

軽量素地の研究

松下福三^{*1} 中尾俊章^{*2} 今西千恵子^{*1}

Study on Light Weight Body

Fukuzo MATSUSHITA, Toshiaki NAKAO and Chieko IMANISHI

Tokoname Ceramic Research, Center, AITEC^{*1}

Research and Development Division, AITEC^{*2}

気孔形成材(可燃物質粉末)の焼失部分を気孔として残して素地の軽量化を図る方法により、常滑焼坏土をベースとする軽量素地の開発を行った。その結果、活性炭添加による、型起し・ろくろ・押出成形等の練土成形が可能な軽量素地を得た。活性炭(細粒)12%添加では陶器なみの曲げ強度を有するかさ比重1.5の軽量素地が得られ、成形可能な最大添加量20%では、かさ比重1.2の軽量素地が得られた。また、活性炭添加量の少ない活性炭(細粒)5%・上水発生土25%添加及び活性炭(細粒)5%・亜炭粉末25%添加により、活性炭(細粒)12%添加素地とほぼ同等な軽量素地を得た。

1. はじめに

最近、陶磁器の高付加価値化へのとりくみの中で、素地そのものを軽くした軽量化製品の開発が求められている。そこで、常滑焼産地における軽量化製品の開発を支援するため、既存の成形・焼成技術や設備がそのまま使える軽量化技術として、気孔形成材(可燃物質粉末)を坏土に添加して成形し、焼成によりその粒子を焼失させ、その焼失部分を気孔として残して素地そのものの軽量化を図る方法を取りあげ、常滑焼坏土をベースとする軽量素地の開発を図った。

2. 実験方法

2.1 使用原料

ベース坏土として、新とこなめ焼食器素地・開発素地土リ(とこなめ焼協同組合製)を使用した。

気孔形成材として、リン状黒鉛(三河鉛産製 特級 150 μm 以下)、特殊石炭粉(旭コークス製 シーコール 8 75 μm 以下 80%)、コークス(旭コークス製 カーボネット微粉 200 μm 以下)、粉末活性炭(武田薬品工業製 白鷺 C - 1 75 μm 以下 90%以上以下、活性炭(微粒)とする)及び粒状活性炭、粒度別 2 種類(武田薬品工業製

粒状白鷺 WH2C 150 ~ 425 μm :以下、活性炭(細粒)とする。300 ~ 850 μm :以下、活性炭(粗粒)とする)を使用した。また、その他に上水発生土(浄水場発生土 粉末活性炭の他、石英、長石を含有し、強熱減量 49%)及び亜炭粉末(山中製土製 N フミン P 1.5mm 以下 亜炭の他、石英、粘土を含有し、強熱減量 45%)を使用した。

2.2 製土方法

ベース坏土(乾量基準含水率 33%)に気孔形成材を質量比で内割添加した後、加水しながら混練し、NGK 硬度 7 程度に調製した。

2.3 焼成条件

焼成条件は、電気炉により、昇温速度 60 /h、焼成温度 1200 (メジャーリング)とした。また、焼成雰囲気は酸化焼成(OF)と還元焼成(RF)で行い、RFは 1000 から CO 濃度 5%雰囲気(中還元)を最高温度保持終了まで継続した。

2.4 特性評価

軽量化の指標としたかさ比重は、煮沸法により吸水させ、アルキメデス法により測定した。見かけ比重も同様である。

曲げ強度試験は 3 点曲げで行い、試験体寸法 W30 \times H 13 \times L 100 mm、スパン 80 mm、クロスヘッドスピード 0.5 mm/min で行ったが、曲げ強度に対する熔化粧土の効

果を調べる実験の試験体寸法はW20×H5×L100 mmとした。なお、試験体は押出成形体であり、収縮率も同じ試験体を使用した

3. 実験結果及び考察

3.1 気孔形成材の添加量と成形性及びかさ比重

リン状黒鉛、特殊石炭粉、コークス、活性炭（細粒）、上水発生土及び亜炭粉末を選択し、各気孔形成材を10%、20%、30%添加した各坯土について、型起しによる成形試験を行った。その結果、選択した気孔形成材すべて、30%までの添加範囲で型起しが可能であったが、活性炭（細粒）と上水発生土についてのみ、各30%添加した練土坯土の可塑性に不足感があり、成形性はやや悪いという官能評価であった。

