

粘土瓦，陶管の機械的強度の 向上による軽量化

島村 修 加藤 勝正 稲垣甲子郎※

Making Light Weight Rooftiles and Clay Pipes
by Improving Mechanical Strength

by

Osamu SHIMAMURA, Katsumasa KATO
and Kineo INAGAKI

桜井粘土，頁岩粘土，知多山土，シャモット及び水酸化ナトリウム等を使用して，粘土瓦，陶管の軽量化を図るため坯土の調製及び強度試験等を実施し，肉厚を薄くすることにより従来品よりも軽量化できる素地について検討した。坯土は水酸化ナトリウムを0.5%添加することにより，従来素地よりも成形水分を3%少なくすることが可能となり，乾燥収縮率は1%減少した。また乾燥曲げ強さは5 kgf/cm²，焼成曲げ強さも20～40 kgf/cm²向上した。軽量化素地は5種類が実用可能であり従来の粘土瓦，陶管に比べて軽量化できる割合は13～35%であった。

1. ま え が き

粘土瓦，陶管を始めとする窯業建材品は，金属，プラスチックに比べて，圧縮強さは大きい，衝撃並びに引張り強さは小さい。また，重量製品のために取り扱い上不利である。したがって，この問題解決には高強度かつ軽量化を図ることが重要な課題である。

本研究は，製品の軽量化を図り，かつ機械的強度の大きい素地を得るために，原料の配合と調製条件等から検討した。また，窯業建材品は特に資源消費型の産業で，その原料確保と安定供給が問題となっているため，知多山土等の未利用資源の活用を図った。

砂質泥岩で，陶管，植木鉢の原料として使用される。強固の結合をしているため水壊性が悪い。シルト質を多く含み耐火度は低い。次に，増量剤として知多山土と珪砂廃土を用いた。知多山土は常滑市大曾池南産で，粘土分が多く可塑性に優れたカオリナイト系粘土である。なおシャモットは収縮調整用として用いた。これらの原料の化学組成及び耐火度を表1に，粒度分布を図1及び表2に示す。

表1 原料の化学組成及び耐火度

原 料	化 学 組 成 (%)										耐火度 (SK)
	Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O		
桜井粘土	7.17	62.8	21.3	3.39	0.74	0.83	0.46	1.56	1.97		18
頁岩粘土	5.83	67.8	16.8	3.44	0.68	0.32	0.82	1.32	2.78		16
珪砂廃土	5.75	72.4	17.4	1.41	0.58	0.08	0.33	0.10	2.14		31
知多山土	7.51	63.3	23.0	2.50	0.83	0.01	0.47	0.36	2.24		27

表2 シャモットの粒度構成

粒子径 (mm)	>1	1～0.5	0.5 ～0.25	0.25 ～0.125	0.125 ～0.063	0.063 ～0.043	0.043 ～0.020	0.020～
含有率 (%)	18.3	24.4	21.8	12.1	3.8	2.5	2.5	14.6

2. 試 験 方 法

2.1 使用原料

可塑性原料として桜井粘土を用いた。この粘土は代表的な瓦用粘土で安城市を中心とした地域より採掘されているものであり，可塑性が大きく，焼成温度幅が広い。次に焼結用原料として頁岩粘土を用いた。この粘土は常滑地区より採掘される

