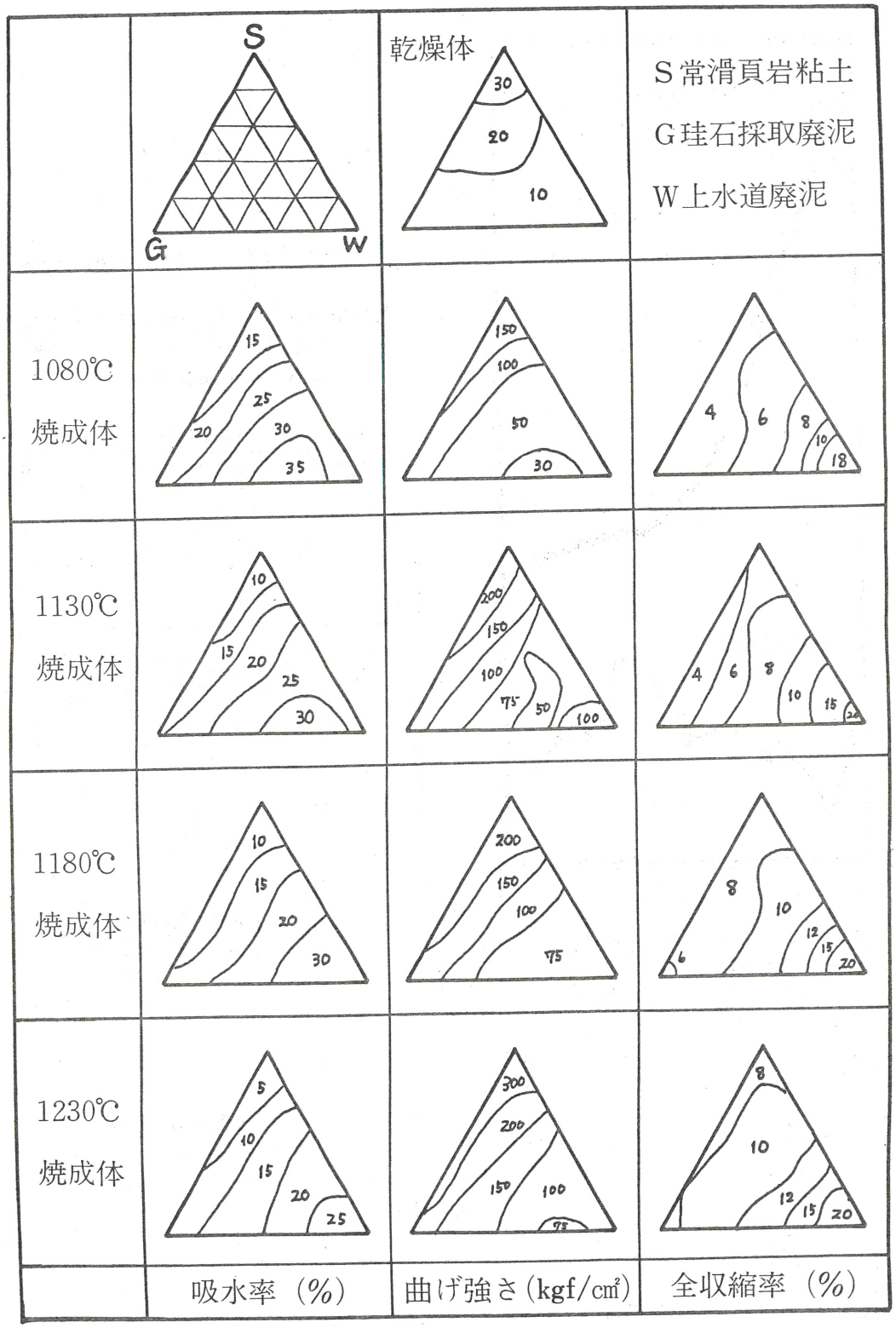

図10—(1)　S－G－W系素地の物性図

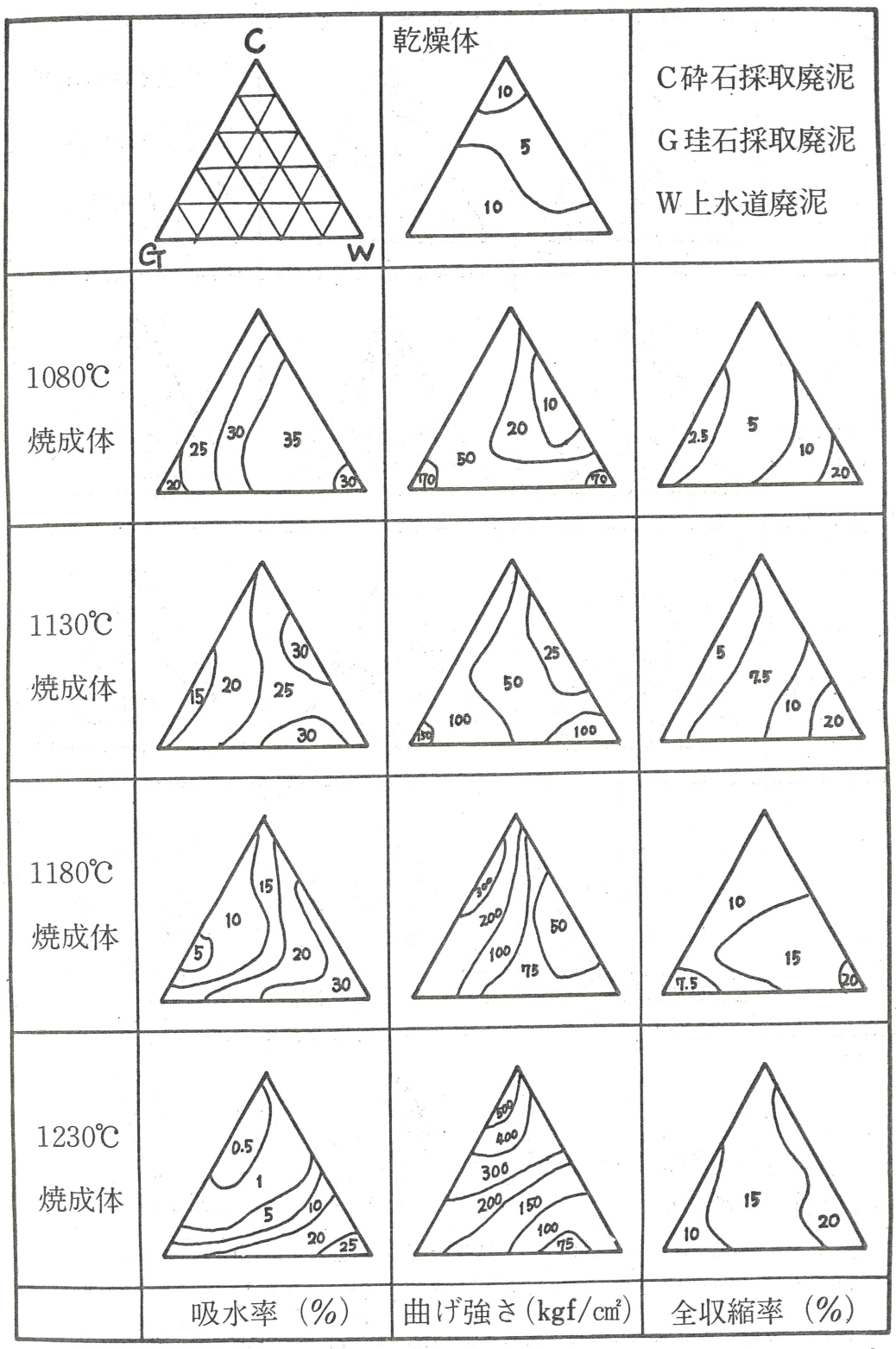

図10−(2)　C−G−W系素地の物性図

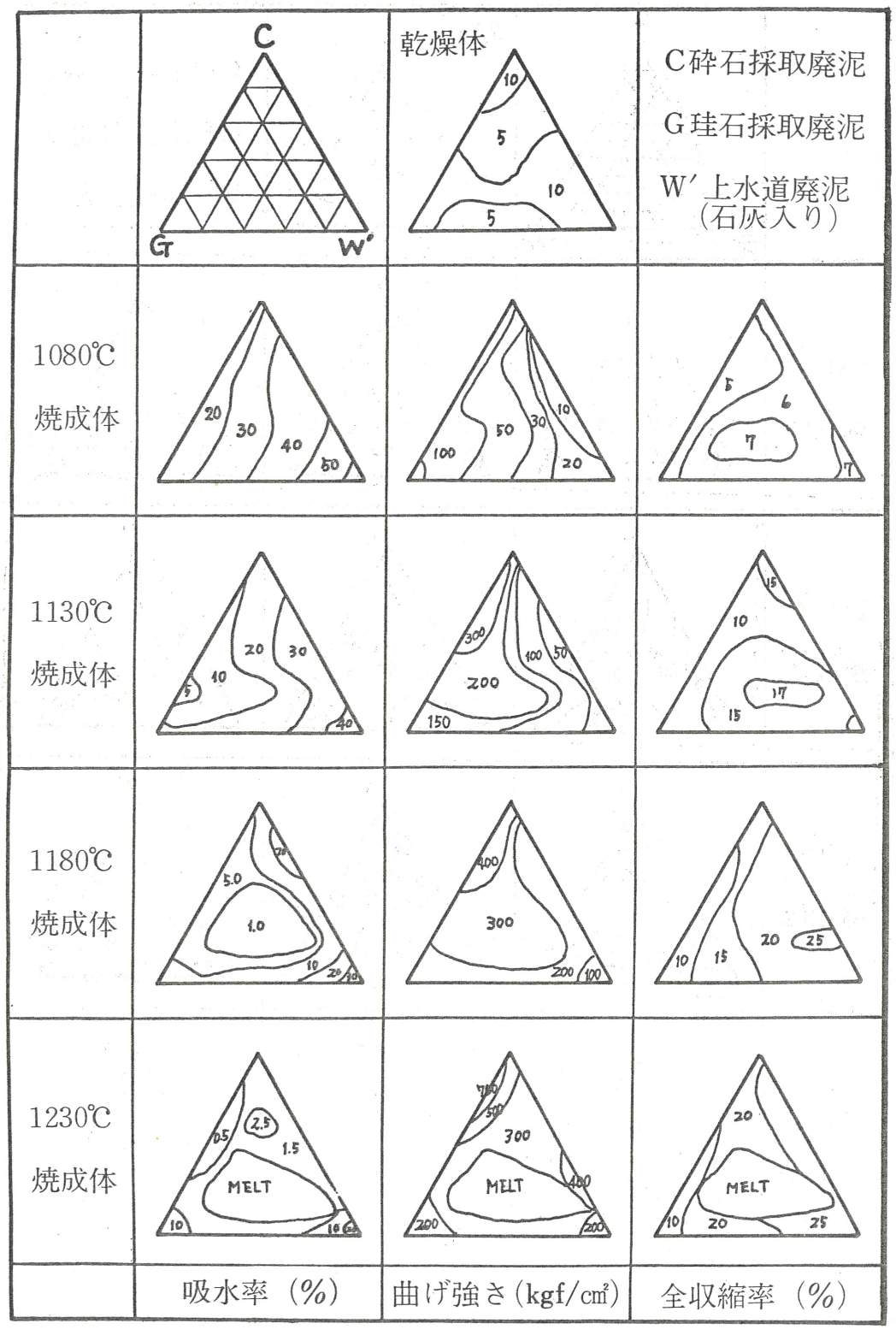

図10—(3)　C－G－W′ 系素地の物性図

た。各配合物は適量水分を添加後，150×30×10～16㎜の大きさに成形圧 150kgf/㎠でプレス成形し，乾燥後1080～1230℃の各温度で焼成した。

3．1．2　物性試験

成形素地の乾燥収縮率および建材として特に要求される焼成体の焼成収縮率，曲げ強さ，吸水率等を測定した。測定結果を図10に示す。

3．1．3　結果の検討

(1)　珪石採取廃泥－上水道廃泥－頁岩粘土系……珪石採取廃泥と頁岩粘土との組合せでは，焼成巾は比較的広く焼成収縮率も小さい。強度，吸水率等も建材用として良好な性状を示す。