型起し成形体について、かさ比重（OF）の評価を行った。各種気孔形成材について、その添加量とかさ比重の関係を図1に示す。選択した気孔形成材すべて、添加量の増加とともに、かさ比重が低下し、軽量化に効果があった。添加量20%におけるかさ比重は、上水発生土 亜炭粉末 > リン状黒鉛 > コークス 特殊石炭粉 > 活性炭（細粒）であり、軽量化に対する添加効果は活性炭（細粒）が最も高い。これは、活性炭粒子の見かけ密度が最小であったためと考えられる。また、これらのグラフは、素地のかさ比重が気孔形成材の添加量により制御できることを示している。

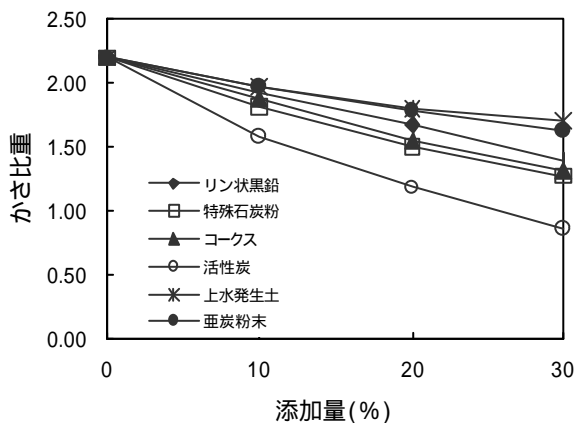


図1 気孔形成材の添加量と焼成かさ比重

3.2 気孔形成材の焼失性の比較

前項の型起し成形体（OF）の外観を観察した結果、リン状黒鉛の添加20%、30%とコークスの添加20%、30%に、焼成時に棚板に接した裏面に、添加した気孔形成材の燃え残りの痕跡（円形状の黒茶色部分）が認められた。そのため、リン状黒鉛、特殊石炭粉、コークス及び活性炭（細粒）の各添加系について、陶磁器の電気炉

による一般的な素焼条件である、昇温速度 60 / h、最高温度 800 の条件で加熱し、加熱後の質量減少率を求め、焼失性を評価した。その結果を図2に示す。質量減少率はすべて、添加量にほぼ比例して増加しているものの、そのグラフの傾きは活性炭（細粒）> 特殊石炭粉 > コークス > リン状黒鉛である。活性炭（細粒）の焼失性が最も良好である。リン状黒鉛やコークスは燃え残りやすい気孔形成材であり、一般的な実用条件における気孔形成材としては適していない。なお、質量減少率による焼失性の評価結果は、型起し成形体（OF）の外観観察結果を裏付けるものとなった。

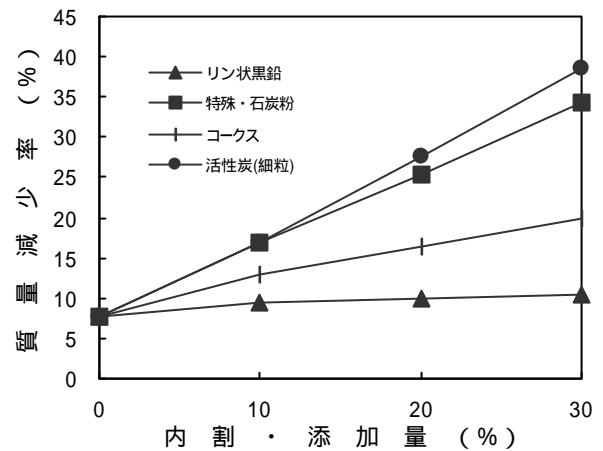


図2 気孔形成材の焼失性

3.3 活性炭を添加した軽量素地

3.3.1 成形性の評価

活性炭が、軽量化に対する添加効果が最も高く、焼失性も最も良好であったことから、活性炭に限定して実験を行うこととし、成形性の実用評価を添加量20%まで行った。各添加系の練土について、NGK硬度7程度に調製し、型起し・ろくろ及び押出成形が可能かどうかの確認を行った。その結果、すべての成形法において成形可能であることが確認できた。また、焼成までのその他の工



