

非可塑性原料を主体とした素地の押出成形技術

福永 均^{*1}、榊原一彦^{*1}、安井克幸^{*1}

Extrusion Behavior of Lowplastic Materials

Hitoshi FUKUNAGA, Kazuhiko SAKAKIBARA and Katsuyuki Yasui

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1}

粘土瓦業界における原料の安定供給とリサイクル社会の構築に向けて、瓦シャモットや焼却灰など可塑性の乏しい廃棄物原料の活用化が求められており、これら非可塑性原料に可塑性粘土や成形助剤を添加した素地の押出成形性を検討した。瓦シャモット細粒 60%、ベトナム粘土 35%、ベントナイト 5%の調合物に粘結剤 SFA を 0.1% 添加した坯土は瓦配合土と同程度の成形性を示し、現行の製造ラインに技術移転可能な素地開発が図れた。また、開発した素地は瓦配合土に比べて乾燥強度が大きく、焼結性にも優れている。

1. はじめに

三河地区の瓦企業では、年間 230 万トンを超える粘土を使用しているが、良質粘土の枯渇化とともに安定した採掘場の確保が困難になってきている。またリサイクル社会の構築に向けて、瓦シャモットや焼却灰など可塑性の乏しい廃棄物原料の活用化が求められている。従来の非可塑性原料を主原料とした研究¹⁾では、成形法や成形条件が現行実施されている瓦製造方法と異なるため、技術移転に課題が残った。瓦シャモットや焼却灰など非可塑性原料に可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土について、前報の評価法²⁾により成形性を検討し、現行の粘土瓦製造ラインに対応した非可塑性原料を主体とした素地開発を実施した。

2. 実験方法

2.1 使用原料及び坯土調整

使用した原料は瓦シャモット(粗粒、細粒)、下水汚泥焼却灰、砂利粉碎物の非可塑性原料とベトナム粘土、ベントナイトの可塑性粘土である。また、成形助剤としてリグニンスルホン酸 Na 塩、ポリカルボン酸界面活性剤及び三洋化成(株)製粘結剤 SFA を使用した。乾粉状態の原料及び成形助剤に水を加えて、アイリッヒミキサーで 2 分間混合・混練し、ビニール袋中で数日間養生させ試験用坯土を調整した。

2.2 坯土の成形性及び乾燥性の評価

万能試験機に取り付けた押出治具のシリンダー内に坯土を入れ、クロスヘッドを降下させ、ロードセルにかかる圧力を測定した。この圧力値を定圧荷重の押出し法における関係式 $P=aX^{-b}$ (P : 押出圧力、 X : 含水量) により定数 a 、 b 値を求め、任意含水量における押出圧力値や

任意押出圧力値における含水量を算出し、坯土の成形特性を評価した。変形性については成形後の試験体を曲げ試験用エッジに置き、5 分後のたわみ量により評価した。乾燥性状は長谷川³⁾らが実施した乾燥難易性を評価する試験を参考にし、4cm 球状の練土を送風式乾燥器内に入れ、乾燥切れの有無を観察した。なお文中の含水率、含水量は乾量基準、水分は湿量基準で求めたものである。

3. 実験結果及び考察

3.1 非可塑性原料の性状

非可塑性原料として、瓦不良品を粉碎して瓦等建材用原料として使用されている瓦シャモット 1mm 以下(粗粒)、0.5mm 以下(細粒)、名古屋市山崎下水処理場から排出される下水汚泥焼却灰、砂利製造過程で排出される粗砂を微粉碎した砂利粉碎物を選定した。粒度分布図より、使用した非可塑性原料は瓦シャモット(粗粒)を除いては瓦配合土と同程度の粒径分布を示している(図 1)。

