

非可塑性原料による炔器素地の品質向上

伊藤 政巳 光松 正人 山崎 達夫*¹
 榊原 満*² 田中 愛造*³

Study on Quality Improvement of Stoneware
 Bodies with Nonplastic Materials
 by

Masami ITO, Masato MITSUMATSU, Tatsuo YAMAZAKI
 Mitsuru SAKAKIBARA and Aizo TANAKA

粘土質原料の枯渇化対策の一環として、常滑地区で利用されている食卓・厨房用炔器素地について、長石質原料の化学組成、粒度構成、配合割合等の素地調整条件が、素地の機械的強度、焼成性状等に及ぼす影響について検討した。炔器粘土の一部を微粒化した長石に置換することにより、1000～1200kgf/cm²の素地が得られ、従来素地よりも強度が30～50%向上した。更に、アルミナ添加を併用することにより、1600kgf/cm²以上のものが得られ、より高強度化が図れた。朱泥系、半胴土系の開発素地は、焼成温度を50℃位低下させても、従来素地と同程度以上の機械的強度が得られるので、低火度焼成が可能になり、省エネルギー効果が期待できる。

1. まえがき

常滑地区の陶磁器業界では、タイル、陶管等の建材品を主力に、植木鉢、飲食器、花器等を生産している。これらの製品は、当地区や近県から産出する炔器系の粘土質原料を主原料として製造され、その使用量は年間40万トンと膨大な量に達している。

ところが、近年地域開発による採掘場所の減少、焼結性の良好な原料粘土の枯渇化および品質低下が著しく、原料の安定確保は重要な課題である。このため、今後は低温での焼結を促進する効果をもつ長石質原料を多量に使用せざるを得なくなってくるものと推測される。また、朱泥茶器に代表される食卓・厨房用品は、衝撃に弱く、欠けやすいため、高強度化が望まれている。一方、外装・床タイル等の建材品では、機械的強度、寸法精度等を向上させることにより、肉厚を薄くし、軽量化を図ることが技術的課題となっている。

本研究では、このような背景をもとに、粘土質原料の枯渇化対策の一環として、当地区で利用されている食卓・厨房用炔器素地について、長石質

原料の化学組成、粒度構成、配合割合等の調整条件を検討し、機械的強度、寸法精度等の向上を図ると共に低火度焼成化を目標とした。

2. 実験方法

2.1 使用原料

粘土質原料7種類と長石質原料3種類を使用した。その化学分析値と示性分析値を表1に、鉱物組成、粒度分布、耐火度及び原料単味の焼成性状試験の結果を表2に示す。

2.2 素地調合及び物性試験

当地区で用いられている代表的な食卓・厨房用素地である半胴土系及び朱泥系の素地について、各種の長石粉を配合した素地調合試験を実施し、市販素地と比較した。また、より高強度化を図るために、アルミナ粉末の添加も併せて検討した。試験体は、各調合原料に所定の水分量（半胴土系は約40%、朱泥系は約48%）と、解膠剤として水ガラス0.3%と必要に応じて少量の有機分散剤（イソバンAB64）を添加し、ポットミルにて約20時間混合粉碎して泥しょうを調整し、成形体寸法が

