

粘土瓦用坯土調整と押出成形性

福永 均^{*1}、榊原一彦^{*1}、久野 徹^{*2}

Preparation of Clay Rooftile Bodies and Extrusion Behavior

Hitoshi FUKUNAGA, Kazuhiko SAKAKIBARA and Toru KUNO

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1 *2}

粘土瓦の成形性向上を図るため、瓦配合土に可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土の押出成形性について検討した。押出圧力と含水量の関係式から定数の a, b 値を算出し、坯土の押出成形性を検討した結果、瓦配合土に可塑性に優れたベトナム粘土を添加することにより成形水分範囲が広がった。またリグニンスルホン酸塩は坯土の流動性を向上させ、瓦配合土に 0.1~0.5%添加することにより、押出圧力の低下や乾燥強度の増加など坯土改善に効果があった。

1. はじめに

三河地区の瓦企業では、粘土の可塑性を利用した押出成形法により粘土瓦を製造している。近年、瓦シャモットや水ひ粘土など可塑性の乏しい原料の増加に伴い成形性が低下し、F 形瓦など複雑な形状を有する製品では乾燥切れなどの欠点が発生しやすくなっている。粘土瓦の成形性向上を図るため、瓦配合土に可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土のレオロジー特性を把握し、坯土調整により押出成形性の改善を検討した。

2. 実験方法

2.1 使用原料及び坯土調整

使用した原料は瓦配合土、瓦シャモット、ベトナム粘土で、成形助剤として、リグニンスルホン酸塩(Na,Ca,Mg 塩)、水ガラス、コンスターチ(デキストリン)、有機質廃材を使用した。瓦配合土に乾粉状態の原料及び成形助剤を添加し、必要に応じて水を加えて、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作製した。

2.2 押出試験方法

万能試験機に内径 25mm、流出孔 8mm のピストン型押出治具¹⁾を取り付け、シリンダー内に水分調整した坯土 50g を入れ、クロスヘッド 5mm/min で降下させ、ロードセルにかかる圧力を測定した。また成形後の試験体(φ8mm×L150mm)をスパン 120mm の曲げ試験用エッジに置き、5分後のたわみ量を測定した。

2.3 押出圧力の算出

シリンダー内の坯土を圧縮すると、圧縮によって坯土が流出孔より流出する瞬間以後も変形量の増大に応じて圧力が増大するタイプと流出以後も圧力がほとんど変ら

ないタイプの2種類に大別できる。前者のタイプは含水量が少なく可塑性が乏しい坯土に多く見られ、平均値を圧力値とした。また後者のタイプは含水量が多く可塑性に富む坯土の場合で、最大値を圧力値とした。

2.4 成形性の評価

M.H.Cassan¹, A.Jourdain²⁾は定圧荷重の押し出し法において、 $P=aX^{-b}$ (P : 押出圧力、 X : 含水量、 a, b : 定数) が成り立つとしている。含水量を変化させた坯土より a, b 値を求め、任意含水量における押出圧力値(例: 含水率 25%における押出圧力値)や任意押出圧力値における含水量(例: 押出圧力 1MPa における含水率)を算出し、坯土の成形特性を評価した。また試験後シリンダー内の坯土を取り出し、含水量と硬度を測定した。硬度は山中式土壤硬度計を用い、含水量(含水率)は乾量基準により求めた。なお、瓦企業で一般的に用いられている湿量基準により求めたものは含水率と区別するため水分と表示した。

3. 実験結果及び考察

3.1 瓦配合土の可塑性

瓦配合土は三河粘土、山土粘土、水ひ粘土など多種類の粘土をブレンドしたもので、可塑性に関する報告例は少ない。可塑性の評価には種々の測定法があるが、陶磁器業界で一般的に使用されているペッファーコルン値、アッターベルグ法による液性限界及び塑性限界により瓦配合土の可塑性について検討した。図1にペッファーコルン法による変形後の試料高さや含水率の関係を示す。

含水率 22%から 37%の塑性範囲内では直線的に変化する。塑性限界は 22.1%で、従来のペッファーコルン値である試料高さ 12.12mm の含水率は 34.7%、液性限界は