写真1 型起し成形体



写真2 口口成形体

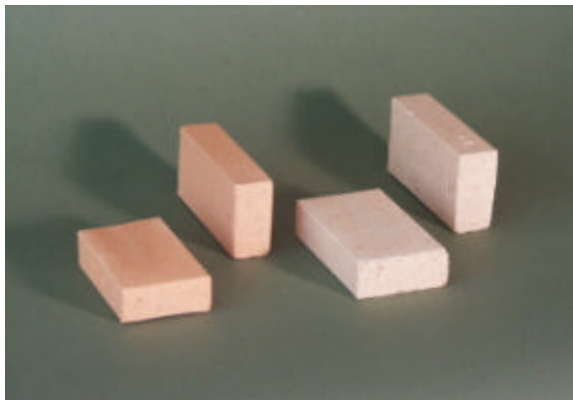


写真3 押出成形体

を与えてくれるものであり、傾きが緩く、小さいほど、被覆水の部分が大きいことをあらわす。この傾きを実用面から単純に評価すれば、傾きが小さいほど、扱い易い練土といえる。各添加系の傾きをベース坯土と比較してみると、粗粒添加20%と微粒添加系はベース坯土とほぼ同じ傾きであり、粗粒添加10%と細粒添加系はベース坯土より大きい。傾きが大きいことは、含水率の変化に対して、より敏感に硬さが変化することを示している。

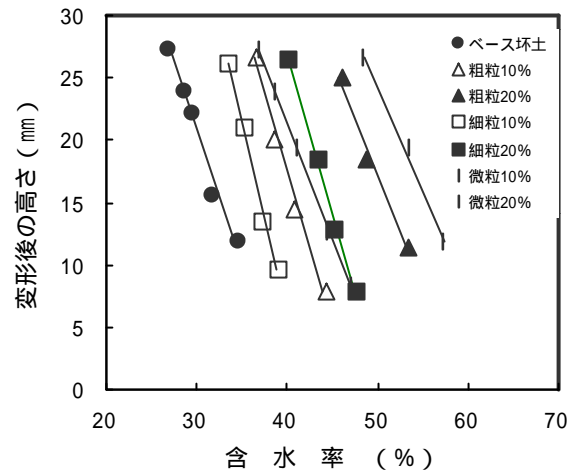


図3 ペッファーコルンによる圧縮曲線 (活性炭・粒度別)

程においても問題はなかった。各成形体（焼成体）を写真1~3に示す。

成形性の参考評価として、粒度別にペッファーコルンによる圧縮曲線を求めた。その結果を図3に示す。グラフの傾き（絶対値）はその練土の結合力についての情報

3.3.2 活性炭の粒度と焼成物性

前項の成形性の評価における押出成形体について、乾燥及び焼成物性等を測定した。その結果を表1に示し、表中のかさ比重と曲げ強度の関係を図4にプロットした。

表1 粒度別・活性炭添加素地の諸物性

物 性	ベース坯土	活性炭（粗粒）		活性炭（細粒）		活性炭（微粒）		
		10%	20%	10%	20%	10%	20%	
成形含水率（%）	31	39	48	35	40	42	54	
乾燥収縮率（%）	7.0	4.6	3.6	4.4	3.2	5.6	4.7	
焼成収縮率（%）	RF	7.9	8.4	9.4	7.9	8.8	11.1	17.2
	OF	7.2	7.8	8.6	7.3	7.9	9.4	13.6
全収縮率（%）	RF	14.4	12.5	12.6	12.0	11.7	16.1	21.0
	OF	13.7	12.0	11.9	11.4	10.9	14.5	17.7
かさ比重	RF	2.21	1.56	1.20	1.61	1.23	1.86	1.74
	OF	2.14	1.51	1.14	1.56	1.18	1.69	1.46
見かけ比重	RF	2.28	2.44	2.46	2.39	2.46	2.29	2.37
	OF	2.36	2.51	2.53	2.42	2.50	2.38	2.46
曲げ強度（MPa）	RF	44.1	11.2	4.7	17.8	9.5	34.1	29.6
	OF	44.4	9.4	3.5	15.3	6.9	29.8	21.8