*1 商工部工業振興課、*2 工業技術センター、*3 瀬戸窯業技術センター

表 1 使用原料の化学分析値及び示性分析値

原料名	化 学 分 析 値 (%)									示性分析値(%)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss	粘土	長石	珪石
富貴青粘土	66.9	17.0	4.25	0.84	0.52	0.92	1.76	2.91	4.92	25.5	34.4	32.6
富貴赤粘土	66.6	18.1	4.08	0.76	0.41	0.75	1.42	2.67	5.15	31.0	29.6	32.9
陣屋黄土	61.3	18.4	8.86	0.91	0.09	0.78	0.83	2.45	6.41	36.1	21.9	30.1
悦洞4号粘土	66.9	21.0	1.66	0.79	0.16	0.61	0.46	1.61	6.80	46.2	14.0	36.4
高田粘土	76.1	14.4	1.06	0.75	0.07	0.28	0.90	1.41	4.96	28.6	16.5	51.8
小名田木節粘土	72.1	18.8	0.64	0.88	0.11	0.43	0.31	0.73	6.02	43.7	7.6	46.7
本山木節粘土	55.1	26.4	0.85	0.64	0.10	0.24	0.52	1.20	14.9	60.9	12.0	18.9
三河長石	75.7	13.6	0.27	0.06	0.94	0.05	2.45	6.40	0.31	—	63.6	34.7
大平長石	68.8	17.3	0.07	0.01	0.83	0.01	3.45	9.04	0.28	—	87.0	12.2
大平ソーダ長石	69.1	17.2	0.04	0.01	0.71	0.01	6.31	5.01	0.30	—	92.3	7.6

表 2 使用原料の基礎性状

原料名	鉱物組成(X線回折)					粒度分布 (μm)				耐火度 (SK)	焼結 温度 (°C)	収縮率 (%)	吸水率 (%)	外観色	
	K	M _o	Q	F	M	0~5	5~44	44~	平均 粒子径					乾燥時	焼結後
富貴青粘土	○	○	○	○	○	43.8	52.5	3.7	5.9	11	1150	8.7	0.08	青緑色	赤褐色
富貴赤粘土	○	△	○	△	○	38.5	51.0	10.5	6.8	12	1200	10.5	0.82	赤茶色	〃
陣屋黄土	○	—	○	△	○	58.3	37.5	4.2	3.9	15	1200	13.4	0.09	黄土色	〃
悦洞4号粘土	◎	△	○	△	○	56.4	36.5	7.1	3.9	27	1200	11.1	0.72	灰 色	淡黄色
高田粘土	◎	—	◎	○	○	37.5	39.4	23.1	9.0	29	1300	7.0	2.19	〃	〃
小名田木節粘土	◎	○	◎	—	△	44.9	41.4	13.7	6.1	29	1300	5.2	5.70	〃	灰白色
本山木節粘土	◎	—	◎	△	△	40.0	50.0	10.0	7.8	33	1300	13.0	5.30	薄褐色	灰白色
三河長石(石粉)	—	—	○	◎	—	13.9	80.4	5.7	14.9	6a ⁺	1200	13.8	0.06	淡黄色	淡黄色
大平長石	—	—	○	◎	—	7.8	40.5	51.7	46.0	6a	1200	9.8	0.06	白 色	白 色
大平ソーダ長石*	—	—	△	◎	—	49.4	44.3	6.3	5.0	4a ⁺	1150	11.5	0.04	〃	〃

K : カオリナイト鉱物 M_o : モンモリロナイト Q : α-石英 F : 長石 M : 雲母鉱物

◎ : 多い ○ : 普通 △ : 少ない — : なし

* : 振動ミル粉碎物

直径10mm, 長さ75mmの石膏型を用いて, 棒状試料を鑄込成形した。この試験体を電気炉を用いて, 1050～1250℃の所定温度で1時間保持して焼成し, 収縮率, 吸水率, かさ比重などを測定した。曲げ強さはスパン5cmで, 3点曲げ試験法により測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 半胴土系調合試験

粘土質原料を多用した市販半胴土に近い調合系で, 三河長石の配合量を20～40%まで変化させた素地調合試験の結果を表3に示す。

乾燥収縮率は長石の配合量が増えると低下する傾向にある。市販素地Hが6%と大きいのは, 粘土質の原料が多いため, 泥しょう性状が悪く, 水

分量を50%近くも要したことに起因していると思われる。このことから, 長石分の増加は泥しょう水分量を低下させ, 乾燥収縮の低減に効果がある。

いずれの調合でも, 焼成収縮, かさ比重とも1200℃焼成で最大になり, 吸水率も0.1%以下で磁器化が進行している。

曲げ強さはいずれの素地も1200℃焼成で最大になり, 1150～1200℃で焼成される市販のH素地が800kgf/cm²であるのに対し, 1200kgf/cm²前後の曲げ強さを有し, 50%の強度アップが可能になった。

