

煉瓦製品の高級化に関する研究

— 原材料の基礎性状と配合・焼成試験 —

窯業室 照屋輝一
宜野座 俊夫
照屋 善義

1. 緒 言

県内の建造物は、赤瓦建築が少くなり、ほとんどがコンクリート・ブロック建築にかわってきている。このような建築様式の急激な移行は、一方で建造物としての居住性や美意識が追従できず、市街・村落の景観を損ねるなど問題も多い。建造物は必然的に風土と伝統性にマッチしたものが求められる。最近のスラブ屋根への赤瓦施工、門・へい・花壇等への赤煉瓦の利用、コンクリート壁の二丁がけ（煉瓦タイル）外装などにその指向をみる事ができる。これを反映して、この数年、これら建設用粘土製品の需要も漸増の傾向にある。特に、二丁がけ等のタイル状製品を含む煉瓦製品が好調であって、業界もそれなりの活況を呈し、生産意欲も醸成されつつある。

煉瓦製造業の実態および製品性状等については先に報告した¹⁾。製品の吸水率は全事業所ともに20%前後で上焼と並焼の境目にあり、圧縮強度が並焼の規格強度に達していない事業所がかなりあり、また二丁がけ等のタイル状製品については強度的には十分であるが外装、床用としては吸水率が高すぎる現状にある。したがって、煉瓦製品の高級化は、良好な焼度により、外観・焼成色に優れ、煉瓦で上焼製品、二丁がけ等でせり器質タイル相当の低吸水性、高強度製品を得ることにある。本研究は、この目標を達成するために、原材料（単味）の生性状及び焼成性状試験、配合試験、乾燥条件、焼成温度および雰囲気等の検討、白華現象の解明等を目的に試験・研究を計画、遂行しているもので、本報では原材料の基礎性状と配合・焼成試験結果について報告する。

2. 原材料の基礎性状

2・1 原材料

現在、赤煉瓦や二丁がけ等のタイル状製品は、古くから赤がわらの原料として使われてきている軟質の島尻泥岩（オーグチャー）に石川市以北の砂質の赤土を配合し、1,000℃内外で焼成して製造されている。本研究では、島尻泥岩を焼結性原料として把え、耐火性の骨材的目的として砂質原料をこれに配合することとした。すなわち、従来原料として利用している2原料を含め、利用面から量的に豊富であることを考慮して、表1に示す4原料を主要な研究対象に選定し検討した。

表1 原材料の採取地と特徴

原料名	採取地	特徴
(1) 島尻泥岩 (S)	佐敷町当添	緑灰色。軟質の泥岩（オーグチャー）。
(2) 石川赤土 (I _R)	金武村屋嘉	砂質粘土。明赤褐色。量的に豊富。
(3) 石川黄土 (I _Y)	石川市北部	砂質粘土。オリーブ褐色。量的に豊富。
(4) 喜瀬武原黄砂 (K _Y)	金武村喜瀬武原	黄砂。量的に豊富。

2・2 原材料の粒度組成

図1に、0.2%ヘキサメタリン酸ナトリウムを分散媒としてアンドレアゼンピペット法により測定した各試料の粒度分布を示す。

島尻泥岩(S)は粘土分に富み、他の3原料は砂分の多い砂質原料であることを示している。

2・3 原材料の化学組成、耐火度、PH

各原料の化学組成、耐火度及びPHを表2に示す。

化学組成は蛍光X線法により、耐火度はJIS R 2204に準拠して、PHは試料10gを蒸留水50mlに懸濁させガラス電極法により、それぞれ測定した値である。

島尻泥岩(S)はけい酸分(SiO₂)が55%前後と他原料に比して低く、鉄分(Fe₂O₃)や石灰分(CaO)他融剤成分を多く含み耐火度が低く、懸濁状態でアルカリ性を呈するのが特徴的である。