表 1 から、乾燥収縮は活性炭の添加により小さくなるが、焼成収縮は逆に大きくなり、特に微粒・活性炭の増加傾向は著しい。かさ比重を同じ添加量で比較してみると、その値はともに粗粒<細粒<微粒であり、同じ添加量で見ればより粗い活性炭の選択が軽量化には効果的である。また、RFとOFのかさ比重をみても、常にRFのほうが大きく、その差は微粒が最も大きく、粗粒と細粒はほぼ等しく小さい。このことは、ある一定の粒度（ここでは75 μ m）以下の気孔形成材では、焼成までの過程でその焼失により形成された気孔が高温時の焼結により消滅していくことを示していると考えられる。図 4 で、かさ比重を曲げ強度との関係からみても、かさ比重の低下とともに曲げ強度は低下し、その傾き（絶対値）は粗粒>細粒>微粒で、粗粒が最も大きい。このことから、より軽くて、より強い素地を得るためには、より細かい粒度の活性炭の選択が有効といえる。また、ここで軽量素地の目標として、ベース坯土に対して30%の

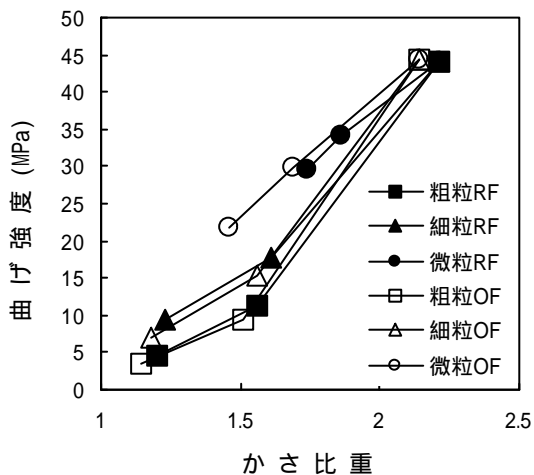


図4 活性炭添加素地のかさ比重と曲げ強度

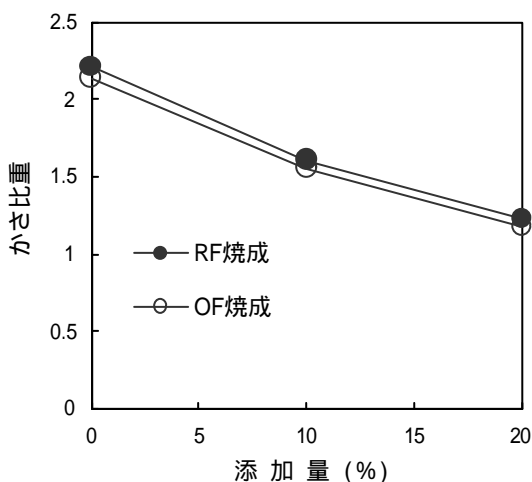


図5 活性炭(細粒)添加量とかさ比重

軽量化（かさ比重 1.5）と陶器なみの曲げ強度（15～20MPa）を設定してみると、両方の目標値に最も近いグラフは活性炭（細粒）添加系であり、このグラフのかさ比重 1.5 における曲げ強度はOFでは目標より若干低いが、RFでは目標を満たしている。図 5 の活性炭（細粒）添加量とかさ比重の関係から、かさ比重が 1.5 となる活性炭（細粒）添加量を読み取ると、約 12%となり、活性炭（細粒）添加量 12%で目標の軽量素地が得られる。