特に収縮率については頁岩粘土を主体とする素地よりも珪石採取廃泥を添加することにより良好な性状となり，発色面においてもマンガン系顔料を添加したような烏泥色を呈し，建材用素地原料として期待が持てる。一方，上水道廃泥を配合した素地は，いずれも焼成収縮率が大きくなり，さらに吸水率大，強度不足など一般の建材用素地としてはその利用に限度がある。しかし軽量，多孔性を要求される用途（断熱材，吸音材，ろ過材等）には利用の道があろう。これは上水道廃泥中に含有する微細な多量の有機質に起因している。

(2)　珪石採取廃泥－上水道廃泥－砕石採取廃泥系……これは(1)項で述べた頁岩粘土を砕石廃泥で置換した全くの廃泥同志の組合せによる実験である。砕石採取廃泥を配合すると，一般に焼成巾が小さくなり，高度の焼成管理が要求される。これは砕石廃泥中に含有する多量のMgOに起因するものであり，これが素地中のSiO_2，Al_2O_3等と反応して低融点の組成を呈するためである。しかし適切な温度管理下においては緻密な焼結体を得る点において，むしろ正の要因となり，1200℃前後の焼成温度で，緻密な高強度の材料が得られる。この場合も，上水道廃泥が入ると多孔性となり，緻密高強度の材料を得ることは困難であり，焼成温度を高めると収縮率は著しく大きくなる。