^{*1} 常滑窯業技術センター 三河窯業試験場 ^{*2} 常滑窯業技術センター

54.0%である。一方ベトナム粘土の塑性限界は32.3%、液性限界90.7%で可塑性に優れた粘土である。塑性限界より少ない水分での押出成形は高圧力を必要とし、液性限界付近ではペースト状態であるため押出成形は不可能である。一般的に三州瓦企業では含水率25%(水分20%)程度の塑性限界付近で押出成形を行っている。

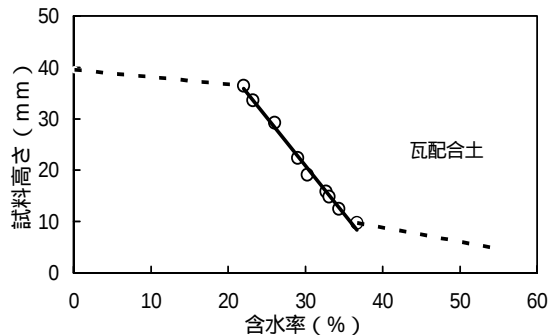


図1 ペッファーコルン法による変形量

3.2 可塑性粘土添加と成形性

瓦配合土に可塑性に優れたベトナム粘土及び非可塑性原料の瓦シャモットを10%,30%及び50%添加し、坏土の含水量(乾量基準)と成形圧力を測定した。表1にa,b値など成形性に関する特性値を示す。瓦配合土にベトナム粘土を添加するとa値が大きくなり、b値が小さくなった。一方、瓦シャモットを添加すると逆にa値が小さくなり、b値が大きくなった。これは田中³⁾らが述べている粘土の可塑性評価と一致しており、a値の増加は同一押出圧力における可塑水分量の増加を意味し、b値の低下は同一押出圧力において水分範囲が広いことを意味するものである。

3.3 押出圧力と坏土硬度

坏土の含水量が多くなると、坏土硬度が減少し、たわ

表1 成形性に関する特性値

試料名	a	b	含水量	
			押出圧力 1MPa	2MPa
瓦配合土 (K1)	0.0315	4.3573	0.267	0.227
瓦シャモット 10%	0.0092	5.0487	0.250	0.218
" 30%	0.0020	5.8689	0.234	0.208
" 50%	0.0010	6.2868	0.231	0.207
瓦配合土 (K2)	0.0052	5.6101	0.260	0.230
ベトナム粘土 10%	0.0073	5.4243	0.264	0.232
" 30%	0.0174	4.9693	0.278	0.242
" 50%	0.0237	4.8033	0.284	0.246

みによる変形量が大きくなる。図2に押出圧力と坏土硬度との関係を示す。押出圧力と山中式土壌硬度との間には相関性があり、瓦シャモットを添加した坏土は粘土分が少なくなるため、瓦配合土に比較して同一水分量では硬度が低下した。40種類の坏土を測定した結果、押出圧

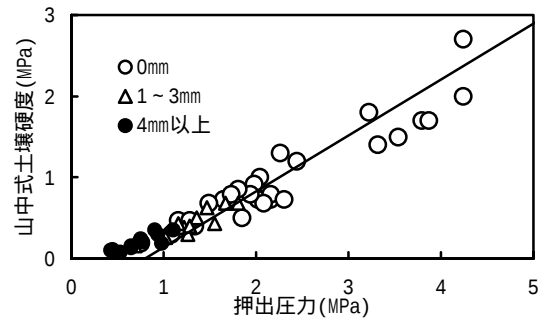


図2 坏土硬度と押出圧力

力1.0MPa、硬度0.32MPa以下の試験体ではたわみ量が4mm以上となり、変形により切断するものもあった。

3.4 成形助剤添加と成形性

3.4.1 リグニンスルホン酸塩

瓦配合土にリグニンスルホン酸塩を添加した坏土の含水率25%における押出圧力及び乾燥曲げ強さの変化を示す。(図3)(図4)

押出圧力はいずれの塩類でも0.5%以下で添加効果が現れ、坏土の流動性を向上させる。特にナトリウム塩は0.5%添加で瓦配合土の約50%押出圧力を低下させるため2%程度少ない水分量で成形が可能となる。

