

研究論文

粘土瓦の軽量化研究

福原 徹^{*1}、鈴木陽子^{*1}、竹内繁樹^{*1}、松下福三^{*2}

Study of Light Weight Body for Clay Roofing Tiles

Toru FUKUHARA^{*1}, Yoko SUZUKI^{*1}, Shigeki TAKEUCHI^{*1} and
Fukuzo MATSUSHITA^{*2}Tokoname Ceramic Research Center, AITEC ^{*1*2}

現行の製品形状を大幅に変更することなく、軽量化を図るため、肉厚を薄くしても製品の強度低下を及ぼさない高強度素地の開発を行った。瓦用配合粘土の粗粒除去により、現状の配合粘土に比べて66%の強度向上となった。粗粒除去後、マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加すると曲げ強度は大きくなり、250 μ m全通品では33.6MPaとなった。また、吸水率が250 μ m全通品では0.4%と小さくなり、現状より低い温度で焼成可能なことがわかった。

1. はじめに

粘土瓦は金属屋根材や化粧スレートに比べて重量があることから、耐震面などから住宅の躯体や土台に対する負担が大きいといわれており、軽量化が求められている(図1)。またコスト面から考慮すると、現行の形状を大幅に変更することなく、軽量化を図る必要がある。

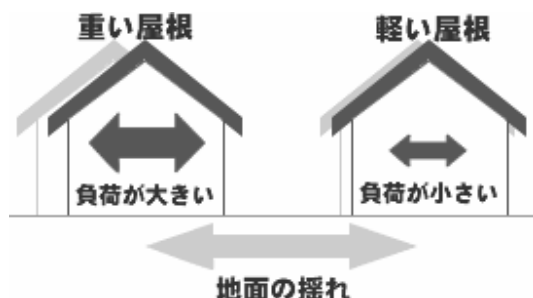


図1 軽い屋根の減震効果

三州瓦のような陶器瓦製品は、JIS規格(粘土がわら: JIS A 5208)を満足する必要がある、その規格値は、曲げ破壊荷重1500N以上(棧がわら)、吸水率は12%以下(ゆう葉がわら、無ゆうがわら)である。瓦素地には多くの気孔が存在し、その気孔の形状、大きさ、量は曲げ強度に大きな影響を与えることが知られている^{1)~3)}。本研究では、瓦の肉厚を薄くしても製品の強度低下を及ぼさない高強度素地の開発を目的とし、原料に含まれる粗い粒子の除去と添加剤により気孔の量を少なくすること(緻密化)を検討した。目標値は、現行配合粘土と比べて50%以上の強度アップとし、これに伴う20%以上の軽量化を目指した。具体的には、20%軽量化すると、和形棧がわらのJ形は2.7kgが2.2kg程度に、平板棧がわらのF形では

3.7kgが3.0kgを切る程度まで軽くすることができる。

2. 実験方法

2.1 配合粘土と試料の作製方法

三州瓦の製造に使われる配合粘土は、三河粘土、山土、水ひ粘土、瓦シャモットなどを配合、粉碎、混練して作られている(年間約200万トン)。三河粘土には粗い粒子、山土には微細な長石が含まれていることが特徴である。

瓦用粘土製造メーカーより入手した配合粘土を風乾した後、ロールクラッシャーで解砕し、目開き1mmのふるいを通し、加水・混練することにより坏土を作製し、現状の配合粘土試料とした(図2)。

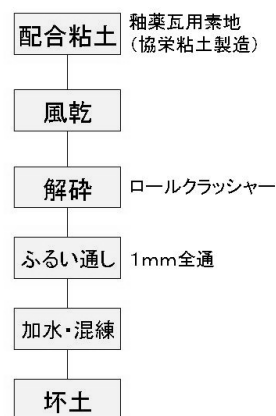


図2 現状の配合粘土試料の作製方法

次に配合粘土の高強度化試験を行うため、粗粒の除去と添加剤を検討した。まず粗粒の除去では、ふるい通し(1mm全通)の後、所定のふるい(250,355,500 μ m)を用いてふるい分けし、粗粒のふるい残さを取り除いた試料を作製した。

