

# 熱間発泡による多孔化技術の開発 (第3報)

## —断熱性タイルの開発—

山口 知宏 深谷 英世 星 幸二 山崎 達夫 伊藤 政巳

Development of Porous Ceramics by Hot Foaming(Part III)

—Development of Heat Insulating Tiles—

by

Tomohiro YAMAGUCHI, Hideyo FUKAYA, Koji HOSHI, Tatsuo YAMAZAKI and Masami ITO

曲げ強さが大きく、耐摩耗性に優れた断熱性タイルの開発を目的に、赤粘土長石及び白粘土長石を用いて、発泡層とち密層の二層構造からなる発泡体を1100~1200℃焼成で作製し、そのかさ比重、吸水率、曲げ強さ、耐摩耗性、熱伝導率、断熱性を評価した。赤、白粘土長石を1200℃で焼成することにより、各々かさ比重が0.48、0.70、吸水率が0.62%、0.71%の二層発泡体(二層比:0.13)が得られた。1200℃焼成の一層発泡体の曲げ強さは、二層化(二層比:0.13)により赤粘土長石では2.1MPaから3.8MPaに、白粘土長石では3.2MPaから5.0MPaに増加した。また、摩耗減量は二層化(二層比:0.13)によりいずれも0.02g以下と小さくなった。赤、白粘土長石の二層発泡体の熱伝導率はそれぞれ0.14W/mK、0.21W/mKであった。赤粘土長石の二層発泡体はALCやサイディング材と同程度の断熱性を持つことが分かった。

### 1. まえがき

前報<sup>1,2)</sup>では、発泡剤の種類、量、粒度及び原料粒度等が多孔化に及ぼす影響を検討し、発泡体の製造条件とその基本物性を明らかにした。

発泡層のみの一層構造からなる発泡体は、断熱性を向上させるために、かさ比重を小さくすると曲げ強さが低下する。十分な曲げ強さを保つためには、あまりかさ比重を小さくすることができず、高い断熱性は期待できない。

本研究では、発泡層とち密層の二層構造からなる発泡体を作製することにより、小さなかさ比重を維持しながら、曲げ強さが大きく、耐摩耗性に優れた断熱性タイルの開発を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試験体の作製

原料には赤粘土長石及び白粘土長石の2種類を、発泡剤には平均粒子径4 $\mu$ mのSiCを用いた。

原料にSiCを0.5%添加し、水とバインダーを少量ずつ加え、らいかい機を用いて十分に混合した後、ふるいを通すことにより1mm程度に造粒した(これを発泡層とする)。また、SiCを添加しないものについても同様に造粒した(これをち密層とする)。

金型に1g/cm<sup>3</sup>の割合で発泡層を充填した後、所定の割合のち密層を入れ、発泡層とち密層の二層構造を形成するように、成形圧10MPaでプレスすることにより成形した。なお、発泡層に対するち密層の重量比(ち密層/発泡層=二層比)は、0~1までとした。以下、発泡層とち密層の二層構造からなる発泡体を二層発泡体、ち密層を持たず発泡層のみの一層構造からなる発泡体を一層発泡体と呼び、区別する。なお、ち密層のみからなる焼結体は素地単体と呼ぶ。

焼成温度は1100、1150、1200℃の3段階で、12時間昇温、1時間保持で焼成した。白粘土長石の発泡体の場合、冷却速度を速くすると鮮やかな白色になり、100℃/h程度まで遅くすると赤味を帯びる。今回は、鮮やかな白色を呈する白粘土長石の発泡体を得るため、冷却は自然放冷(初期冷却速度:約450℃/h)により行った。

#### 2.2 品質評価

焼成体のかさ比重及び吸水率は、水中にて3時間煮沸した後、水中、飽水及び乾燥重量を測定して求めた。曲げ強さは、角柱状の試験体を用いて、3点曲げ法で、スパン30mm、クロスヘッド速度0.5mm/minで測定した。耐摩耗性は、落砂式摩耗試験機を用いて1100mmの高さからSiCを10kg落下させたときの摩耗減量により評価した。熱伝導率は非定常熱線法により求めた。断熱性は、厚さ1cmの各種素材の裏面温度を一定(50℃)に保ちながら、室温(20℃)下で測定した表面温度により評価した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 かさ比重