一方、曲げ強さは、いずれの塩類でも瓦配合土に0.1~0.5%添加することにより、乾燥強度が増加する。特にマグネシウム塩は効果が大きく、リグニンスルホン酸塩が保有する粘結性と分散性が瓦配合土に作用したためと考えられる。pHはNa塩が6.0、Ca塩及びMg塩が5.0で、瓦配合土のpH5.9であるため、添加によるpH変動はわ

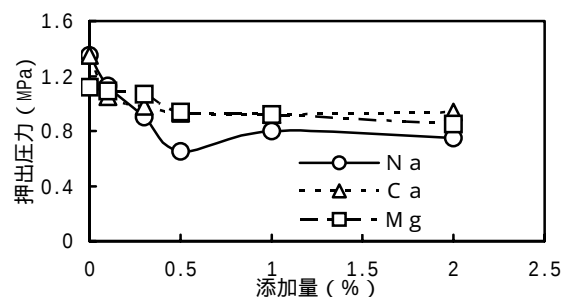


図3 リグニンスルホン酸塩の成形効果

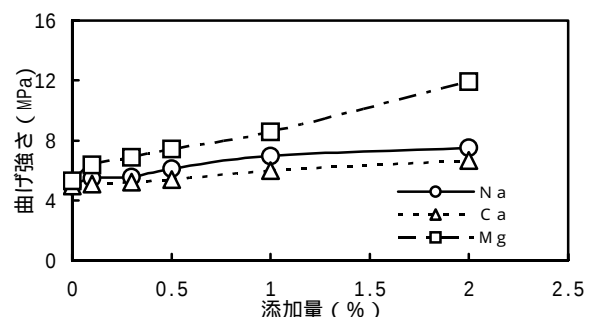


図4 リグニンスルホン酸塩の強度効果

ずかである。

3.4.2 水ガラス・コンスターチ

瓦配合土に水ガラス（珪酸ソーダ1号粉末）とコンスターチ（デキストリン）を添加した坯土（含水率 25%）の押出圧力及び乾燥曲げ強さを示す。（図5）（図6）

水ガラス添加坯土の押出圧力は 0.3%（pH8.1）を最小にして 0.5%（pH9.1）以下では坯土の流動性を良くし、押出圧力を低下させるが、1%以上の添加では押出圧力は急激に増加し坯土を硬化させる。曲げ強さは 0.5%添加で最大値を示し、それ以上の添加では低下する。

コンスターチを添加した坯土の押出圧力は水分量が多い範囲での効果が大きく、添加効果は 1%以上でないと現れない。曲げ強さは添加量に比例して増加する。これは試験した坯土がキャピラリー域からフニキュラー域の水分の比較的小さい領域であるため、コンスターチの可塑性発現のための水分が不足することによるものと考えられる。

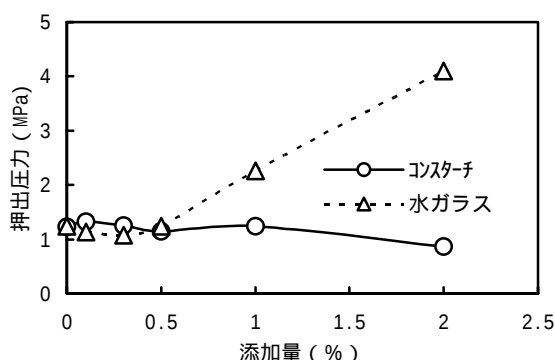


図5 水ガラス・コンスターチの成形効果

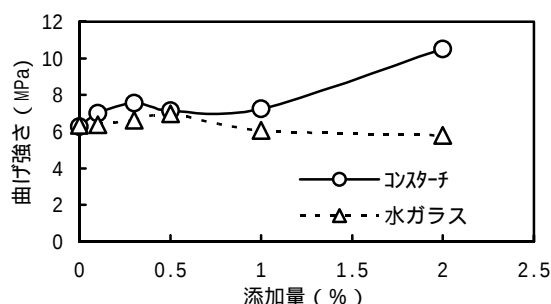


図6 水ガラス・コンスターチの強度効果

3.4.3 有機質廃材

木材加工や化粧板製造工程から排出される接着剤を含む有機質廃材の添加効果について含水率 25%における坯土の押出圧力により検討した。（図7）

使用した試料は酢酸ビニル系廃泥（試料A）、アクリル系廃泥（試料C）及びフェノール樹脂を含む化粧板粉（試料K）である。廃泥は水分が 30%に調整されたもので、現在廃棄処分されている。押出圧力に関しては、