石川赤土(IR)と石川黄土(IY)はほぼ同質の砂質粘土で、けい酸分65~70%、アルミナ分17~18%、鉄分5~6%で、石灰分をほとんど含まず、懸濁状態で酸性を呈し、耐火度がSK 18前後と高いのが特徴的である。

喜瀬武原黄砂(KY)はけい酸分が80%前後と多く他原料に比して鉄分他の融剤成分が少なく、懸濁状態で酸性を呈し、耐火度もSK 15と比較的に高いのが特徴的である。

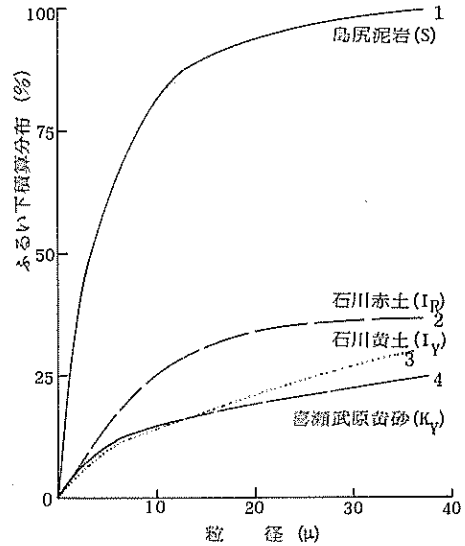


図1 原材料の粒度分布

表2 原材料の化学組成・耐火度およびPH

No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	灼減	計	耐火度 SK (°C)	PH
1(S)	54.79	15.89	7.60	0.87	4.53	2.70	1.18	3.60	8.85	100.01	3a (1140)	9.2
2(IR)	69.3	17.5	5.05	0.75	0.00	0.53	0.60	2.95	5.00	101.7	17 (1480)	5.0
3(IY)	64.47	17.68	5.92	0.90	0.01	0.93	0.60	3.61	5.05	99.20	18 ⁺ (1510)	4.6
4(KY)	80.3	12.5	2.45	0.57	0.00	0.24	0.20	1.92	3.35	101.5	15 (1435)	4.9

2・4 原材料の鉱物組成

表3は、粉末法によるX線回折パターンの測定より各原料の主要鉱物を推定したものである。

島尻泥岩(S)は、緑泥石を主体とし、雲母粘土鉱物と方解石、および微量の長石と石英を含有する。

石川赤土(IR)と石川黄土(IY)は鉱物的に同質で石英、雲母粘土鉱物、緑泥石からなり、これに微量のカオリン鉱物が混在している。

喜瀬武原黄砂(KY)は、石英を主体とし、雲母粘土鉱物および微量のカオリン鉱物を含有する。

表3 原材料の主要鉱物

No	カオリン 鉱物	雲母粘 土鉱物	緑泥石	長石	石英	方解石
1(S)		○	◎	△	△	○
2(IR)	△	○	○		◎	
3(IY)	△	○	○		◎	
4(IY)	△	○			◎	

◎:多い ○:中 △:少い

3. 配合および焼成試験

原材料の基礎性状と過去における諸検討²⁻⁵⁾の結果から、島尻泥岩(クチャ)を焼結性原料としてこれに他の3原料を焼結温度域を拡げ、同時に変形防止、乾燥性向上等の砂質原料として種々の割合で配合し、焼成試験を行なった。

試験体は、10%前後の含水状態で、100 kgf/cm²の加圧条件で、長さ250 mm、幅65 mm、厚さ12 mmのタイル状にプレス成形により作成した。焼成は0.2 m³のガス窯により、昇温速度200 °C/hr、300 °C前後での焙り2時間、焼上げ温度で30分保持の条件で酸化および還元雰囲気下で行なった。

表4に各条件下における焼成体の主要性状を示す。なお、図2は表4の結果より特に吸水率と曲げ強度についての結果を図示したものである。

表4 配合・焼成試験結果

(配合割合は島尻泥岩との配合を重量%で表わしたものである)