赤粘土長石及び白粘土長石の焼成温度とかさ比重の関係を図1に示す。

赤、白粘土長石一層発泡体のかさ比重はいずれも焼成温度の上昇とともに減少し、1200℃焼成において赤粘土長石で0.44、白粘土長石で0.55となった。これらを二層比0.13で二層化すると、かさ比重はそれぞれ0.48、0.70と一層発泡体に比べて若干増加したものの、小さなかさ比重を保った二層発泡体が得られた。また、1200℃焼成において二層比を増加すると、かさ比重はどちらも直線的に増加し、二層比1で各々0.80、0.94となった。焼成温度の高い領域における赤粘土長石単体のかさ比重は、白粘土長石単体のものより小さくなっている。これは赤粘土長石の方が白粘土長石より鉄分を多く含むため、素地自体から発泡することによると思われる。また、一層及び二層発泡体において赤粘土長石の方が白粘土長石よりかさ比重が小さくなるのは、SiCの発泡に素地自体の発泡が加わるためと考えられる。

#### 3.2 吸水率

次に、赤、白粘土長石の焼成温度と吸水率の関係を図2に示す。

赤、白粘土長石とも素地単体の吸水率は0.00~0.05%と小さかった。赤、白粘土長石の一層及び二層発泡体の吸水率は素地単体に比べて大きく、また、焼成温度の増加とともに増加した。1200℃焼成における一層発泡体の吸水率は、赤粘土長石で1.0%、白粘土長石で0.95%であったが、二層発泡体(二層比:0.13)の吸水率は、各々0.62%、0.71%となり、減少した。また、1200℃焼成における二層発泡体の吸水率は、どちらも二層比の増加とともに減少し、二層比1で各々0.53%、0.44%となった。以上より、焼成温度1100~1200℃、二層比0~1のいずれの領域でも、二層発泡体の吸水率は1.0%以下と小さな値を示すことが分かった。

#### 3.3 曲げ強さ

赤、白粘土長石の焼成温度と曲げ強さの関係を図3に示す。

赤、白粘土長石とも素地単体の曲げ強さは、焼成温度の増加とともに減少したが、1200℃焼成体においても20MPa以上と大きかった。しかし、発泡させることや焼成温度を上げることで減少し、1200℃焼成の一層発泡体の曲げ強さは、赤粘土長石で2.1MPa、白粘土長石で3.2MPaと小さくなった。これらを二層化(二層比:0.13)