^{*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 三河窯業試験場 (現常滑窯業技術センター 開発技術室)

また、添加剤の検討では、加水・混練時に水島合金鉄製のマンガン酸化物（MOX-Pu）を粗粒を除去した配合粘土に対して5%添加して試料を作製した（図3）。

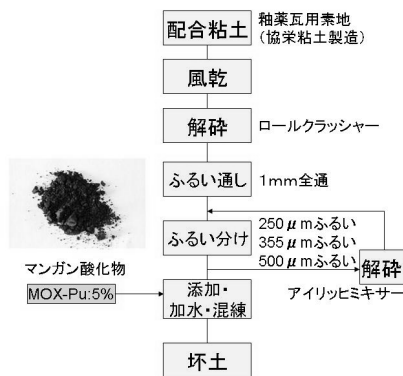


図3 高強度化試料の作製方法

2.2 特性評価

各種坏土を真空押出機により押出成形して棒状の試料を作製した。成形時の坏土の硬さはNGK硬度計により測定した。坏土のNGK硬度が12.5～13.0の硬さになるよう水分を調整した後、成形時の坏土の水分量を坏土を乾燥し、電子天秤を用いて測定した。この成形体を乾燥後、最高温度1130℃（R型熱電対指示）、1h保持の条件にて焼成した。昇温速度は60℃/hで、冷却は炉冷で行った。焼成熱履歴はメジャーリングにより測定した。

成形直後にノギスにて押出方向（長手方向）に120mmの刻印を付け、乾燥時と焼成時にその刻印間の長さを測定することにより、乾燥収縮率と焼成収縮率を求めた。

焼成体の吸水率測定は、3h煮沸吸水法と24h自然吸水法により測定した。

焼成体の曲げ強度測定は精密万能試験機（テンシロン型オリエンテック製：RTC-1310A）を使用して3点曲げ法により測定した。スパン間距離：150mm、ロール径：φ5mm、クロスヘッド速度：0.5mm/minの条件で試験した。試料の大きさは幅30mm×長さ170mm×厚さ15mmで、20本の測定を行い、ワイブルプロット解析によりワイブル係数 m を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 現状の配合粘土の評価

現状の配合粘土を押出成形、乾燥後、1130℃で焼成し、収縮率、吸水率および曲げ強度の測定を行った。その結果、乾燥収縮率は6.3%、焼成収縮率は4.6%で、全収縮率は10.6%であった。吸水率は3h煮沸吸水法では7.2%、24h自然吸水法では5.1%であった。曲げ強度測定のワイブルプロット結果を（図4）に示す。破壊確率が50%となる

曲げ強度の平均値は17.6MPa、ワイブル係数 m は36.0であった。従って、20%軽量化に相当する曲げ強度の目標値は、現状品の50%向上の26.4MPaとした。

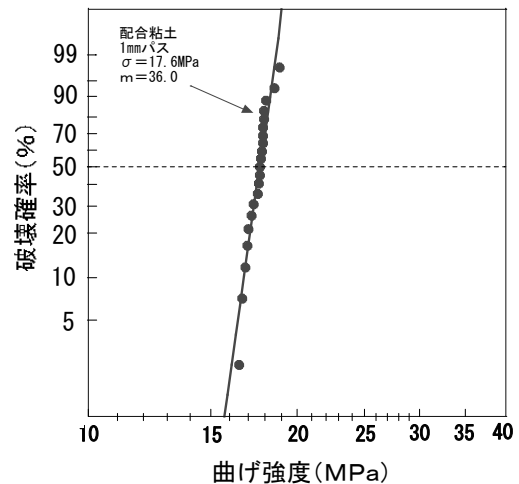


図4 配合粘土単味の曲げ強度

3.2 粗粒除去の効果

配合粘土を目開き250, 355, 500μmのふるいを用いてふるい分けした結果、ふるい残さはそれぞれ約10%、約7%、約5%含まれていた。250μmふるい残さを目開き355, 500μmのふるいでふるい分けし、その粒子を観察した（図5）。このふるい残さは、配合粘土の三河粘土などに多く含まれている粗粒分であると推測でき、X線回折により鉱物層を同定した結果、主に石英と長石が認められた。