原材料	配合割合(%)	ふん囲気	焼成温度(SK)	絶乾比重	見掛け比重	吸水率(%)	見掛け気孔率(%)	全収縮率(%)	曲げ強度(kgf/cm ²)	焼成色	備考	
島尻泥岩(S)	100	酸化	2 a	2.20 ₁	2.50 ₁	5.46	11.9 ₉	8.0 ₀	261	2.5YR4/4		
			3 a	2.37 ₄	2.39 ₂	0.30 ₃	0.72 ₀	10.0	327	2.5YR4/2		
			4 a	2.31 ₀	2.31 ₆	0.12 ₂	0.28 ₃	9.4 ₂	323	5YR3/2		
		還元	1 a	2.17 ₃	2.18 ₀	0.13 ₇	0.29 ₉	9.0 ₀	275	5YR2/3		
			2 a	2.07 ₇	2.08 ₂	0.10 ₈	0.22 ₄	8.1 ₂	353	5YR2/3		
石川黄土(IY)	25	酸化	2 a	2.17 ₄	2.57 ₂	7.11	15.4 ₆	6.4 ₈	155	2.5YR4/2		
			3 a	2.30 ₈	2.49 ₆	3.28	7.48	8.04	167	5YR3/3		
			4 a	2.31 ₆	2.38 ₂	1.18	2.75	8.3 ₀	164	5YR2/3		
		還元	1 a	2.22 ₁	2.23 ₁	0.24 ₂	0.41 ₃	7.9 ₈	162	5YR1/3		
			2 a	2.15 ₀	2.16 ₄	0.30 ₁	0.64 ₇	7.5 ₂	173	5YR1/3		
	50	酸化	2 a	2.09 ₉	2.62 ₆	9.57	20.0 ₄	3.6 ₄	82.7	2.5YR4/4		
			3 a	2.20 ₁	2.60 ₄	7.03	15.4 ₆	5.3 ₀	108	2.5YR2/4		
			4 a	2.25 ₆	2.54 ₀	4.96	11.1 ₈	6.1 ₈	131	2.5YR2/3		
		還元	1 a	1.98 ₈	2.68 ₇	13.0 ₈	25.9 ₉	1.8 ₀	61.5	2.5YR4/6		
			2 a	2.19 ₅	2.25 ₄	1.20	2.63	5.9 ₀	119	2.5YR3/2		
75	酸化	2 a	1.97 ₀	2.66 ₁	13.1 ₉	25.9 ₇	0.6 ₄	52.5	2.5YR3/6			
		3 a	2.00 ₉	2.64 ₀	11.8 ₉	23.9 ₀	0.9 ₆	53.7	2.5YR3/4			
		4 a	2.03 ₁	2.61 ₈	11.0 ₃	22.4 ₀	1.3 ₈	57.0	2.5YR4/2			
		5 a	2.02 ₅	2.61 ₉	11.2 ₁	22.6 ₈	7.4 ₀	54.9	2.5YR3/2			
		還元	1 a	1.95 ₂	2.67 ₆	13.8 ₃	27.0 ₇	0.0 ₄	34.5		2.5YR5/7	
	2 a		2.03 ₆	2.60 ₁	10.6 ₇	21.7 ₂	1.6 ₀	61.5	7.5YR4/2			
	100		酸化	3 a	1.89 ₇	2.67 ₂	15.3 ₁	29.0 ₂	0.9 ₄		7.5 ₃	2.5YR5/8
				4 a	1.89 ₇	2.66 ₅	15.2 ₀	28.8 ₃	0.8 ₀		19.5	2.5YR4/8
				5 a	1.90 ₇	2.66 ₂	14.8 ₈	28.3 ₇	0.7 ₈		12.9	2.5YR4/8
	還元	1 a	1.84 ₄	2.53 ₇	14.8 ₁	27.3 ₁	+0.7 ₈	16.8	5YR5/6			
2 a		1.91 ₅	2.65 ₅	14.5 ₅	27.8 ₇	0.0	19.2	5YR5/6				

表4 (つづき)