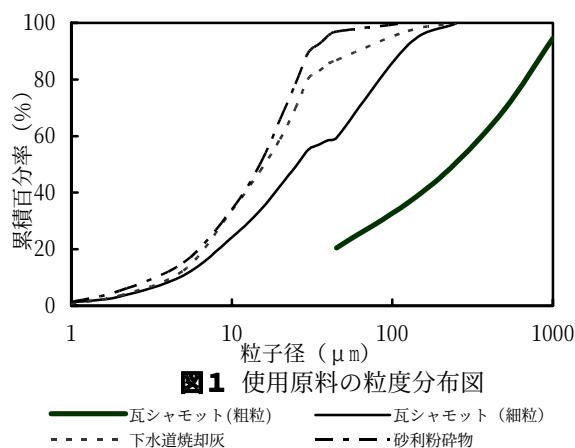


図 1 使用原料の粒度分布図

^{*1} 常滑窯業技術センター 三河窯業試験場

3.2 可塑性粘土添加と成形性

3.2.1 ベトナム粘土添加と成形性

瓦シャモット(粗粒、細粒)、下水汚泥焼却灰、砂利粉砕物の非可塑性原料にベトナム粘土を添加した坯土の成形性について評価した。瓦シャモット(細粒)にベトナム粘土を添加した坯土の押出圧力と含水量の関係を図2に示す。瓦シャモット 40%、ベトナム粘土 60%添加坯土の含水量 0.25(含水率 25%)における押出圧力は 1.25MPa、瓦シャモット 50%、ベトナム粘土 50%添加坯土の含水量 0.25 における押出圧力は 0.82MPa であり、瓦配合土の 1.01MPa と同程度の成形性を示した。

押出圧力 1MPa における含水率の変化を図3に示す。

瓦シャモット及び砂利粉砕物の添加量が増加するに伴って、含水率はほぼ直線的に低下傾向を示すが、焼却灰を添加した坯土は逆に増加傾向を示した。添加量 50%坯土の含水率と比較すると、瓦シャモット(細粒)は 24.0%、瓦シャモット(粗粒)は 23.0%、砂利粉砕物は 22.6%であるのに対して焼却灰は 35.7%と瓦配合土に比べて約 10%程度多くの水分量が必要とする。

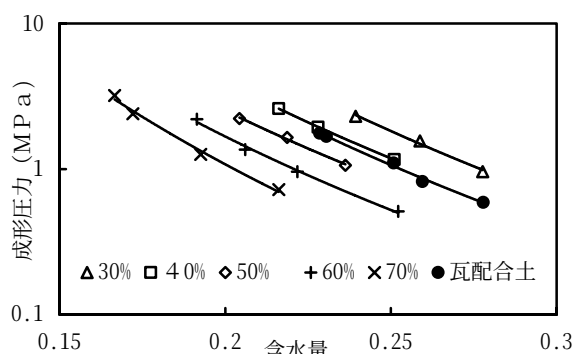


図2 瓦シャモット添加坯土の成形性

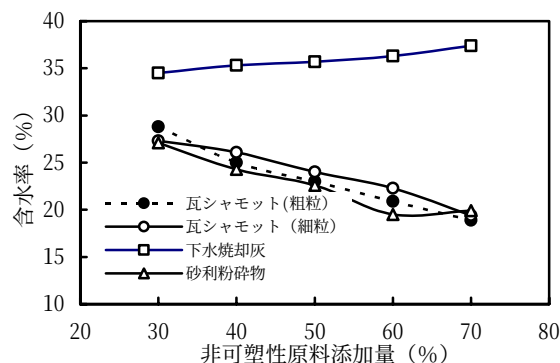


図3 非可塑性原料-ベトナム粘土系の成形性(押出圧力1MPa)

3.2.2 ペントナイト添加と成形性

瓦シャモット(粗粒、細粒)、下水汚泥焼却灰、砂利粉砕物の非可塑性原料にベントナイトを添加した坯土の成

形性について評価した。押出圧力 1MPa における含水率の変化を図4に示す。

瓦シャモット含有坯土はシャモットの添加量が増加するに伴って、含水率は低下傾向を示すが、砂利粉砕物は 50%添加を最小に増加する傾向を示した。ただしこの傾向は押出圧力が 0.3MPa 以上の場合であり、0.3MPa 以下の低圧力下では瓦シャモット添加坯土と同様の傾向を示した。なお焼却灰を添加した坯土はベトナム粘土を添加した場合と同様、添加量の増加に伴い、増加する傾向を示した。瓦シャモット(細粒)70%、ベントナイト 30%添加坯土の含水率 25%における押出圧力は 1.46MPa であり、瓦配合土と同程度の成形性を示した。