※ 現愛知県瀬戸窯業高等学校

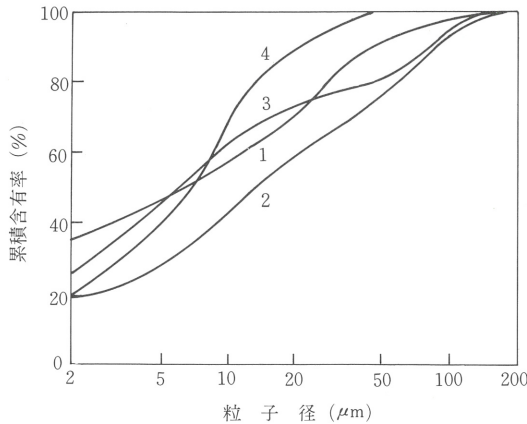


図1 原料の粒度分布

1. 桜井粘土 2. 頁岩粘土
3. 珪砂廃土 4. 知多山土

2.2 配合試験

原料を自然乾燥後、粉碎し16メッシュの篩を全通させ表3に示すように7種類の素地を配合した。この配合物を含水率26%の坏土に調整し、石膏型手起し法により15×30×130mmの試験体に成形し、乾燥素地の物性と1050℃、1100℃、1150℃及び1200℃に焼成した素地の物理的性質を測定した。さらにNo.1とNo.5に水酸化ナトリウム、珪酸ソーダ、

表3 素地の配合割合 (%)

原 料	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
桜井粘土	45	45	25	25	25	35	20
頁岩粘土	20	5	40	25	10	20	10
珪砂廃土	10	25	10	25	40	10	35
知多山土	25	25	25	25	25	35	35

塩酸を各0.5%添加して坏土を調整した。坏土の硬度は日本碍子製の粘土硬度計により初期硬度を4.5と8.0の2段階とし、経過時間に対する硬度変化を測定した。このうちNo.1については上記のほかに、水酸化ナトリウムを1.0%、0.5%、0.1%、0.01%及び0.001%坏土に添加して、120分経過後の硬度及び1050℃、1100℃、1150℃、1200℃焼成後の吸水率を測定した。また軽量化素地には水酸化ナトリウムを0.5%添加し、硬度が8.0になるように坏土を調製し、これにシャモットを0～10%添加し前記と同様に石膏型手起し法で試験体を成形し乾燥、焼成物性を測定した。

3. 試験結果と考察

3.1 乾燥性及び焼結性

表4にNo.1からNo.7の乾燥及び焼成素地の物理

表4 素地の物理的性質

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
乾 燥 収 縮 率 (%)	7.68	7.64	6.95	6.93	6.91	7.89	6.91
乾 燥 曲 げ 強 さ (kgf/cm ²)	27.5	24.8	22.7	18.9	20.4	27.4	20.5
焼 成 収 縮 率 (%)							
1050℃	4.32	4.16	4.35	3.64	3.14	4.87	3.85
1100℃	6.13	5.78	6.01	5.55	5.16	6.41	5.28
1150℃	7.26	6.71	7.13	7.02	6.56	7.31	6.60
1200℃	8.47	7.94	8.55	8.18	7.46	8.61	7.75
全 収 縮 率 (%)							
1050℃	11.6	11.1	11.0	10.7	9.81	11.7	9.86
1100℃	12.7	12.0	12.3	11.5	11.1	12.1	11.9
1150℃	14.4	13.8	14.2	13.6	13.0	14.2	13.4
1200℃	15.8	14.7	15.2	14.6	14.1	15.1	14.4
焼 成 曲 げ 強 さ (kgf/cm ²)							
1050℃	153	156	146	131	128	158	122
1100℃	223	215	213	201	193	227	198
1150℃	251	245	248	224	223	258	221
1200℃	325	313	298	281	273	324	276
吸 水 率 (%)							
1050℃	11.3	12.3	13.8	14.0	14.1	11.6	15.0
1100℃	8.35	8.96	9.15	9.47	9.98	8.33	9.99
1150℃	4.03	5.17	5.95	6.98	7.01	4.44	7.59
1200℃	0.69	1.08	1.53	2.08	3.17	0.35	3.35