原材料	配合割合 (%)	ふん 囲気	焼成 温度 (SK)	絶 乾 比重	見掛け 比 重	吸水率 (%)	見掛け 気孔率 (%)	全 収 縮 率 (%)	曲げ強 度 (kgf/cm ²)	焼 成 色	備 考
石 川 赤 土 (IR)	25	酸化	2 a	2.11 ₂	2.60 ₃	8.93	18.8 ₆	5.8 ₈	126	2.5YR4/4	わずかに変形 かなり変形
			3 a	2.33 ₄	2.45 ₁	2.05	4.78	7.8 ₈	168	2.5YR2/3	
			4 a	2.30 ₄	2.36 ₉	1.21	2.78	8.6 ₂	192	2.5YR2/2	
		還元	1 a	2.19 ₁	2.21 ₀	0.32 ₁	0.69 ₃	5.2 ₇	131	5YR3/2	
	2 a		2.18 ₁	2.19 ₃	0.24 ₉	0.54 ₄	8.1 ₀	155	5YR3/2		
	50	酸化	2 a	2.00 ₈	2.64 ₉	12.0 ₅	24.2 ₀	3.5 ₂	87.0	2.5YR3/4	
			3 a	2.17 ₄	2.55 ₈	6.94	14.9 ₂	6.4 ₀	117	2.5YR2/4	
			4 a	2.25 ₅	2.48 ₅	4.10	9.23	7.8 ₀	135	2.5YR2/3	
		還元	1 a	2.21 ₉	2.34 ₄	2.40	5.33	2.4 ₈	120	2.5YR5/6	
	2 a		2.22 ₂	2.25 ₅	0.75 ₅	1.45	7.0 ₆	134	5YR3/2		
	75	酸化	2 a	1.94 ₂	2.65 ₉	13.8 ₉	26.9 ₅	1.7 ₆	53.7	2.5YR5/6	
			3 a	2.00 ₃	2.64 ₁	12.0 ₇	24.1 ₆	2.6 ₈	75.0	2.5YR3/4	
4 a			2.05 ₁	2.61 ₉	10.5 ₈	21.6 ₉	3.5 ₄	85.5	2.5YR3/2		
5 a			2.23 ₅	2.78 ₆	8.85	19.7 ₈	4.0 ₄	85.5	2.5YR2/4		
還元		1 a	2.06 ₀	2.60 ₅	10.1 ₆	20.9 ₃	3.5 ₆	84.6	7.5YR3/2		
		2 a	2.07 ₇	2.59 ₂	9.56	19.8 ₆	3.8 ₀	86.3	7.5YR3/2		
100	酸化	3 a	1.89 ₉	2.67 ₁	15.2 ₃	28.9 ₁	0.1 ₀	24.7	2.5YR5/8		
		4 a	1.91 ₉	2.66 ₆	14.5 ₁	27.8 ₄	0.3 ₈	22.3	2.5YR4/8		
		5 a	1.90 ₅	2.65 ₇	14.8 ₄	28.2 ₈	0.3 ₈	26.0	2.5YR3/6		
	還元	1 a	1.92 ₇	2.65 ₅	14.2 ₄	27.4 ₃	0.4 ₂	20.5	5YR5/6		