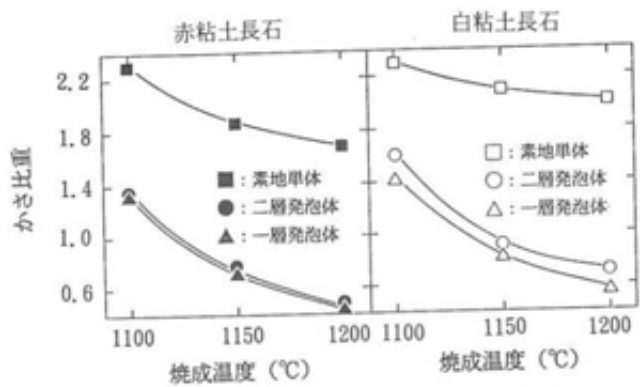


図1 粘土長石及び発泡体のかさ比重

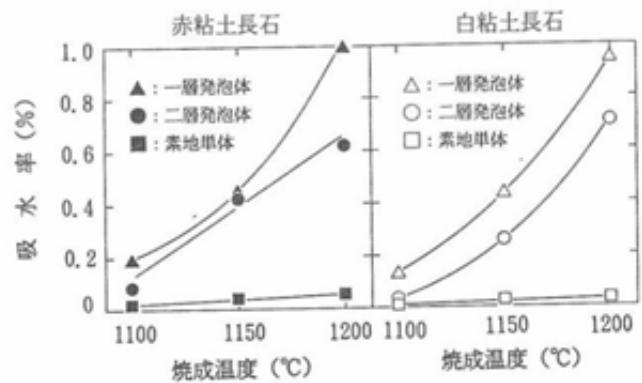


図2 粘土長石及び発泡体の吸水率

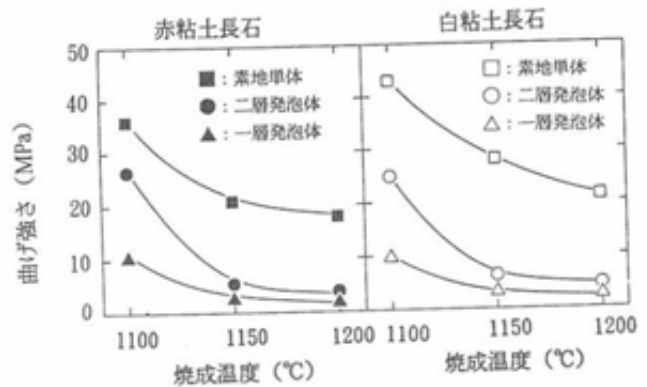


図3 粘土長石及び発泡体の曲げ強さ

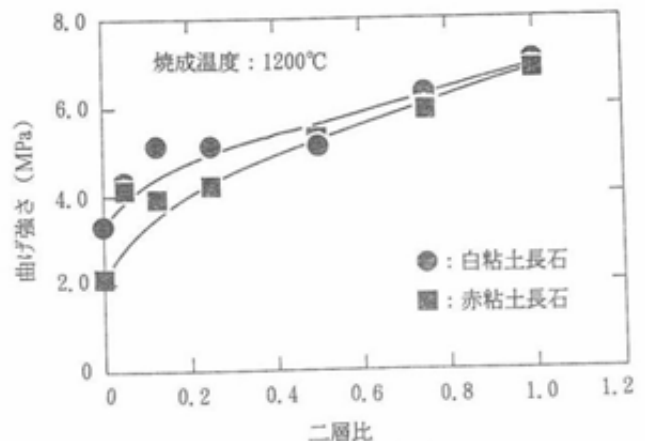


図4 二層比と曲げ強さ

すると、赤粘土長石の場合3.8MPa、白粘土長石の場合5.0MPaとなり、曲げ強さが向上した。

さらに、二層比を増加させて曲げ強さを測定した結果を図4に示す。二層比の増加にともない曲げ強さは増加し、二層比1で赤粘土長石が6.7MPa、白粘土長石が6.9MPaとなり、一層発泡体に比べて2～3倍程度の曲げ強さになった。これらのことから、二層化は曲げ強さの向上に有効であることが分かった。

### 3.4 耐摩耗性

赤粘土長石の焼成温度と摩耗減量の関係を表1に、白粘土長石の焼成温度と摩耗減量の関係を表2に示す。

赤、白粘土長石とも、素地単体の摩耗減量は0.00～0.02gと小さかったが、一層発泡体では、特に、焼成温度の高い領域で摩耗減量が大きくなった。例えば、1200℃焼成における赤粘土長石の場合が0.41g、白粘土長石の場合が0.23gであった。これらを二層化（二層比：0.13）により表面をち密にすると、摩耗減量は各々0.01g、0.02gに減少し、小さな値となった。

また、二層比と摩耗減量の関係を表3に示す。摩耗減量は二層比0.05で既に小さくなっており、これ以上ではいずれも0.01～0.02gと小さな値であった。二層比0.05のときのち密層の厚さは0.2～0.3mmで、この程度の厚みで耐摩耗性は付与できる。これらのことから、二層化は耐摩耗性の付与に有効であることが分かった。

表1 赤粘土長石の摩耗減量 (g)

焼成温度	1100℃	1150℃	1200℃
素地単体	0.00	0.01	0.01
一層発泡体	0.00	0.07	0.41
二層発泡体	0.00	0.02	0.01

表2 白粘土長石の摩耗減量 (g)

焼成温度	1100℃	1150℃	1200℃
素地単体	0.02	0.01	0.01
一層発泡体	0.01	0.07	0.23
二層発泡体	0.02	0.01	0.02