表5 酸、アルカリ処理による坏土の硬度変化

坏土	種 類	成形水分 (%)	添加量 (%)	経 過 時 間 (min)					
				0	10	30	60	90	120
No. 1	水酸化ナトリウム	25.8	0.5	8.0	8.9	9.5	9.9	10.1	10.5
		28.9	0.5	4.5	5.4	6.0	6.5	7.0	7.3
	珪酸ソーダ	26.2	0.5	8.0	9.0	10.0	11.1	12.2	12.6
		28.1	0.5	4.5	5.7	6.8	7.9	8.9	9.8
	塩 酸	24.0	0.5	8.0	8.5	9.1	9.3	9.5	9.8
		26.1	0.5	4.5	5.0	5.6	6.0	6.6	6.8
	無 処 理	24.9	0	8.0	8.3	8.7	9.1	9.4	9.5
		27.8	0	4.5	4.9	5.3	5.8	6.2	6.6
	水酸化ナトリウム	25.3	0.5	8.0	8.7	9.2	9.5	9.9	10.1
		28.7	0.5	4.5	5.2	5.8	6.1	6.7	7.1
No. 5	珪酸ソーダ	26.0	0.5	8.0	8.9	9.7	10.7	11.5	12.1
		28.5	0.5	4.5	5.6	6.6	7.5	8.6	9.1
	塩 酸	24.3	0.5	8.0	8.4	8.8	9.1	9.2	9.5
		26.5	0.5	4.5	4.9	5.5	5.8	6.2	6.6
	無 処 理	24.9	0	8.0	8.2	8.8	9.0	9.2	9.3
		27.7	0	4.5	4.8	5.2	5.7	6.1	6.5

的性質を示す。乾燥及び焼成曲げ強さは桜井粘土の配合量の多いNo. 1, No. 2 及びNo. 6 が大きいため軽量化が容易であるが、全収縮率が大きくなる欠点がある。また、珪砂廃土の多いNo. 5 及びNo. 7 は吸水率が大きく曲げ強さは小さくなった。なお、知多山土はその配合比率を25%から35%に増加させても吸水率、曲げ強さへの影響は少ないため増量剤として利用が可能である。

3.2 酸、アルカリ処理が坏土の硬度に及ぼす影響

表5にNo. 1 及びNo. 5 の成形水分、経過時間による硬度変化を示す。経過時間に対する硬度の増加は珪酸ソーダが最も大きく、次いで水酸化ナトリウム、塩酸であり、無処理の坏土は硬度の増加が最も小さかった。以上より、成形後の変形防止には珪酸ソーダに次いで水酸化ナトリウムが適当である。

3.3 酸、アルカリ処理が素地の物理的性質に及ぼす影響

2.2の坏土を用いて、成形水分の影響、乾燥及び1050℃、1150℃焼成後の素地の物理的性質を測定した結果を表6に示す。

3.3.1 成形水分の影響

表6より、塩酸以外の溶液で処理した素地は、乾燥曲げ強さが、成形水分の少ない素地の方が成形水分の多い素地よりも1～2 kgf/cm²大きくなる。次に、焼成曲げ強さも乾燥曲げ強さと同様に、成形水分の少ない素地の方が多い素地より10～20 kgf/cm²大きくなった。乾燥収縮率及び全収縮率は成形水分の少ない素地ほど小さく、多い素地に比べて共に約1%減少した。成形水分は少ない素地の方が物性値は優れ、水分差は約3%である。

3.3.2 酸、アルカリの影響

乾燥曲げ強さは、珪酸ソーダを添加した素地が最も大きく、逆に塩酸を添加した素地が最も小さくなった。焼成曲げ強さは水酸化ナトリウムを添加した素地の方が他の酸、アルカリを添加した素地よりも大きく、無処理の素地に比べて20～40 kgf/cm²大きくなった。乾燥収縮率は、塩酸を添加した素地が優れ、塩酸は素地の収縮を小さくする効果が大きかった。

以上より、水酸化ナトリウムを添加した素地は変形防止と焼成曲げ強さを大きくする効果が大きい。また成形水分は少ないほど強度は大きくなり、収縮率は小さくなる。このため、水酸化ナトリウ