2 a		1.93 ₁	2.65 ₁	14.0 ₈	27.1 ₈	0.4 ₆	22.8	5YR4/6			
喜 瀬 武 原 黄 砂 (Ky)	25	酸化	2 a	2.18 ₃	2.56 ₃	6.80	14.8 ₃	3.9 ₂	156	2.5YR3/4	わずかに変形 かなり変形 かなり変形 かなり変形
			3 a	2.27 ₇	2.48 ₅	3.69	8.33	8.1 ₆	165	2.5YR3/2	
			4 a	2.28 ₅	2.37 ₂	1.61	3.68	8.3 ₆	177	2.5YR2/4	
		還元	1 a	2.00 ₂	2.44 ₇	9.08	18.1 ₈	5.1 ₄	133	2.5YR5/8	
	2 a		2.15 ₂	2.17 ₀	0.38 ₁	0.82 ₃	7.6 ₂	168	2.5YR3/2		
	50	酸化	2 a	2.10 ₆	2.64 ₁	9.63	20.2 ₇	3.5 ₂	101	2.5YR6/3	
			3 a	2.18 ₆	2.59 ₄	7.20	15.7 ₂	5.1 ₆	112	2.5YR3/4	
			4 a	2.24 ₁	2.53 ₃	5.14	11.5 ₁	5.7 ₆	118	2.5YR2/4	
		還元	1 a	2.00 ₅	2.68 ₀	12.5 ₇	25.2 ₀	2.2 ₄	90.0	2.5YR8/4	
	2 a		2.16 ₁	2.21 ₇	1.16	2.51	5.4 ₈	116	5YR3/2		
	75	酸化	2 a	2.00 ₁	2.65 ₄	12.3 ₀	24.6 ₂	0.5 ₈	53.0	2.5YR3/4	
			3 a	2.01 ₄	2.63 ₇	11.7 ₃	23.6 ₃	0.9 ₆	65.0	2.5YR3/4	
4 a			2.03 ₁	2.63 ₃	11.2 ₇	22.8 ₈	1.2 ₄	69.4	2.5YR2/4		
5 a			2.04 ₆	2.61 ₀	10.5 ₇	21.6 ₂	1.3 ₈	52.4	2.5YR2/2		
還元		1 a	1.96 ₃	2.67 ₈	13.6 ₂	26.7 ₁	0.2 ₀	48.6	2.5YR4/6		
		2 a	2.07 ₇	2.56 ₀	9.09	18.8 ₈	1.9 ₈	68.0	2.5YR2/4		
100	酸化	3 a	1.92 ₁	2.67 ₆	14.6 ₈	28.2 ₀	+0.7 ₂	15.4	2.5YR4/8		
		4 a	1.92 ₆	2.67 ₁	14.5 ₁	27.9 ₂	+0.5 ₆	19.7	2.5YR3/6		
		5 a	1.92 ₄	2.66 ₀	14.3 ₇	27.6 ₅	+0.5 ₈	16.7	10R3/6		
	還元	1 a	1.90 ₅	2.69 ₁	15.3 ₄	29.1 ₆	+0.7 ₈	12.3	2.5YR4/8		
2 a		1.93 ₁	2.64 ₅	13.9 ₈	26.9 ₉	0.0	24.1	5YR4/4			