特に顕著な効果は認められないが、そのなかではアクリル系廃泥（試料C）が比較的良好であった。一方乾燥時の強度はほとんどの試料が増加し、特に化粧板粉の試料Kは 0.1%でも効果が現れた。

これらのことから使用する際には分散性や流動性を良くするアクリル系廃泥と強度向上させる化粧板粉を併用させることが望ましい。

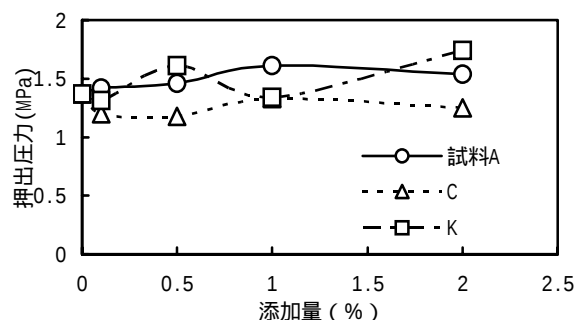


図7 有機質廃材の成形効果

3.5 坯土調整方法と成形性

3.5.1 混合・混練法と成形性

瓦配合土（水分 20%）に瓦シャモット 10%添加し、ビニール袋中で手混合・混練した坯土A（未処理物）、坯土Aをアイリッヒミキサーで2分間混合・混練した坯土B（アイリッヒ混合物）、坯土Bを乾燥し解砕した後、水分調整した坯土C（乾式混合物）の3種類の坯土を調整した。これら坯土A、B、Cをビニール袋で数日間養生させて試験した。（図8）

乾式混合物、アイリッヒ混合物、未処理物の順で含水率は小さくなっている。これは混合・混練処理法により坯土が均一化され、分散性、流動性が良くなったことに起因する。一般的な瓦配合土の押出圧力は 1.7MPa 程度で、この圧力での含水率は未処理物 23.7%、アイリッヒ混合物 22.7%、乾式混合物 22.0%で、乾式混合は現処理法に比べて水分低下での成形が可能となる。

3.5.2 坯土加熱と流動性

坯土加熱が粘性・流動性に及ぼす影響を検討するため、ペッファーコロン試験用試料に水分が蒸発しないように

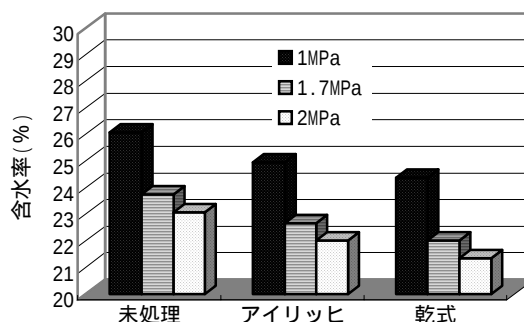


図8 混合方式と坯土特性

加熱して、坯土温度測定後直ちに試験し、変形後の試料高さを測定した。(図9)

坯土温度が高くなるに伴って、坯土の流動性が増加し変形により試料高さが小さくなる。また水分量が増加するに伴って直線勾配も大きくなることから、水分量の多い坯土ほど温度効果が大きいものと考えられる。実験式より含水率24%坯土の20における試料高さを推定すると33.05mmとなり、50では32.15mmでその間の差は0.9mmとなり、0.5%含水量に相当する。坯土を加熱することにより、水の粘性が低下し、坯土の流動性が向上するため、低水分での成形が可能となる。