表6 酸, アルカリ処理による素地の物理的性質

素地	種 類	成形水分 添加量		乾燥素地		1050℃ 焼 成 素 地				1150℃ 焼 成 素 地				
		(%)	(%)	収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	焼 成 収縮率 (%)	全 収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	吸水率 (%)	焼 成 収縮率 (%)	全 収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	吸水率 (%)	
No. 1	水酸化ナトリウム	25.8	0.5	7.45	35.1	3.86	11.1	203	8.82	5.92	13.1	288	3.89	
		28.9	0.5	8.82	34.3	4.05	12.6	189	9.75	6.36	15.0	279	3.74	
	珪 酸 ソーダ	26.2	0.5	7.13	40.4	5.13	12.0	139	11.6	7.96	14.9	211	5.84	
		28.1	0.5	7.89	38.9	5.02	12.7	133	12.6	8.22	15.9	204	6.36	
	塩 酸	24.0	0.5	6.38	23.4	3.44	9.72	185	10.3	6.74	12.9	246	5.21	
		26.1	0.5	7.74	25.3	3.27	10.8	178	11.2	6.68	14.2	235	4.61	
	無 処 理	24.9	0	7.43	28.6	4.11	11.3	162	10.5	6.39	14.0	262	3.96	
		27.8	0	8.45	27.0	4.41	12.6	150	11.4	7.46	15.7	250	4.18	
	No. 5	水酸化ナトリウム	25.6	0.5	6.75	25.4	3.02	9.70	175	11.3	4.81	11.4	245	6.65
			28.7	0.5	7.30	26.3	3.48	10.5	160	12.6	5.83	12.9	240	6.84
珪 酸 ソーダ		26.2	0.5	6.19	35.4	4.01	10.0	119	14.8	6.79	12.8	199	8.73	
		28.8	0.5	6.90	33.3	3.89	10.6	100	15.2	7.05	13.8	193	8.91	
塩 酸		24.4	0.5	5.31	20.1	2.53	7.74	158	13.5	5.54	10.7	241	8.07	
		26.9	0.5	7.61	20.0	2.62	10.1	142	14.3	5.73	13.2	235	7.97	
無 処 理		25.1	0	6.73	21.3	3.30	9.93	135	13.2	5.29	11.9	232	6.73	
		27.9	0	7.25	20.0	3.25	10.3	126	14.1	6.48	13.5	221	7.05	

ムを用いて適正添加量を求めるための試験を3.3.3で行った。

3.3.3 水酸化ナトリウム添加量の影響

表7に示すように、水酸化ナトリウムの添加量が多くなるほど硬度が大きくなる傾向が認められ、変形防止に効果が大きいことがわかった。吸水率は、水酸化ナトリウムの添加量が多くなるほど低下し、焼結が進む。特に、吸水率を低下させる効果が大きかったのは、水酸化ナトリウムの添加量が1.0%と0.5%の素地であった。ただし、添加量1.0%の素地は1200℃焼成したとき発泡が認めら

れた。なお、0.01%及び0.001%を添加した素地は無添加の素地に比べて吸水率の低下がほとんど認められなかった。以上より、水酸化ナトリウムを0.5%添加した場合が適正量である。

3.4 軽量化素地の選定

軽量化素地の代表としてNo.1, No.3, No.5, No.6及びNo.7を選び、それらの素地の物理的性質を測定し、瓦及び陶管の物理的性質と比較した結果を表8に示す。軽量化素地の品質目標値は瓦、陶管の諸物性値と同等以上で、軽量化率は瓦、陶管の単位面積当りの曲げ強さと同程度まで素地の曲げ強さを低下させた場合に、素地の厚さが薄くできる割合である。品質目標値に達した素地は以下のとおりである。

(1) No.1素地にシャモットを10%添加した素地

桜井粘土45%, 頁岩粘土20%, 珪砂廃土10%, 知多山土25%及びシャモット10% (外割, 以下外割を省略) を添加した素地である。軽量化率は瓦比35%, 陶管比21%である。例えば瓦の厚さを16mmとすれば10mmまで厚さを薄くすることができる。

表7 No.1素地の水酸化ナトリウム添加効果

添加量 (%)	硬 度 (2hr後)	吸 水 率 (%)			
		1050℃	1100℃	1150℃	1200℃
1.0	10.8	9.80	5.09	3.79	*2.64
0.5	10.5	10.4	5.43	4.68	1.89
0.1	9.6	11.9	5.86	5.33	2.51
0.01	9.5	12.5	7.62	5.61	2.51
0.001	9.5	12.8	7.68	5.72	2.55
無添加	9.5	12.6	7.69	5.72	2.55