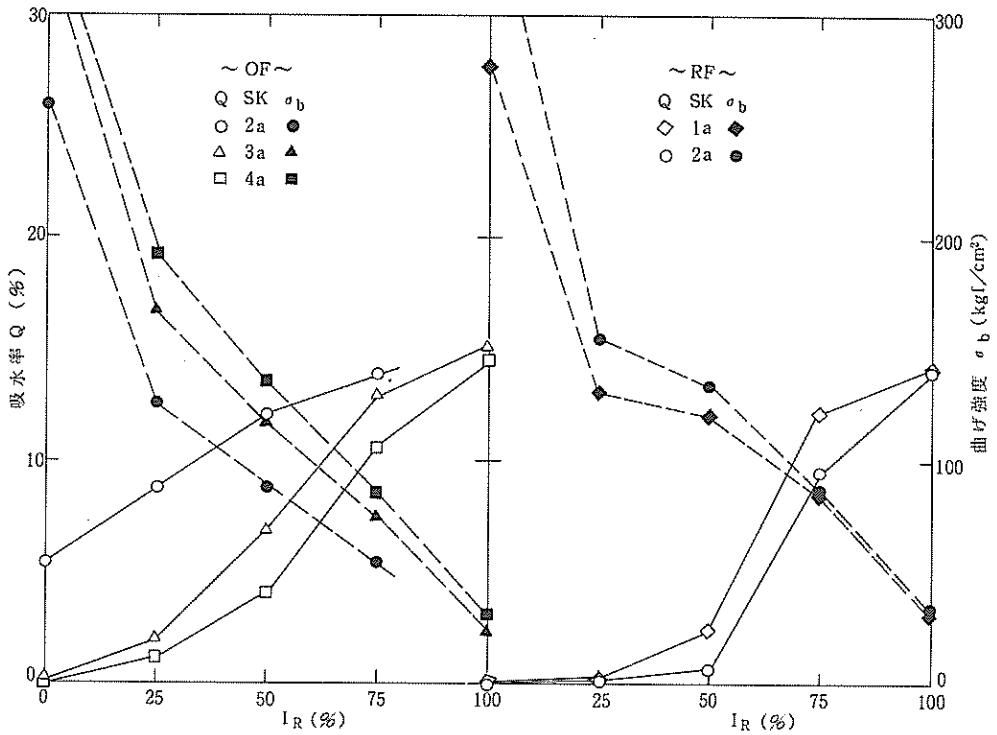


図2-(1) 島尻泥岩(S) - 石川赤土 (I_R) 系の酸化炎 (OF) および還元炎 (RF) 焼成物の吸水率 (Q) と曲げ強度 (σ_b)

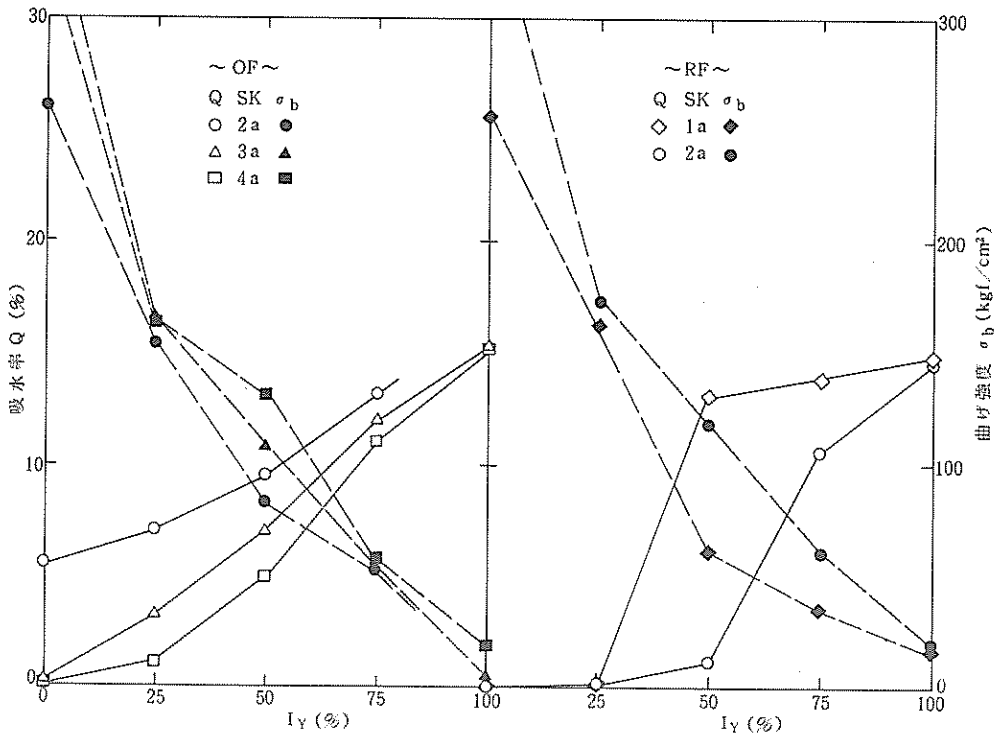


図2-(2) 島尻泥岩(S) - 石川黄土 (I_Y) 系の酸化炎 (OF) および還元炎 (RF) 焼成物の吸水率 (Q) と曲げ強度 (σ_b)