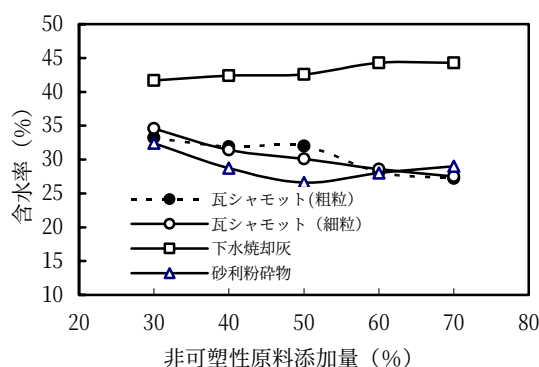


図4 非可塑性原料-ベントナイト系の成形性(押出圧力1MPa)

3.3 可塑性粘土添加坯土の特性

3.3.1 変形性・乾燥性

瓦シャモット、下水汚泥焼却灰、砂利粉砕物に可塑性粘土のベトナム粘土及びベントナイトを添加した坯土の変形性、乾燥性について評価した(表1)。

瓦シャモット粗粒は 50%以上の添加において、変形が大きく、現行瓦製造で行われている瓦配合土の押出圧力範囲 1~2MPa では 4mm 以上変形する。瓦シャモット細粒は粗粒に比べて変形が少なく、ベントナイト添加坯土では 60%添加において、わずかな変形が発生するだけである。下水汚泥焼却灰を添加した坯土は他の非可塑性原料に比べて変形が大きく、ベントナイト添加坯土では 30%添加において変形が見られた。砂利粉砕物は変形が少なく、ベトナム粘土添加坯土では 60%添加において変形が発生したが、ベントナイトを添加した坯土は 70%添加でラミネーションが発生した。

乾燥性については、非可塑性原料の種類に関係なく、可塑性粘土の種類の違いにより乾燥切れが発生した。60℃で無風状態(乾燥速度 0.02~0.03g/h・cm²)において、ベントナイト添加坯土に乾燥切れが発生したが、ベントナ

表1 坏土の変形性と乾燥性

上段：変形量 ○0mm △1～3mm ×4mm 以上

下段：乾燥切れ(60℃無風) ○なし ×あり

添加量 (%)	ベトナム粘土				ベントナイト			
	瓦シャモット粗粒	瓦シャモット細粒	焼却灰	砂利	瓦シャモット粗粒	瓦シャモット細粒	焼却灰	砂利
30	○	○	○	○	○	○	△	○
40	○	○	○	○	○	○	○	○
50	×	○	×	○	△	○	△	○
60	×	○	×	×	△	△	△	×
70	×	○	×	○	△	○	×	×

ム粘土を添加した坏土では切れは発生しなかった。ベトナム粘土を添加した坏土では 100℃送風状態、乾燥速度 0.22～0.25g/h・cm² においても乾燥切れは発生しなかった。なお、瓦配合土は 70℃送風状態、乾燥速度 0.15～0.18g/h・cm² で乾燥切れが発生した。瓦配合土の乾燥切れ発生条件を考慮して 80℃送風状態、乾燥速度 0.2g/h・cm² でベントナイト添加坏土の乾燥性を検討した結果、ベントナイトの添加量が 10%以下では切れの発生が認められなかった。

3.3.2 吸着性

押出成形において成形性を左右する最も重要な因子として坏土の水分調整がある。使用した原料を相対湿度 97%中に保存し、原料の吸湿量を測定した。図5に使用原料の吸湿特性を示す。

使用した可塑性粘土ではベントナイトが吸湿量が大きく、成形時の坏土において多くの水分を必要とする原因である。以下ベトナム粘土、瓦配合土の順であり、可塑性の順位と一致する。