(3)　珪石採取廃泥－石灰入り上水道廃泥－砕石採取廃泥……これは(2)項で述べた上水道廃泥を10％石灰入りの上水道廃泥で置換した場合の焼結性状を検討したものである。この実験によると珪石採取廃泥40％，石灰入り上水道廃泥40％，砕石採取廃泥20％付近の組成が最も低融点となり，1230℃焼成すると溶融してしまう。石灰入り廃泥を使用すると焼結温度は低下するが，焼成収縮率は大きくなり，寸法精度の要求が厳しい建材用素地としては，好ましくない傾向にある。

3．2　押出成形による素地調合試験

建材用陶磁器を製造する場合，押出成形の可否は廃泥の大量処理を決定する主要な因子となる。3．1項で述べたプレス成形試料による焼結試験の結果およびここには記載しなかったが，石膏型による練土の試験結果等にもとずき，押出成形が可能と判定した調合物を中心に，真空押出成形法によりテストピースの押出成形試験を行った。

3．2．1　試験方法

試験体は各組成の配合物を乾式混合の後，練土硬度をコントロールしつつ水分を添加し，混練した坏土を真空押出成形機を用いて，φ30×200㎜の円柱状に成形し作製した。成形試験体は，乾燥後試験窯および現場トンネル窯で焼成し各試験体とした。

3．2．2　物性試験

成形試験体については，その時の成形水分量，成形体硬度，その他成形条件を測定し，乾燥試験体，焼成試験体についてはそれぞれの物性値を測定した。測定結果を表10に示す。

3．2．3　結果の検討

(1)　珪石採取廃泥に頁岩粘土を配合した素地は，比較的成形性も良好で，乾燥性状は頁岩粘土を主体とした在来素地よりも良好になっている。また乾燥強度も大きいので，生素地の取扱いも容易である。焼成品は強度に優れ，焼成呈色も良好で建材用素地として有望である。

(2)　上水道廃泥を用いた素地は，成形性は良好であるが，成形水分が多くなり，それに伴い乾燥収縮が大きく乾燥性状は悪化している。焼成品の強度はやや低く多孔質の上，焼成収縮率も大きいので建材用素地としては，やや不向きである。