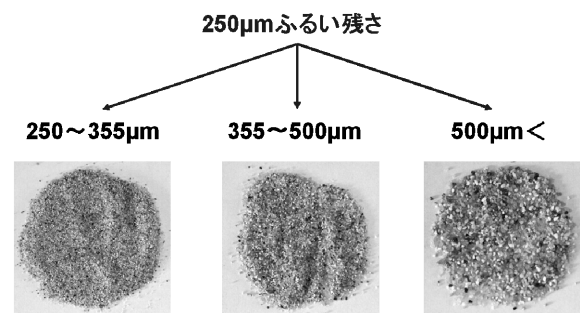


図5 ふるい残さの粒子

次に、250, 355, 500μmでふるい分けし、粗粒を除去した試料を用いて押出成形、乾燥後、1130℃で焼成し、収縮率、吸水率および曲げ強度を測定した。ふるい目開きが小さくなくても、乾燥収縮率はあまり変わらなかったが、焼成収縮率がやや大きくなった。その結果、全収縮率は若干大きくなる傾向があり、250μm全通品の全収縮率は11.6%となった。

粗粒除去品の曲げ強度の結果を図6に示す。配合粘土単味の曲げ強度が17.6MPaであるのに対して、500μm

全通品では23.8MPa、355 μ m全通が25.6MPa、250 μ m全通では29.2MPaと明らかに粒径の微細化に伴い曲げ強度は高くなった。250 μ m全通品は現行配合粘土の曲げ強度と比べて66%の強度向上となった。また、ワイブル係数はいずれも40を超える値となり、曲げ強度のばらつきも小さくなっていった。これは素地が均一に緻密化した結果であると思われる。

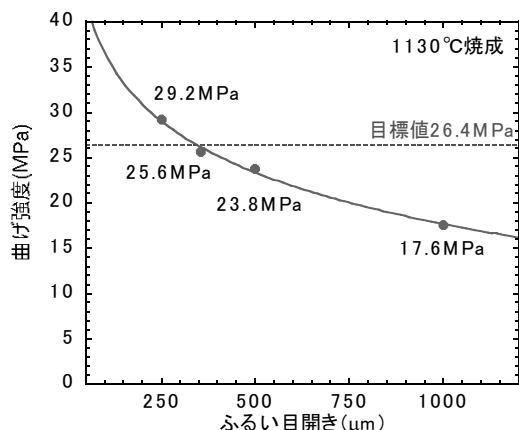


図6 粗粒除去品の曲げ強度

粗粒除去品の3h煮沸吸水法と24h自然吸水法の吸水率結果を図7に示す。3h煮沸吸水法の吸水率は現行配合粘土が7.2%であるのに対して、ふるい目開きが小さくなると徐々に小さくなり、250 μ m全通では6.0%であった。この結果から、粗粒除去は吸水率の低下にあまり影響しないことがわかった。

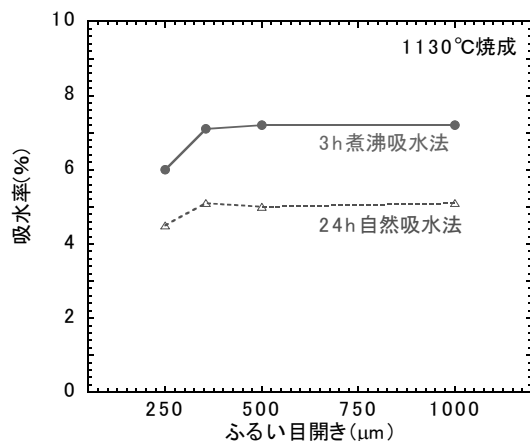


図7 粗粒除去品の吸水率

3.3 添加剤の効果

粗粒を除去していない配合粘土にマンガン酸化物(MOX-Pu)を添加すると、添加量が多くなるに従って吸水率が低下し、曲げ強度は大きくなる傾向があるとの報告⁴⁾がある。しかし、マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加しても、曲げ強度は24MPaで目標値の26.4MPaを若干下回っていた。また、この時の吸水率は0.7%とかなり