次に, H3素地について, 長石の粒度を変えた場合の素地調合試験結果を表4に示す。なお, 長石の粒度は, 出発粒度とポットミル混合時間を変化させて調整した。

表3 半胴土系素地調合試験結果

調 合 記 号		H1	H2	H3	H
調 合 割 合 (%)	小名田木節粘土	20	20	20	市
	悦洞粘土	20	20	20	販
	高田粘土	20	20	20	素
	富貴青粘土	20	10	—	地
	三河長石	20	30	40	
乾燥収縮率 (%)		2.85	2.38	1.79	6.03
焼 成 収 縮 率 (%)	1050℃	2.63	2.41	1.90	2.85
	1100	4.86	5.10	4.68	5.07
	1150	7.62	7.51	7.27	6.95
	1200	8.68	8.77	8.79	8.11
	1250	6.78	6.71	7.00	5.46
吸 水 率 (%)	1050℃	13.6	13.7	13.5	13.3
	1100	8.71	8.21	7.69	8.09
	1150	1.90	2.12	0.78	2.96
	1200	0.03	0.06	0.03	0.04
	1250	0.13	0.02	0.02	0.83
か さ 比 重	1050℃	1.88	1.86	1.85	1.88
	1100	2.03	2.03	2.04	2.03
	1150	2.27	2.26	2.26	2.22
	1200	2.39	2.38	2.39	2.31
	1250	2.00	2.12	2.21	1.97
曲 げ 強 さ (kgf/cm ²)	1050℃	448	407	410	431
	1100	742	622	743	517
	1150	931	896	940	649
	1200	1240	1140	1220	804
	1250	678	870	1060	442

表4 長石の粒度を変えた場合の半胴土系素地調合試験結果

調 合 記 号		H3C	H3	H3F
長石の平均粒子径(μm)		15	15	5
〔ポット混合時間(h)〕		〔4〕	〔20〕	〔20〕
粒 度 分 布	10%粒子径(μm)	1.41	1.24	0.98
	50	7.31	6.30	4.61
	90	23.8	22.6	14.9
乾燥収縮率 (%)		1.72	1.79	2.35
焼 成 収 縮 率 (%)	1050℃	2.02	1.90	3.75
	1100	5.21	4.68	7.27
	1150	7.80	7.27	8.79
	1200	8.45	8.79	8.39
	1250	6.53	7.00	6.15
吸 水 率 (%)	1050℃	13.9	13.5	11.0
	1100	6.81	7.69	2.84
	1150	0.09	0.78	0.04
	1200	0.04	0.03	0.04
	1250	0.03	0.02	0.01
か さ 比 重	1050℃	1.90	1.85	1.99
	1100	2.12	2.04	2.27
	1150	2.36	2.26	2.42
	1200	2.41	2.39	2.40
	1250	2.20	2.21	2.09
曲 げ 強 さ (kgf/cm ²)	1050℃	327	410	677
	1100	669	743	1020
	1150	899	940	1230
	1200	1050	1220	1190
	1250	803	1060	830

粗粒系のH3C素地では、強度が約10%低下している。微粒系のH3F素地では1100℃焼成の低温で吸水率が3%を切り、曲げ強さも1000kgf/cm²を超え、1150℃焼成では吸水率が、0.1%以下になり、強度も1230kgf/cm²を示し、長石の微粒化による低温焼結効果が顕著である。

3.2 朱泥系調合試験

妬器粘土を主原料にした朱泥系の調合素地で、三河長石の配合量を0~40%まで変化させた素地調合試験の結果を表5に示す。

乾燥収縮率が半胴土の調合系に比べ大きくなっているのは、泥しょう水分量が48%前後必要であったことと、粘土分が多いためと考えられる。傾向としては、長石分の増加に伴い、小さい値を示しており、長石の配合は、乾燥収縮の低下に役立つ。