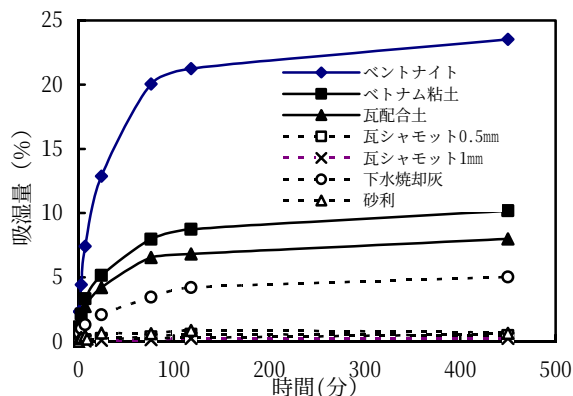


図5 使用原料の吸湿量

非可塑性原料では瓦シャモットや砂利粉砕物がほとんど吸湿性がないのに対して、下水汚泥焼却灰は吸湿性があるため、添加量が増加するに伴い、成形水分量も多く必要とする。

3.4 坏土調整と成形性

3.4.1 瓦シャモット複合素地の成形性

瓦シャモット(細粒)の添加坏土において瓦配合土と同程度の成形性を示す瓦シャモット細粒 50%、ベトナム粘土 50%添加した坏土(A 坏土)と瓦シャモット細粒 70%、ベントナイト 30%添加坏土(B 坏土)とを混合し、複合効果を検討した。A 坏土-B 坏土の調合割合は 100%-0%、75%-25%、50%-50%、25%-75%、0%-100%で、瓦シャモットの含有量はそれぞれ 50%、55%、60%、65%、70%である。図6に押出圧力 1MPa における含水率の変化を示す。瓦シャモットの添加量が 55%(A 坏土 75%-B 坏土 25%)で含水率は最小となり、流動性が良くなり複合効果が現れた。

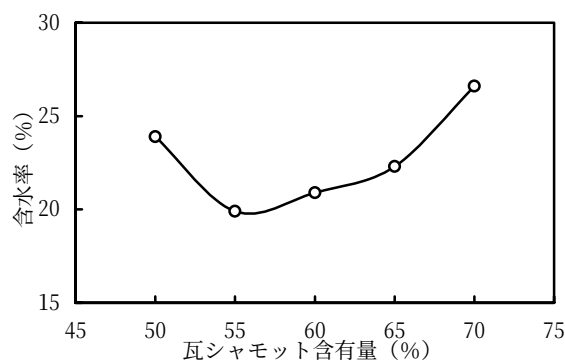


図6 複合素地の成形性 (押出圧力1MPa)

3.4.2 成形助剤添加の成形性

瓦シャモット 60%、ベトナム粘土 25%、ベントナイト 15%調合素地(S 素地)と砂利粉砕物 60%、ベトナム粘土 25%、ベントナイト 15%調合素地(M 素地)にリグニンスルホン酸 Na 塩及び界面活性剤を 0.5%添加し、添加効果を検討した。表2に成形及び乾燥性状を示す。

表2 成形助剤添加素地の特性

試料名	水分 (%)	硬度 (MPa)	押出圧力 (MPa)	乾燥	
				収縮率 (%)	曲げ強さ (MPa)
S 素地	18.6	0.42	0.74	6.7	8.98
リグニン	18.5	0.34	0.44	6.4	8.93
活性剤	18.3	0.37	0.44	6.4	10.95
M 素地	18.6	0.46	0.66	7.1	11.49
リグニン	18.9	0.34	0.40	6.5	9.40
活性剤	18.7	0.34	0.44	6.6	11.17

リグニンスルホン酸 Na 塩、界面活性剤は坯土の流動性を増加させるため、成形水分量と押出圧力を低減させる。

界面活性剤は M 素地では強度向上は期待できないが、瓦シャモット素地の強度向上に効果があり約 20%向上させる。リグニンスルホン酸については強度向上は認められなかった。特に M 素地では強度が低下したが、これは成形水分が多く坯土が少し柔らかく押出圧力も小さいため強度が低下したものと思われる。