(3)　砕石採取廃泥は，単味でも成形可能であり，急乾燥，急焼成も可能である。焼成品の曲げ強度は 417kgf/㎠で高強度を有しているが，吸水率がやや大きいのが難点である。これに少量のベントナイトを添加すると一層強度は向上し，さらに融剤（長石）を添加すると吸水率は著しく低下する。このようにこの素地は添加物の調整によりその物性はかなり広範囲に選択可能である。

4．製品の試作

前項までの試験結果をもとにして試作した主な製品の製法および製品性能について記す。

4．1　押出成形法による建材用陶磁器の試作

クリンカータイル，セラミックブロック，レンガ，陶管等の建材用陶磁器は，一般に押出成形法により生産されている。押出成形法は，肉厚のもの，やや複雑な形状のもの等の生産性に優れているが，土の性状として，所謂る可塑性が要求され，そのため可塑性に乏しい廃泥にあっては，若干量の粘土質原料などの成形助剤の添加が必要となり，現状の生産工程に即応させるためには廃泥配合量にやや制約を受けるのは止むを得

表10　押出し成形による素地調合試験

素地の種類	成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	乾燥曲げ強さ (kgf/cm²)	焼成収縮率 (%)	見掛比重	嵩比重	見掛気孔率 (%)	吸収率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm²)	全収縮率(%)	焼成温度 (℃)
製品坏土 (押出成形)	21.4	7.11	29.5	5.35	2.51	2.21	12.2	5.52	259	12.0	1130
				6.25	2.40	2.28	4.68	2.04	301	13.0	1180
				5.89	2.43	2.26	6.88	3.04	314	12.3	現場(トンネル)
S 60% G 40%	25.5	7.18	34.6	5.68	2.58	2.07	19.7	9.55	229	12.5	1130
				7.31	2.50	2.23	11.0	4.95	280	14.0	1180
				7.13	2.51	2.24	11.2	5.02	273	13.5	現場(トンネル)
S 40% G 60%	24.2	5.74	25.6	5.47	2.61	2.03	22.6	11.2	211	10.9	1130
				7.74	2.56	2.21	13.7	6.18	260	13.0	1180
				7.71	2.55	2.20	13.5	6.11	297	13.0	現場(トンネル)
S 60% G 20% W 20%	28.1	6.69	21.2	7.20	2.60	2.01	22.5	11.3	139	13.2	1130
				8.29	2.56	2.03	20.8	10.3	161	14.8	1180
				7.73	2.56	2.08	19.1	9.2	197	13.8	現場(トンネル)
S 80% W 20%	27.3	7.90	25.1	8.00	2.58	1.94	25.1	13.0	147	13.7	1130
				8.47	2.55	2.01	20.8	10.4	185	15.3	1180
				8.47	2.56	1.99	22.2	11.2	182	14.9	現場(トンネル)
C 100%	20.5	6.88	20.3	11.0	3.22	2.44	24.5	10.7	417	17.2	1180
C＋B 3%	22.3	9.19	32.5	11.2	3.16	2.51	20.4	8.11	679	19.3	
C＋B 3% ＋F10%	21.8	8.58	30.7	12.0	2.77	2.70	2.41	0.89	748	19.5	

G：珪石採取廃泥　W：上水道廃泥　C：砕石採取廃泥
S：常滑頁岩粘土　F：長　石　B：ベントナイト

ないところである。なお試作に当っては製造条件，製品性能の他，建築材料としての装飾的効果をも考慮して，需要の極めて高い朱泥色の発色が得られるものを主体とした。

試作品１　烏泥色セラミックブロック

製法は，珪石採取廃泥４部に常滑頁岩粘土６部を加え，混合混練の後，真空成形機を用い成形水分22%で押出成形し，乾燥後1180℃焼成し製品とする。このセラミックブロックの特徴は，烏泥調の素地味にあり，成形性も良好である。また急乾燥しても亀裂発生の心配はほとんどない。むしろ廃泥を添加することにより頁岩粘土にみられる乾燥性状の困難性を解消している。