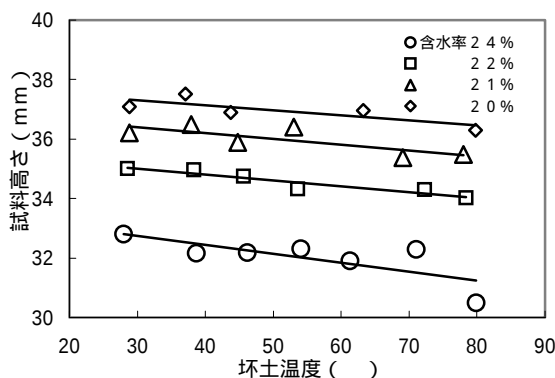


図9 坯土温度と試料変形

3.6 シャモット添加素地の成形性及び物性

瓦シャモットにベトナム粘土を加え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a,bを決定し、瓦配合土とほぼ同程度の成形性を有する瓦シャモット添加素地の調合割合を決定した。(図10)

瓦シャモットにベトナム粘土を添加すると、可塑性範囲が広がり、瓦シャモット40%、ベトナム粘土60%調合物は瓦配合土とほぼ同程度の成形性を示し、リグニンスルホン酸Na塩を0.5%添加することにより、さらに成形性は向上する。瓦配合土(素地A) 瓦配合土に外割で瓦シャモット5%、ベトナム粘土7.5%、リグニン0.5%添加した

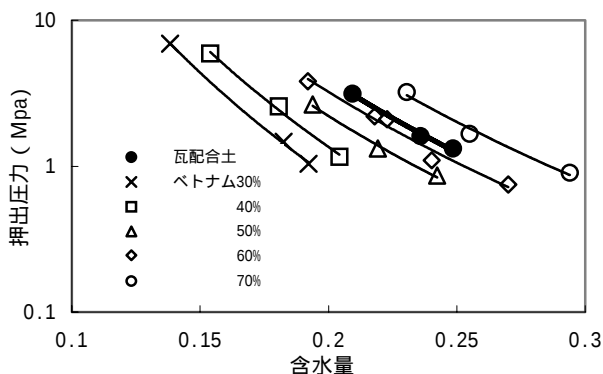


図10 瓦シャモット-ベトナム粘土系素地の成形性

表2 瓦シャモット添加素地の物性

素地名	乾燥収縮率 (%)	焼成収縮率 (%)	乾燥曲げ強さ (MPa)	焼成曲げ強さ (MPa)	吸水率 (%)
A	6.8	4.7	5.4	19.2	5.7
B	6.5	4.9	6.5	21.9	5.2
C	6.2	4.7	5.8	21.2	5.0

素地(素地B) 瓦シャモット10%、ベトナム粘土15%、リグニン0.5%添加した素地(素地C)の3種類の坯土調整し、押出成形機によりW40mm×D15mm×L140mmの試験体を作製した。乾燥後1130で焼成し物性を測定した。

表2に瓦シャモット添加素地の物性を示す。

乾燥及び焼成後の収縮率、曲げ強さ等の物性を比較すると瓦配合土と同程度以上の特性を示している。瓦シャモットを添加した素地配合において、ベトナム粘土を併用することにより、瓦配合土と同程度物性を有する坯土調整が可能となる。

4. 結び

粘土瓦の成形性向上を図るため、瓦配合土に可塑性粘土や成形助剤を添加した坯土の押出成形性について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 押出圧力と含水量の関係式 $P = aX^b$ より a, b 値を求め、成形水分範囲など坯土の押出成形性を評価することができた。
- (2) 瓦配合土に可塑性に優れたベトナム粘土を添加すると成形水分範囲が広がった。またリグニンスルホン酸塩を添加すると押出圧力はいずれの塩類でも0.5%以下で添加効果が現れ、ナトリウム塩は0.5%添加で瓦配合土の約50%押出圧力を低下させるため、水分量を低減して成形できる。
- (3) 瓦シャモットにベトナム粘土を加え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瓦シャモット添加素地の調合割合が決定できた。

文献

- 1) 山崎達夫, 星幸二: 愛知県常滑窯業技術センター報告, 11, 15~21(1984)
- 2) M.H.Cassan, A.J.Jaurdain: La Ceramique 592 117~134(1937)
- 3) 田中稔: 粘土瓦ハンドブック, 64~69(1980), 技報堂