3.4.3 増粘剤添加の可塑性

界面活性剤やリグニンスルホン酸は坯土の流動性には効果があるが、増粘性については顕著な効果が期待できない。またベントナイトは増粘性に優れた材料ではあるが、10%以上添加すると乾燥時に切れが発生する。そこで S 素地のベントナイト 15%を 5%に減量し、瓦シャモット 60%、ベトナム粘土 35%、ベントナイト 5%で調合した素地 (A 素地)に三洋化成(株)製粘結剤 SFA を添加し、ペッファールコルン法により可塑性を検討した(図 7)。

添加量が増加するに伴い、可塑性値の PI 値は増加した。0.1%添加坯土の PI 値は 29.8%で、無添加坯土の 26.0%に比べて 3.8%増加した。また成形性については、0.1%以上の添加で増粘効果により、押出圧力が増加した。

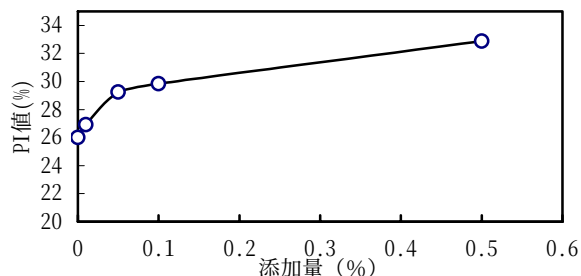


図 7 粘結剤SFAの添加効果

3.5 リサイクル素地の作製

瓦シャモットなど非可塑性廃棄物を主体とした素地を開発するにあたって、成形性、変形性、乾燥性を考慮して現行の瓦製造工程にあった 2 種類のリサイクル素地を選定し、真空式押出成形機により試験体を作製し、乾燥及び焼成性状を測定した。

A 素地: 瓦シャモット(細粒)60%、ベトナム粘土 35%、ベントナイト 5%、粘結剤 SFA0.1%、成形水分 17.7%

B 素地: 砂利粉碎物 60%、ベトナム粘土 35%、ベントナイト 5%、粘結剤 SFA0.1%、成形水分 17.7%

瓦素地: 成形水分 20.5%

開発したリサイクル素地は瓦素地に比べて乾燥強度が若干劣るものの焼成後の曲げ強さが向上し、吸水率が低下するなど焼結性に優れた素地である。

表 3 リサイクル素地の特性

素地名	収縮率(%)		曲げ強さ (MPa)		吸水率 (%)
	乾燥	焼成	乾燥	焼成	
瓦	7.3	4.4	6.12	21.7	5.3
A	5.0	4.4	5.50	35.4	4.3
B	5.5	3.7	5.65	31.2	5.0

4. 結び

非可塑性原料を主体とした素地の成形性について、可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土を調整し、押出特性について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 瓦シャモットなどの非可塑性原料に可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土の押出圧力を測定し、押出圧力と含水量の関係式から、瓦配合土とほぼ同程度の成形性を有する素地の調合割合が決定できた。
- (2) 増粘材としてベントナイトは優れた材料であるが、押出成形法においては、乾燥切れを防止するためにも 10%以下の添加が望ましい。
- (3) 界面活性剤やリグニンスルホン酸は坯土の流動性を良くし、三洋化成(株)製粘結剤 SFA は 0.1%以上の添加で粘結性を増加させた。
- (4) 瓦シャモット細粒 60%、ベトナム粘土 35%、ベントナイト 5%の調合物に三洋化成(株)製粘結剤 SFA 0.1%添加した坯土は瓦配合土と同程度の成形性を示し、現行の製造ラインに技術移転可能な素地開発が図れた。

文献

- 1) 深谷英世, 加藤勝正, 伊藤征幸, 伊藤政巳: 愛知県常滑窯業技術センター報告, 23, 1-6 (1996)
- 2) 福永均, 榊原一彦, 久野徹: 愛知県産業技術研究所研究報告, 2, 76-79 (2003)
- 3) 長谷川龍三, 島村修, 永柳辰一, 鳥居高夫: 愛知県常滑窯業技術センター報告, 11, 29-33 (1984)