試作品２　朱泥色セラミックブロック

調合は上水道廃泥２部に常滑産頁岩粘土８部を加えたもので試作品１とほぼ類似した製法により製品化できる。但し成形水分は前者よりも若干多く24%程度が適当。成形性は良好であるが乾燥性状が悪く急乾燥は避けねばならない。収縮率は約15%でかなり大きいので赤シャモット等の添加は効果的である。この場合，シャモットとして上水道廃泥の仮焼物などを使用すると廃泥の処理量はさらに増大し，寸法形状の調整も可能となり，試作品１との貼合せにより装飾的な施工効果も得られる。

試作品３　烏泥色クリンカータイル

調合，製法等は試作品１と同様で，成形機の口型にクリンカータイル用のものを使用する。この試作品は烏泥調の素地味を生かした無釉クリンカータイルで，成形性，焼結性ともに良好である。耐摩耗性にも優れ，床タイルとして最適，その他の特徴は試作品１と類似。

試作品４　烏泥色普通レンガ

珪石採取廃泥８部に常滑頁岩粘土２部を加え，湿式混練の後真空成形機で押出し成形し，1080℃で焼成する。この製品は，従来マンガン系顔料の添加により発色させていた素地色を，そのまま廃泥の配合により得

られる長所があり，原料コストの低減に極めて効果がある。また製土も，含水率25％前後の廃泥フイルタープレスケーキに，乾粉の頁岩粘土を添加し水分調整できるので，廃泥の二次加工が不要で，取扱い処理も容易である。なおこの組成は酸化鉄含有量が高いので，還元雰囲気では焼成巾が狭く，酸化炎焼成が望ましい。

４．２　プレス成形法による建材用陶磁器の試作

プレス成形法による製造方式は，廃泥のような可塑性に乏しい原料でも比較的容易に使用することができるので，ここでは可能な限り廃泥を主原料として扱うよう配慮し，廃泥が大量処理されるような組成とした。試作は壁タイル，床タイル等への需要を考え，66×227mmの二丁掛タイルとした。

試作品５　黒褐色タイル

調合は砕石採取廃泥６部と珪石採取廃泥４部で，乾式粉砕混合の後，造粒機を用い，６～７％の水分を噴霧添加し，顆粒とする。これをタイル成形機で，成形圧 150kgf/㎠でプレス成形後,1200℃焼成する。この試作品は，廃泥同志の調合によるタイルであるが，素地は緻密に焼結し，プレス成形にもかかわらず曲げ強度は極めて高い（314kgf/㎠)。摩耗抵抗にも優れ，床タイルとし適している。焼成巾がやや狭いので寸法精度を要求する場合は焼成管理が重要。

試作品６　淡褐色タイル

砕石採取廃泥８部に珪石採取廃泥２部を加え，試作品５と同様の手法でプレス成形の後1150℃で焼成する。焼成温度は前者より低いので吸水率はやや高いが，内装用には適する。焼成収縮は少く，寸法精度は極めて良好である。なおこの試作品は多孔質であるにもかかわらず強度は比較的高いので，タイル以外の別用途の開発も合せ考えられる。

試作品７　茶褐色タイル

これは試作品６と同一方法で成形したものを1200℃で焼成した前者の改良型で，高温焼成のため素地はかなり緻密になっており，強度は高い。比重も大きく重量感があり，床タイルあるいは外装用に適する。高温焼成のため製品表面に斑点状に光沢が出ており装飾的効果もある。

試作品８　烏泥色タイル

含水率が８％前後になるまで風乾した珪石採取廃泥をパンミルでほぐすように粉砕し，これに粉体の常滑頁岩粘土20％を添加する。混合の後，プレス成形に必要な水分量に調整し，1250℃焼成する。珪石採取廃泥は単味で良好な烏泥色を呈するが，成形後の乾燥強度と焼結性状の改善を図るため頁岩粘土を加えた。この試作タイルは，発色，製品特性ともに極めて良好であり，焼成巾も酸化雰囲気では広い。