表5 朱泥系素地調合試験結果

調	合 記 号	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	R
調 合 割 合 (%)	本山木節粘土	20	20	20	20	20	市 販 素 地
	陣屋粘土	30	30	30	30	20	
	富貴赤粘土	20	20	20	20	20	
	富貴青粘土	30	20	10	—	—	
	三河長石	—	10	20	30	40	
	弁 柄	1	1	1	1	1	
乾燥収縮率（％）		7.02	6.36	5.70	3.97	4.90	7.55
焼 成 収 縮 率 (%)	1050 ℃	6.18	6.00	5.77	4.05	5.06	5.28
	1100	8.55	8.75	8.63	7.34	8.05	7.87
	1150	9.32	10.1	10.0	9.82	10.0	8.54
	1200	9.82	9.87	9.81	9.45	9.59	8.23
	1250	6.97	7.49	7.35	5.64	7.19	4.85
吸 水 率 (%)	1050 ℃	9.20	9.91	9.76	11.7	9.66	8.26
	1100	3.91	3.55	3.27	4.47	3.64	2.80
	1150	0.07	0.05	0.14	0.06	0.06	0.22
	1200	0.05	0.07	0.05	0.04	0.06	0.28
	1250	0.08	0.06	0.07	0.05	0.03	4.41
か さ 比 重	1050 ℃	2.04	2.03	2.03	1.95	2.01	2.03
	1100	2.22	2.24	2.26	2.21	2.25	2.24
	1150	2.34	2.38	2.42	2.43	2.40	2.31
	1200	2.32	2.35	2.38	2.37	2.40	2.28
	1250	1.99	2.04	2.04	1.94	2.05	2.00
曲 げ 強 さ (kgf/cm ²)	1050 ℃	589	660	672	484	615	545
	1100	697	988	1020	753	843	682
	1150	981	1180	1250	1140	1170	798
	1200	1080	1200	1240	1110	1060	802
	1250	647	852	831	587	792	353

焼成収縮、かさ比重は共に1150℃焼成で最高になり、ほとんど吸水性を有しない緻密な焼結体になる。1250℃焼成では、いずれの調合素地も急激にかさ比重が低下し、収縮も逆に小さくなり、完全な過焼状態になる。

曲げ強さは、長石を配合することにより、いずれも1150℃焼成で1100kgf/cm²を超える強度を有する素地が得られる。これに対し、1120~1150℃で焼成される市販のR素地は、800kgf/cm²で、かなり低い値を示した。この原因を検討するために、市販素地の粒度分布を調べたところ、50%粒径は6μm前後で他の素地と同様であるのに対し、90%粒径が28μmと大きいことから、粗粒の石英粒子が残留して強度低下したものと思われる。

表6 長石の粒度を変えた場合の
朱泥の系素地調合試験結果

調 合 記 号		A 3 C	A 3	A 3 F
長石の平均粒子径(μm)		15	15	5
〔ポット混合時間(h)〕		〔 4〕	〔20〕	〔20〕
粒度 分布	10%粒子径(μm)	1.09	1.01	0.97
	50	5.41	5.18	4.8
	90	18.1	16.6	14.6
乾燥収縮率(%)		5.03	5.70	5.50
焼 成 収 縮 率 (%)	1050℃	6.01	5.77	7.22
	1100	8.34	8.63	9.71
	1150	10.7	10.0	10.2
	1200	8.72	9.81	9.30
	1250	6.86	7.35	7.29
吸 水 率 (%)	1050℃	8.12	9.76	6.11
	1100	3.56	3.27	0.07
	1150	0.17	0.14	0.07
	1200	0.03	0.05	0.15
	1250	0.09	0.07	0.54
か さ 比 重	1050℃	2.08	2.03	2.16
	1100	2.27	2.26	2.35
	1150	2.38	2.42	2.41
	1200	2.32	2.38	2.32
	1250	2.06	2.04	2.04
曲 げ 強 さ (Kgf/cm ²)	1050℃	616	672	703
	1100	826	1020	1050
	1150	1060	1250	1090
	1200	1000	1240	1020
	1250	688	831	768