焼き締まっていることから、粗粒を除去していない配合粘土にマンガン酸化物(MOX-Pu)を添加しても、曲げ強度を大きくするには限界があると考えた。

そこで、粗粒除去した配合粘土にマンガン酸化物(MOX-Pu)を添加した試験を行った。なお、マンガン酸化物(MOX-Pu)の添加量は5%とした。収縮率の結果より、マンガン酸化物(MOX-Pu)を添加することにより、乾燥収縮率はあまり変わらず、焼成収縮率は大きくなり、全収縮率も大きくなる傾向があった。全収縮率は12%程度となった。

マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加した試料の曲げ強度の結果を図8に示す。比較としてマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加のデータも図中に併記した。曲げ強度は500 μ m全通品では23.8MPaが28.9MPaに、355 μ m全通品では25.6MPaが30.8MPaに、250 μ m全通品では29.2MPaが33.6MPaに大きくなった。ワイブル係数も250 μ m全通品では57.8とマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加と比べて大きくなった。しかし、355, 500 μ m全通品では、ワイブル係数はそれぞれ39.4, 32.2とマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加と比べて小さくなっていった。これは355, 500 μ m全通品では粗粒が残っているために、部分的にガラス質の熔融を伴う緻密化が進み、素地が不均一な状態となり、曲げ強度がばらつく要因になったと思われる。

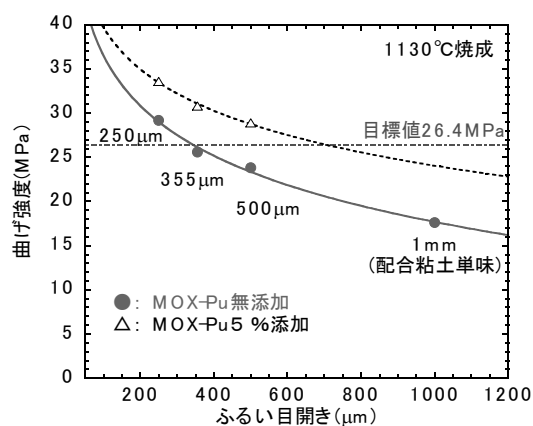


図8 マンガン酸化物(MOX-Pu)添加品の曲げ強度

次に、図8の横軸のふるい目開きを対数としてプロットした関係を図9に示す。マンガン酸化物(MOX-Pu)無添加と5%添加品の曲げ強度に対して線形の関係となる。図中の近似直線は最小二乗法により求めたものである。この近似直線はマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加(実線)の傾きより、マンガン酸化物(MOX-Pu)5%添加品(点線)の方が傾きが緩やかになっている。これはマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加の方が、ふるい目開きを小さくすることによる高強度化の効果が大きいことを示し、マン

ガン酸化物(MOX-Pu)5%添加では、その影響が小さくなることを示している。この近似直線から、ふるい目開きが $200\mu\text{m}$ の時の曲げ強度を推測すると、マンガン酸化物(MOX-Pu)無添加では 30.8MPa で、現状の1.75倍となり25%軽量化に相当し、マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加することにより 35.2MPa と曲げ強度は高くなり、現状の2倍の30%軽量化に相当することがわかった。