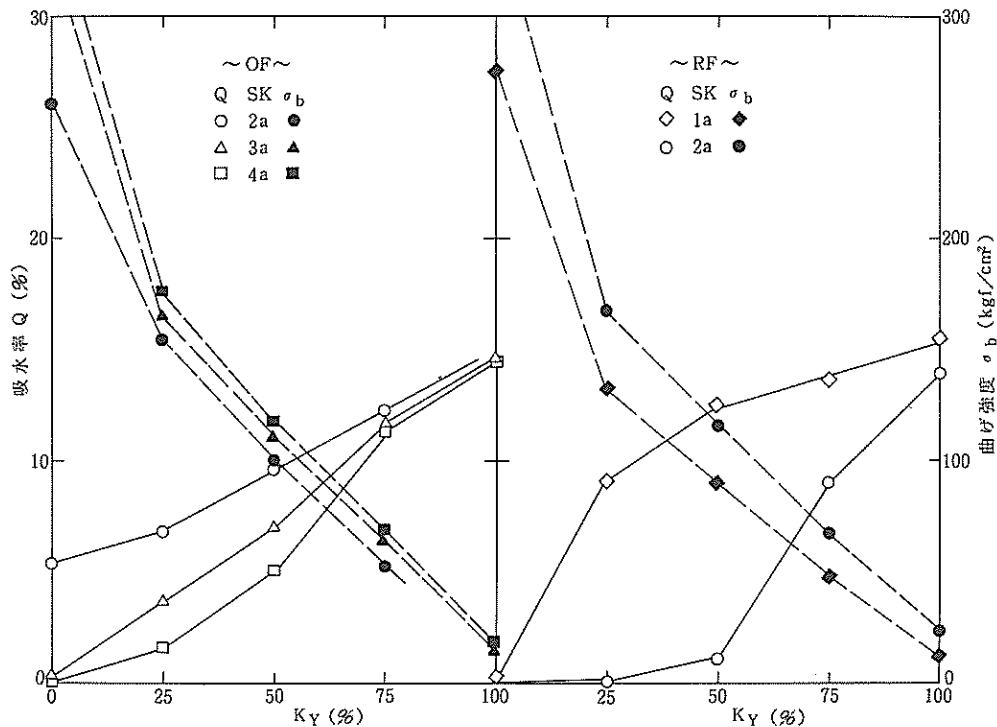


図2-3) 島尻泥岩(S) - 喜瀬武原黄砂(K_Y)系の酸化炎(OF)および還元炎(RF)焼成物の吸水率(Q)と曲げ強度(σ_b)

これらの配合・焼成試験結果より大略以下のことが推論される。

1) 島尻泥岩(クチャ)は低火度でガラス化し焼結性を示す原料であるが、石灰分や鉄分が多いため焼結温度域が狭く、特に還元雰囲気中で変形しやすい焼成管理の難しい原料である。

2) しかしながら、低火度での焼結性は焼成エネルギーの低減につながり、省エネ的原料でありまた窯構築費の低減や窯の寿命の伸長に有効であり、これらの観点から貴重な原料であるといえ、その特長を有効に利用すべきである。

3) その低火度性と焼結温度域の狭さから、焼成管理上配合比を定め厳密に配合管理を行う必要がある。

4) 試験温度域での焼結性は島尻泥岩(クチャ)に支配されるところが大であり、他の3原料の相違は吸水率、曲げ強度、焼成色等に顕著には頭われていないので、クチャと配合する砂質原料は、当面採掘性、運搬等の稼行性の安価なものを選定すればよい。

5) 坩器質相当の、すなわち吸水率10%以下、曲げ強度75 kgf/cm²以上で良好な朱泥調焼成色を呈する配合・焼成条件は島尻泥岩(クチャ)50%前後で、SK3a(1140℃)～SK4a(1160℃)の酸化炎焼成が適している。

4. 製品化試験

本研究の目的は、

① 赤煉瓦として、JIS R 1250「普通れんが」の規格に規定される、吸水率20%以下、圧縮強度150 kgf/cm²以上の焼度良好で、外観の優れた上焼製品の製造条件を明確にすること。