次に、強度面が良好であったA3素地について、長石の粒度を変えた場合の結果を表6に示す。

いずれの素地も1150℃焼成で最大の強度を示しているが、中間の粒度分布を有するA3素地が最も強く、1250kgf/cm²である。なお、長石を微粒化したA3F素地は、1100℃焼成でも吸水率が0.1%以下になり、強度も1050kgf/cm²のものが得られる。

3.3 アルミナ添加試験

三河長石を配合することにより、市販素地よりもかなり強度の優れたものが得られたが、より高強度化を図るため、半胴土系素地H5及び朱泥系素地A3について、カリ分に富んだ大平長石、ソーダ分の多い大平ソーダ長石及び微粒アルミナ（住友化学工業製AM-21、平均粒子径5.2μm）を配合した素地調合試験を実施した結果を表7、8に示す。なお、アルミナの種類による影響を知るために、易焼結性アルミナ（昭和軽金属製AL-170、平均粒子径2.6μm）を用いた試験も一部併せて実施した。

半胴土系では、焼成収縮率がアルミナを添加しない調合に比べ、大きくなっている。これはアルミナの添加により粒度分布がより微細になるためと考えられる。曲げ強さは微粒アルミナを20%配合することにより、いずれも1200℃焼成で最高強度を示し、なかでもH5素地は1820kgf/cm²という高強度のものが得られる。易焼結性アルミナでは、1150℃という低温でも1730kgf/cm²のものが得られる。これは、易焼結性アルミナの方がより微粒子で、焼結性に優れていることに起因すると考えられる。

H5素地と同一調合において、長石の種類を変えたH5N、H5K素地では、より低温の1150℃焼成で1600kgf/cm²前後の曲げ強さを示した。これは、三河長石に比べ、大平ソーダ長石、大平長石の方が、耐火度がSK4+〜5aと低く、焼結促進効果が大きいことに起因している。

表7 アルミナを添加した半胴土系素地調合試験結果

調 合 番 号		H 5	H 5 N	H 5 K	H 6	H 7	H 5 E
調 合 割 合 (%)	小名田木節粘土	20	20	20	20	20	20
	悦洞粘土	20	20	20	20	20	20
	富貴青粘土	20	20	20	20	20	20
	三河長石	20	—	—	—	—	20
	大平ソーダ長石	—	20	—	—	—	—
	大平長石	—	—	20	20	20	—
乾 燥 収 縮 率 (%)	微粒アルミナ	20	20	20	30	40	—
	易焼結性アルミナ	—	—	—	—	—	20
焼 成 収 縮 率 (%)	1050℃	1.89	3.82	4.23	2.80	2.40	2.11
	1100	4.89	7.52	8.05	6.64	5.43	5.84
	1150	8.28	9.63	9.94	9.65	8.29	9.21
	1200	9.93	9.56	8.14	10.0	9.60	9.46
	1250	9.17	8.97	7.58	8.92	9.24	8.34
吸 水 率 (%)	1050℃	15.9	10.8	11.6	13.0	13.0	14.5
	1100	9.61	4.23	3.44	5.58	7.28	6.91
	1150	2.07	0.04	0.04	0.07	0.44	0.21
	1200	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.08
	1250	0.07	1.53	0.24	0.04	0.05	0.05
か さ 比 重	1050℃	1.94	2.07	2.08	2.07	2.08	1.99
	1100	2.15	2.38	2.40	2.35	2.32	2.28
	1150	2.44	2.60	2.61	2.63	2.60	2.57
	1200	2.60	2.58	2.60	2.68	2.74	2.62
	1250	2.53	2.20	2.27	2.55	2.69	2.48
曲 げ 強 さ (Kgf/cm ²)	1050℃	495	615	753	603	618	582
	1100	986	1060	1110	808	965	1200
	1150	1390	1600	1580	1540	1520	1730
	1200	1820	1600	1620	1710	1840	1780
	1250	1610	949	1220	1260	1640	1381