* 発泡

表 8 軽量化素地の物理的性質

素 地 シャモット添加量(%)	No. 1		No. 3		No. 5	No. 6		No. 7	瓦	陶管
	0	10	0	5	0	0	10	0	—	—
乾燥曲げ強さ (kgf/cm ²)	35.1	33.4	30.1	29.5	25.4	34.3	32.5	23.9	20.2	18.2
焼成曲げ強さ (kgf/cm ²)	1050°C	218	209	198	195	187	203	195	173	133
	1100°C	281	270	226	260	240	278	263	241	171
	1150°C	303	299	288	281	255	301	298	259	226
	1200°C	373	358	341	325	321	365	354	321	248
全 収 縮 率 (%)	1050°C	11.9	10.8	10.9	10.3	10.4	12.1	11.0	9.85	11.8
	1100°C	12.5	11.3	12.2	11.8	11.2	12.7	11.5	11.7	12.4
	1150°C	13.8	12.5	13.5	12.9	11.6	14.0	12.8	13.2	13.8
	1200°C	15.0	13.8	14.8	14.1	14.0	15.3	14.0	14.0	14.8
吸 水 率 (%)	1050°C	8.53	8.91	11.0	11.3	11.1	9.01	9.55	13.1	12.8
	1100°C	6.23	6.79	8.11	8.51	7.45	7.00	7.58	7.78	8.25
	1150°C	3.47	4.01	5.02	5.32	6.23	3.62	4.18	6.61	6.23
	1200°C	0.51	1.00	1.34	1.75	2.83	0.83	1.15	2.43	0.95

(2) No. 3 素地にシャモットを5%添加した素地

桜井粘土25%, 頁岩粘土40%, 珪砂廃土10%, 知多山土25%及びシャモットを5%添加した素地で頁岩粘土の配合比率が多いのが特徴である。軽量化率は瓦比30%, 陶管比18%である。この素地は長石を多く含むため, 高温ではガラスの生成により荷重軟化が起り, 焼成変形が生じやすい。なお, 1050°C焼成素地は, 吸水率が11.3%あり, 凍害の発生危険率が高いため, 焼成温度は1100°C以上必要である。

(3) No. 5 素地

桜井粘土25%, 頁岩粘土10%, 珪砂廃土40%及び知多山土25%の素地で, 軽量化率は瓦比27%, 陶管比14%である。素地の配合は珪砂廃土と知多山土が多く特に廃土は40%利用可能である。なお1050°C焼成後の吸水率は11.1%で凍害の発生危険率が高いため, 焼成温度は1100°C以上必要である。

(4) No. 6 素地にシャモットを10%添加した素地

桜井粘土35%, 頁岩粘土20%, 珪砂廃土10%, 知多山土35%及びシャモットを10%添加した素地で, 知多山土の活用を目的とした素地である。軽量化率は瓦比33%, 陶管比20%である。

(5) No. 7 素地

桜井粘土20%, 頁岩粘土10%, 珪砂廃土35%及び知多山土35%の素地で珪砂廃土と知多山土をあわせると未利用資源の割合は70%で, 軽量化素地中未利用資源の割合が最も多いのが特徴である。桜井粘土が少なく珪砂廃土が多いため, 焼き締りが悪く, 焼成温度は1100°C以上必要である。軽量化率は瓦比26%, 陶管比13%で5種類の軽量化素地中最も小さい。

4. ま と め

原料として桜井粘土, 頁岩粘土, 珪砂廃土, 知多山土及びシャモットを用い, 水酸化ナトリウムを0.5%添加し, 坯土の硬度を8.0に調整した素地は, 従来の瓦, 陶管用素地よりも成形水分を3%少なくでき, 乾燥曲げ強さが5 kgf/cm², 焼成曲げ強さが20~40 kgf/cm²向上した。これらの素地の軽量化率は瓦比で26~35%, 陶管比で13~21%であった。また, 5種類の素地が実用可能であり, このうちNo.7素地は知多山土と珪砂廃土の未利用資源が70%まで利用可能である。