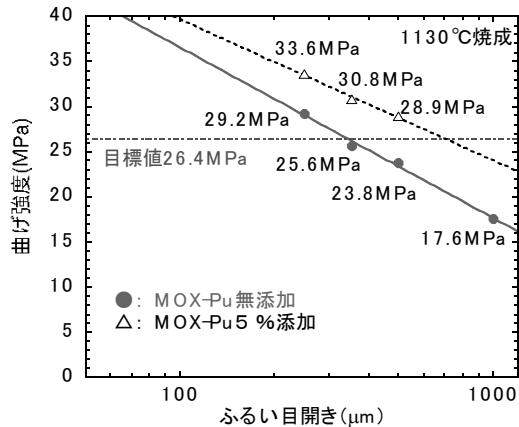


図9 マンガン酸化物(MOX-Pu)添加品の曲げ強度

マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加した試料の吸水率(3h煮沸吸水法)の結果を図10に示す。比較としてマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加のデータも図中に併記した。マンガン酸化物(MOX-Pu)の添加により、いずれの粒径においても吸水率は大幅に減少した。 $250\mu\text{m}$ 全通品では0.4%となり、マンガン酸化物(MOX-Pu)添加は焼き締まりに効果があった。このことは、より低温で焼成できることを示唆している。

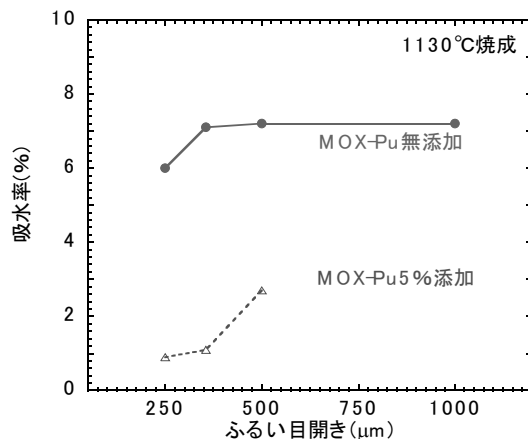


図10 マンガン酸化物(MOX-Pu)添加品の吸水率

4. 結び

現行の製品形状を大幅に変更することなく、軽量化を図るため、肉厚を薄くしても製品の強度低下を及ぼさない高強度素地の開発を行った。瓦用配合粘土の粗粒除去やマンガン酸化物(MOX-Pu)などの添加剤により、現状の配合粘土に比べて50%以上の強度向上する素地を開発し、20%以上の軽量化を図った。本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 粗粒除去では、 $250\mu\text{m}$ 全通品の曲げ強度は 29.2MPa で、現行配合土の曲げ強度と比べて66%の強度向上となった。
- (2) 吸水率(3h煮沸吸水法)は現状の配合粘土の場合では7.2%で、粗粒除去した $250\mu\text{m}$ 全通品では6.0%となり、大きく低下しなかった。
- (3) 粗粒除去後、マンガン酸化物(MOX-Pu)を5%添加した試料の曲げ強度はそれぞれ大きくなった。 $250\mu\text{m}$ 全通品は 33.6MPa となり、マンガン酸化物(MOX-Pu)無添加と比べて15%向上となった。
- (4) ふるい目開きが小さくなることによる高強度化の効果はマンガン酸化物(MOX-Pu)無添加では大きいですが、マンガン酸化物(MOX-Pu)5%添加では小さくなっていった。
- (5) また、マンガン酸化物(MOX-Pu)5%添加の吸水率(3h煮沸吸水法)は $250\mu\text{m}$ 全通品では0.4%と小さくなり、マンガン酸化物(MOX-Pu)添加は焼き締まりに効果があった。したがって、より低い温度で焼成できる可能性があることがわかった。

謝辞

本研究に使用した配合粘土の供給にあたり(株)協栄粘土製造に協力いただきました。ここに記して厚く感謝いたします。

文献

- 1) Coble, J. Am. Ceram. Soc., **39**, 377 (1956)
- 2) A. A. Griffith, Phil. Trans Roy. Soc., **221**, 163 (1920)
- 3) Kirchner, J. Am. Ceram. Soc., **53**, 232 (1970)
- 4) 片岡泰弘ほか: 愛知県産業技術研究所研究報告, **6**, 62 (2007)