② 二丁がけをはじめとするタイル状製品については、吸水率10%以下、曲げ強度75kg f/cm²以上の珪器質相当品の製品化を図ること。

などである。

①についての高級化技術は、より困難である②の技術確立に包含されるので、本研究では②に主眼をおいた。

配合・焼成試験の結果は、0.2 m³程度の試験用ガス窯では、②の目的達成には、クチャ50%の配合で、1150℃前後の酸化炎焼成が適当であると結論された。一方、工場生産用の大容量の窯では焼成効果が大きく、また温度、雰囲気のかなりの分布があり、焼成管理は試験窯より現実の問題としてより困難であろうと想定される。そこで、工場生産用の大容量の窯による製品化試験は、クチャ25%配合の1100℃の酸化炎焼成により行なった。

クチャとの配合用砂質原料は、配合・焼成試験結果より、石川赤土、黄土および喜瀬武原黄砂間に大きな差はみられなかったので現在稼行性のよい石川赤土を選んだ。ただし、配合条件の厳密さがきわめて重要であることから、配合比の一定性が保たれるように配合工程には特に留意した。成形は、配合・焼成試験の際と同条件のプレス成形によるものと、製造業において従来から行なわれている真空土練機による押出し成形によるものと両者について行ない比較した。焼成は、工場生産用の4 m³ガス窯により1100℃における酸化炎焼成によった。

表5 製品化試験試作品主要性状
(1100℃、OF: 4 m³ガス窯)

成形法の種別	吸水率 (%)	曲げ強度 (kg f/cm ²)
プレス成形	8.2	123
押出し成形	6.0	143

表5に製品化試験の主要な結果を示す。この結果は、生産用の大容量の窯では、クチャ25%配合の1100℃前後の酸化炎焼成で、珪器質相当の二丁がけ等のタイル状製品が得られることを示している。また、押出し成形による製品が低吸水率、高強度となるが、製品の色調、外観等はプレス成形による製品が優れ、より付加価値の高い製品が得られる。

5. 結 言

県産の煉瓦製品は、その原材料の基礎性状、配合・焼成条件等が十分に把握されていないために厳密な配合・焼成管理が確立されず、焼度が不十分で、製品としては吸水率が高く、強度が低く、使用上白華現象(スカム、アク)を招来することが多いなど種々の問題をかかえている。

本研究は、これらの問題を解決し、珪器質相当の低吸水率、高強度製品の製造条件を確立し、煉瓦製品の高級化を図ることを目的とするもので、本報告では原材料の基礎性状を明確にするとともに、主要原料である島尻泥岩(クチャ)が低火度でガラス化する焼結性原料であるため厳密な配合と焼成管理がきわめて重要であることを示した。すなわち、珪器質の低吸水率、高強度製品を得るためには、0.2 m³前後の試験用の小型ガス窯では、クチャ50%配合、1150℃前後の酸化炎焼成が、また工場生産用の大容量の窯では、クチャ25%配合、1100℃前後の酸化炎焼成が適切な配合・焼成条件であることを示した。

謝 辞 本研究では、原料の調査、採取および製品化試験等において、(限) 沖縄陶業新城信勝代表他同社の方々の多大のご協力をいただきました。感謝の意を表します。

文 献

- 1) 照屋輝一・宜野座俊夫、沖縄県技術情報、Vol. 5、No.2、2 (1981)
- 2) 照屋善義・照屋輝一、沖縄県工試昭和51年度業務報告、61 (1977)
- 3) 照屋善義・仲村三雄・宜野座俊夫・照屋輝一、沖縄県工試昭和52年度業務報告、54 (1978)
- 4) 照屋輝一・宜野座俊夫・仲村三雄・照屋善義、沖縄県工試昭和53年度業務報告、84 (1979)
- 5) 照屋輝一・宜野座俊夫、仲村三雄・照屋善義、沖縄県工試昭和54年度業務報告、32 (1980)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。