3.4 活性炭と他種気孔形成材を添加した軽量素地

3.4.1 成形性の評価

活性炭（細粒）12%添加で目標の軽量素地が得られたが、活性炭（細粒）と他種気孔形成材の2種類添加系で、活性炭（細粒）の添加量を減らし、活性炭（細粒）12%添加素地と同等の軽量素地を得るための実験を行うこととした。他種気孔形成材は、実験から成形性・焼失性に問題がなく、活性炭よりは劣るものの軽量化効果があった上水発生土及び亜炭粉末を選択した。成形可能な気孔形成材の最大添加量は30%と考え、活性炭（細粒）と他種気孔形成材の含量は30%に設定した。

予備実験の結果から、活性炭（細粒）5%・上水発生土25%添加（以下、A素地）及び活性炭（細粒）5%・亜炭粉末25%添加（以下、B素地）の配合を選択し、活性炭（単独）添加素地と同様な成形性の実用評価を行った。その結果、ともに型起し・ろくろ及び押出成形が可能であった。また、焼成までのその他の工程においても問題はなかった。

成形性の参考評価として、ペッファーコルンによる圧縮曲線を求めた。その結果を図 6 に示す。各グラフの傾きをベース坯土と比較してみると、A素地はベース坯土とほぼ同じ傾きであるが、B素地はベース坯土より大き

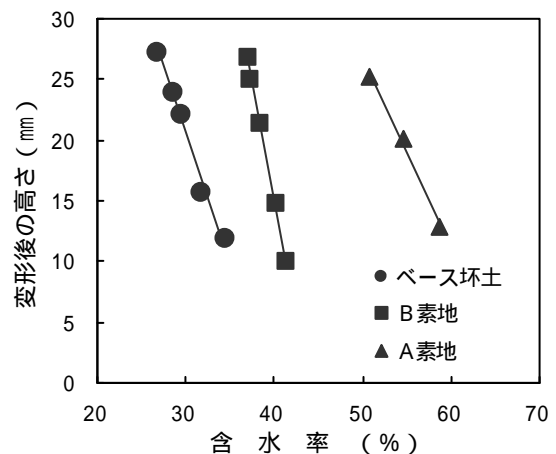


図6 ペッファーコルンによる圧縮曲線

く、含水率の変化に対して、より敏感に硬さ（変形後の高さ）が変化する。

3.4.2 焼成物性

前項の成形性の評価における押出成形体について、乾燥及び焼成物性等を測定した。その結果を表2に示す。

A素地は、OFで軽量素地の目標値を満たし、B素地では、RFでその目標値を満たした。

表2 活性炭と他種気孔形成材を添加した素地の諸物性

物 性	活性炭（細粒）5% 上水発生 ± 25% 添加（A素地）		活性炭（細粒）5% 亜炭粉末 25% 添加（B素地）	
成形含水率（%）		54		39
乾燥収縮率（%）		8.1		5.2
焼成収縮率（%）	RF	13.6		9.6
	OF	11.0		8.2
全収縮率（%）	RF	20.6		14.2
	OF	18.2		13.0
かさ比重	RF	1.68		1.59
	OF	1.50		1.51
見かけ比重	RF	2.36		2.32
	OF	2.45		2.40
曲げ強度（MPa）	RF	21.0		15.6
	OF	15.1		12.9

3.5 熔化化粧土の止水及び強度効果

得られた軽量素地の内部気孔は、表1、表2に示した、かさ比重と見かけ比重から判るとおり、その差が大きく、大部分が開気孔である。軽量素地の用途によっては、例えば、食器素地として用いる場合では、開気孔は問題となると考え、素地表面に熔化化粧土を施して、止水性を

確保し、全体的に気孔を閉気孔とする実験を活性炭（細粒）20%添加素地を用いて行った。使用した熔化化粧土のゼーゲル式は $0.18\text{KNaO} \cdot 0.41\text{CaO} \cdot 0.41\text{BaO} \cdot 0.71\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4.87\text{SiO}_2$ である。熔化化粧土を掛けた半球状の皿に水を満たし24h後、水を排出し、皿の質量を測定した結果、質量の増加はなく、熔化化粧土により、表面の止水性を完全に確保できた。