H5K素地において、アルミナの配合量を増加させた素地は、曲げ強さも向上し、H7の1200℃焼成で1840kgf/cm²という最高強度を示した。

朱泥系のアルミナ添加素地も同様の傾向を示し、焼成収縮は素地の粒度分布が細くなるので若干大きくなっている。

曲げ強さは、微粒アルミナを20%配合したA6系素地では、無添加の素地より高めの1200℃焼成で最高強度を示し、その強度は1500kgf/cm²前後である。易焼結性のアルミナでは、1200℃で焼成したものが1670kgf/cm²の強度を有し、微粒アルミナよりも強いものが得られる。

A6素地と同一調合において、長石の種類を変えたA6N、A6K素地では、大平ソーダ長石の方がいずれの焼成温度においても曲げ強さが大きくなった。

A 6 K素地において、アルミナの配合量を増加させた素地は、確実に曲げ強さもアップし、A 8素地は1200℃焼成で1770kgf/cm²、1250℃で1810kgf/cm²という最高強度を示した。

これらのことから、アルミナの添加は半胴土系、朱泥系素地のいずれにおいても、高強度化を図る方法として非常に有効であることが判明した。

4. まとめ

粘土質原料の枯渇化対策の一環として、常滑地区で利用されている妬器素地について、長石質原料の化学組成、粒度構成、配合割合等の素地調整条件が、素地の機械的強度、焼成性状等に及ぼす影響について検討した結果、次のことが判明した。

- (1) 妬器素地中の長石分の増加は、従来素地に比べて少ない水分量で泥しょうを調整でき、乾燥収縮の低減に効果がある。
- (2) 妬器粘土の一部を微粒化した長石に置換することにより、曲げ強さが1000～1200kgf/cm²の素地が得られ、従来素地よりも強度が30～50%向上した。更に、アルミナ添加を併用することにより、1600kgf/cm²以上のものが得られ、より高強度化が図れ、強化妬器素地として活用できる。
- (3) 三河長石を配合した素地は、朱泥系、半胴土系共、焼成温度を50℃位低下させても、従来素地と同程度以上の機械的強度が得られるので、低火度焼成が可能になり、省エネルギー効果が期待できる。

表 8 アルミナを添加した朱泥系素地調合試験結果

調 合 番 号		A 6	A 6 N	A 6 K	A 7	A 8	A 6 E
調 合 割 合 (%)	本山木節粘土	20	20	20	20	20	20
	陣屋粘土	20	20	20	20	20	20
	富貴赤粘土	20	20	20	20	20	20
	三河長石	20	—	—	—	—	20
	大平ソーダ長石	—	20	—	—	—	—
	大平長石	—	—	20	20	20	—
	微粒アルミナ	20	20	20	30	40	—
	易焼結性アルミナ	—	—	—	—	—	20
弁 柄		1	1	1	1	1	1
乾 燥 収 縮 率 (%)		4.04	4.04	3.84	3.71	3.44	4.25
焼 成 収 縮 率 (%)	1050℃	4.09	5.65	5.45	4.52	3.48	3.62
	1100	5.36	8.17	8.46	7.65	6.40	6.82
	1150	8.03	9.96	10.6	10.0	10.1	9.59
	1200	9.60	9.86	10.5	10.4	10.4	9.94
	1250	9.24	7.64	8.11	8.68	8.49	7.84
吸 水 率 (%)	1050℃	15.0	9.10	10.4	10.6	12.4	11.7
	1100	9.42	3.90	4.24	4.97	7.12	6.03
	1150	3.19	0.12	0.05	0.07	0.18	0.12
	1200	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.08
	1250	0.05	2.47	2.91	3.33	0.06	0.52
か さ 比 重	1050℃	1.99	2.17	2.14	2.16	2.14	2.09
	1100	2.19	2.42	2.42	2.41	2.36	2.32
	1150	2.43	2.61	2.60	2.65	2.64	2.60
	1200	2.58	2.58	2.60	2.70	2.73	2.63
	1250	2.55	2.23	2.25	2.55	2.71	2.41
曲 げ 強 さ (Kgf/cm ²)	1050℃	484	747	517	694	587	629
	1100	793	1100	1060	977	943	992
	1150	1110	1480	1390	1510	1410	1490
	1200	1530	1560	1520	1600	1770	1670
	1250	1480	945	922	1430	1810	1400