試作品９　朱泥色タイル

上水道廃泥２部に常滑頁岩粘土８部を加え，試作品５と同様の手法で成形後1180℃焼成する。原料は両者とも粘土質であるが顆粒にすることによりプレス成形性は良くなる。発色は鮮かな朱泥色を呈するが，強度にやや難点があり，試作品２においても述べたように有機質に富む上水道廃泥は仮焼し，シヤモットとして配合する方が望ましい。仮焼することにより廃泥配合量は増大させることも可能になるし，合わせて成形性，寸法精度，製品強度等の改善にも有効である。

試作品10　試作品９の乾燥素地をそのまま1230℃焼成したもので，高温焼成の結果，強度は大帳に改善される。ただし，発色は朱泥色からかなり変化している。耐寒性は良好である。

試作品11　濃黒茶色斑点模様タイル

含水率６％前後に調整したフイルタープレス風乾の砕石採取廃泥４部と珪石採取廃泥６部を，パンミルで軽く粉砕混合し，7mesh　篩を通過させたものを用いてプレス成形し，1230℃で焼成する。両廃泥とも粗砕混合することにより，顆粒化操作は不要となる。この製法は混合操作を手早く行うため，組織は不均一であるが，このことがかえって融点の低い組成を中心に光沢を呈し，斑点模様の美しい装飾タイルとなる。強度，吸水率とも良好である。

試作品12　黄色斑点入り朱泥タイル

これは試作品９とほぼ同組成であるが，上水道廃泥は石灰入りのものを用いる。製法は試作品11と同様な手法で乾燥廃泥の粗砕物を用い，1200℃焼成する。脱水助剤として石灰を使用した上水道廃のフイルタープレスケーキは，乾燥させると硬化し，粗砕すると適当な粗粒子が得られる。

４．３　特殊製法による建材の試作

前述の試作品例は，すべて現状の生産方式に合致した手法による建材用陶磁器製品であるが，ここには新たな手段による資源化例を紹介する。なおここに紹介するものには，今後検討を要するいくつかの問題点が残されているものもある。

試作品13　上面焼成セルフグレーズタイル

砕石採取廃泥6部に珪石採取廃泥4部を加え，プレス成形した素地を試作した「炉床昇降式上面焼成炉」で焼成する。

この焼成炉は上面にヒータを備え，炉床は上下方向に移動可能である。焼成方法はヒータ部から約30cmほど離れた炉床に置いたプレス成形素地を，約30分間でヒー部から15cm位の位置に接近させる。ここで素地表面温度は1000℃位になり，さらに約30分間ほどかけて徐々にヒータ部に接近させ，約1180℃で素地の焼成を完了させる。最後にさらにヒータ部に接近させ，素地表面温度が約1230℃になれば炉床を降下させ焼成を完了する。この配合組成では，1180℃付近を境に液相生成量が急増するので，素地上下面の温度差を利用することにより，上面のみ施釉類似効果が得られ，光沢を帯びる。下面は温度差のため溶融することなく棚板に付着することなくセルフグレーズタイルが得られる。尚，プレス成形時に素地表面に低融点物（空ビンガラスの粉砕物等でもよい）を散布して成形しておくと装飾的な施釉効果が得られる。

試作品14　上面焼成装飾陶板

砕石採取廃泥を粗砕後篩分けし，5meshから32meshの粒子に調整する。これを30×30×3cmの浅匣鉢に約1cmの厚さに入れ，試作品13に使用した上面焼成炉を用いて熱処理を加える。上面温度を短時間に1250℃位にすると，表面粒子は軟化固着する。しかし底面部は加熱方式に起因する温度差のため，匣鉢に付着することなく，冷却後容易に脱型できる。この試作品の表面は，元の粒子形状が丸味を帯びつつも外郭は残っており，凸凹に富んだ表面性状が得られる。窯と匣鉢の大きさに応じ製品の大きさは自由に選択できる。なお，上面焼成方式をとっているので製品の取出しは容易であるが，匣鉢の表面に酸化アルミなどを塗布しておくと匣鉢をいためる心配もない。