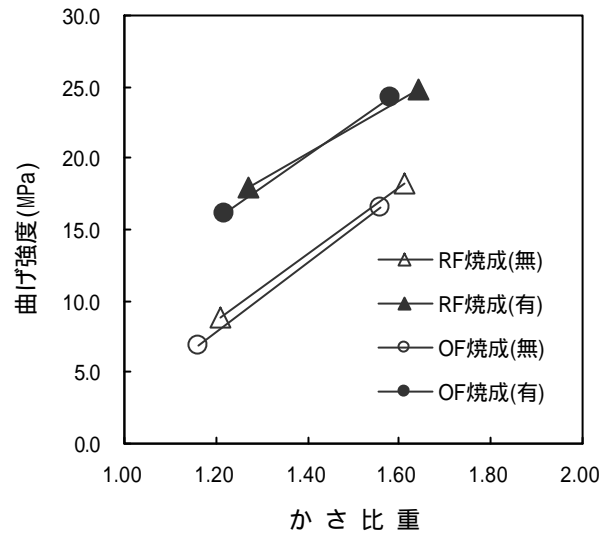


図7 曲げ強度に対する表面熔化化粧土の効果

また、矩形断面の棒状試験片により、曲げ強度に対する熔化化粧土の効果について、実験を行った。その結果を表3に示す。また、表中の活性炭添加系素地のかさ比重と曲げ強度の関係を図7に示す。活性炭添加系素地はRF・OFともに熔化化粧土による曲げ強度向上効果が認められた。その向上率は活性炭添加量が多く、かさ比重の小さい素地のほうが大きい。また、OFの向上率は

表3 軽量素地表面の熔化化粧土の有無と曲げ強度

素地の種類		曲げ強度（MPa）		かさ比重	
		無	有	無	有
活性炭（細粒） 10%添加	RF	18.2	24.8	1.61	1.64
	OF	16.5	24.3	1.56	1.58
活性炭（細粒） 20%添加	RF	8.9	18.0	1.21	1.27
	OF	6.9	16.1	1.16	1.22
活性炭（細粒）5%・上水発生土 25%添加	RF	21.0	18.8	1.72	1.70
	OF	15.9	21.0	1.56	1.57
活性炭（細粒）5%・亜炭粉末 25%添加	RF	16.5	20.9	1.59	1.61
	OF	13.2	22.3	1.49	1.53

R Fより大きく、活性炭 20%添加素地のO Fでは約130%曲げ強度が増加している。B素地はR F・O Fともに曲げ強度向上効果が認められ、A素地はO Fでのみ熔化粧土による曲げ強度向上効果が認められた

4. 結 び

既存の成形・焼成技術や設備がそのまま使える軽量化技術である、気孔形成材(可燃物質粉末)を坏土に添加して成形し、焼成によりその粒子を焼失させ、その焼失部分を気孔として残して素地そのものの軽量化を図る方法により、新とこなめ焼食器素地・開発素地土をベース坏土とする軽量化素地の開発を行った。

その結果、焼失性に優れた活性炭添加による、型起し・ろくろ・押出成形等の練土成形可能な軽量化素地を得た。素地のかさ比重は活性炭の添加量による制御が可能であ

り、活性炭(細粒)12%添加では陶器なみの曲げ強度を有するかさ比重 1.5 の軽量化素地が得られ、成形可能な最大添加量 20%では、かさ比重 1.2 の軽量化素地が得られた。また、活性炭の添加量の少ない活性炭(細粒)5%・上水発生土 25%添加及び活性炭(細粒)5%・亜炭粉末 25%添加でも、活性炭(細粒)12%添加素地とほぼ同等な軽量化素地を得た。

なお、得られた軽量化素地は型起し・ろくろ・押出成形の練土成形がすべて出来ることから、食卓用・厨房用品や建材の素地への応用が可能と考える。

文 献

- 1) 松下福三,光松正人,福原 徹,永柳辰一,田中正洋,愛知県常滑窯業技術センター報告,26,1~5(1999).