4．4　試作品の製品性能

試作した個々の製品について，陶磁器建材としての安全性を確認するため，JIS（日本工業規格）に定められた試験規格により製品試験を行った。また廃泥を主原料とする特異性から考え，JIS規格以外の特殊な項目についても検討した。主な測定結果は表11の通りであり，いずれの項目についても安全性が確認された。

表11－(1)　試作セラミックブロックの品質（試験方法JIS　A　5210）

品名	吸水率(%)	圧縮強さ(kgf/cm²)	急冷試験	ひびわれ試験	摩耗減量(g)	凍結融解試験
試作品1	1.98	361	異状認めず	異状認めず	0.01	異状認めず
試作品2	2.75	383	異状認めず	異状認めず	0.02	異状認めず

表11－(2)　試作普通レンガの品質（試験方法JIS　A　1250）

品名	吸水率(%)	圧縮強さ(kgf/cm²)	摩耗減量(g)	凍結融解試験
試作品4	5.80	455	0.04	異状認めず

表11－(3)　試作陶磁器質タイルの品質（試験方法JIS　A　5209）

品　名	吸水率(%)	幅1cm当たりの破壊荷重(kgf/cm)	摩耗減量(g)	オートクレーブ試験	凍結融解試験	曲げ強度(kgf/cm²)
試作品3	2.19	39.8	0.01	異状認めず	異状認めず	164
試作品5	3.18	31.7	0.02	異状認めず	異状認めず	314
試作品6	14.3	13.0	0.24	異状認めず	異状認めず	78.7
試作品7	4.79	32.6	0.03	異状認めず	異状認めず	191
試作品8	0.90	25.0	0.03	異状認めず	異状認めず	217
試作品9	6.52	14.0	0.05	異状認めず	ひび割れ	112
試作品10	2.83	22.9	0.02	異状認めず	異状認めず	195
試作品11	0.63	36.1	0.02	異状認めず	異状認めず	200
試作品12	2.62	32.3	0.01	異状認めず	異状認めず	182

5．むすび

現在および将来にわたり，多量に発生することが予測される廃棄物の処理および枯渇化傾向にある窯業界の原料問題に対する1つの解決策とし本研究を実施したが，前述のとおり，いくつかの廃泥は適切な使用法および用途によって資源化できる見通しが得られた。しかし，これらの廃泥を“原料”として遇するには，解決しなければならない課題がいくつか残されている。

次に，その主なものを項目のみ提示し，本研究のむすびとしたい。

1）廃泥排出側に要求されること

(イ)　投棄物という感覚から，別製品の原料である

という認識

(ロ) 原料化を意図した廃泥の処理体制

(ハ) 廃泥品質の長期安定および継続供給

2) 廃泥の利用者側に要求されること

(イ) 廃泥使用に適合するような生産工程への若干の移行

(ロ) 積極的な廃泥導入の姿勢

3) その他

(イ) 廃泥を利用した製品の需要促進

(ロ) 廃泥の特性を利用した製品を許認する工業規格

(ハ) 既存製品に拘泥されない新製品の開発と用途開発

以上，産業廃棄物の資源化については，その活用化技術の開発研究と併行して，廃棄物排出者とその利用者，およびその製品需要者，この三者の相互理解，相互協力を一層緊密にし，三者が互いに歩みよることによってのみ達成可能と考えられる。

最後に本研究に当たり，終始適切なご助言をいただいた名工試第6部西村課長はじめ，試料廃泥の採取と提供にご協力いただいた各事業所の諸兄，および製品試作において自らの生産設備をご提供いただき，製品試作にご協力下さった各事業所の方々に，深謝の意を表します。

本研究は，中小企業庁の昭和50年度技術開発研究費補助事業の共同研究として，指定課題「産業廃棄物処理及び資源化に関する研究」について，山形県立山形工業試験場，愛知県工業指導所，兵庫県立工業試験場，山口県商工指導センターおよび当所の5機関で実施した。当所は，分担課題として「粘土質廃泥処理及び陶磁器建材への利用に関する研究」を担当した。本報はその成果普及講習会用テキストに掲載したものを，そのまま転載したものである。