表3 二層比と摩耗減量 (g)

二層比	0	0.05	0.13	0.25	0.5	0.75	1
赤粘土長石	0.41	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
白粘土長石	0.23	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01

### 3.5 熱伝導率及び断熱性

赤、白粘土長石の焼成温度と熱伝導率の関係を図5に示す。

赤、白粘土長石とも、一層及び二層発泡体（二層比：0.13）の熱伝導率は素地単体のものより小さく、いずれも焼成温度の増加にともない減少した。一層発泡体と二層発泡体の熱伝導率は同程度であった。これは二層比が0.13と小さいため、熱伝導率に及ぼす影響が小さかったものと思われる。また、1200℃焼成における赤、白粘土長石の二層発泡体の熱伝導率はそれぞれ0.14W/mK、0.21W/mKで、断熱れんが（0.30W/mK）やサイディング材（0.28W/mK）のものより小さくなった。特に、赤粘土長石の二層発泡体の熱伝導率は木材（0.14W/mK）やALC（0.15W/mK）のものと同ほ等しい値となり、優れた断熱性を持つものと思われる。

ここで求めた熱伝導率は、非定常熱線法の測定法上、表面近くの比較的小さな部分の組成や構造に対応した値となる。また、木材やサイディング材などのような繊維質多孔体は、熱流が繊維方向と直角の場合と平行の場合では熱伝導率が異なる。そこで、断熱性は実際の使用を考慮して、各種素材（厚さ：1cm）の裏面温度を一定（50℃）に保ち、室温（20℃）下で測定した表面温度により評価した。この表面温度が小さいものほど、断熱性に優れているといえる。

各種素材の表面温度を図6に示す。図から、一般的なタイルの場合、表面温度と裏面温度の差が小さく、断熱性はほとんどない。1200℃焼成における赤粘土長石の二層発泡体の表面温度は木材よりは高いものの、ALCやサイディング材とほぼ同じ値となり、これらのものと同程度の優れた断熱性を持つことが分かった。また、赤粘土長石の二層発泡体は白粘土長石の二層発泡体より表面温度が低く、両者を比較すると赤粘土長石の方が断熱性が良かった。これは、赤粘土長石の方が気孔率が大きいことによると考えられる。

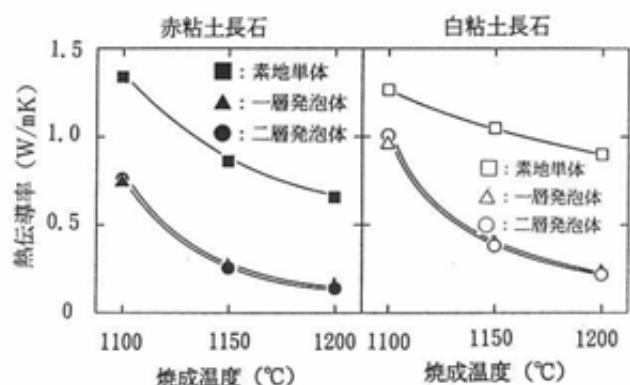


図5 粘土長石及び発泡体の熱伝導率

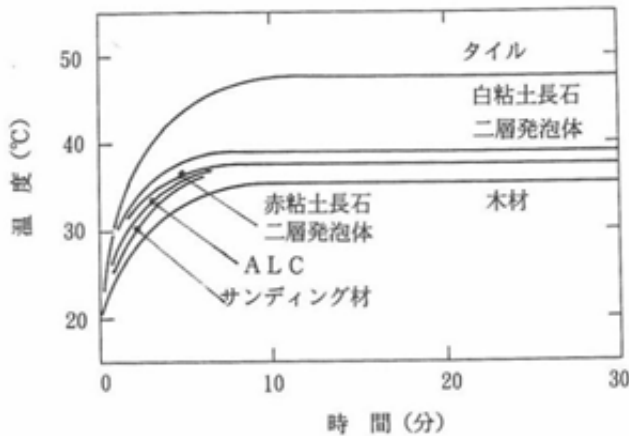


図6 各種素材の断熱性

#### 4. ま と め

- (1) 赤、白粘土長石を1200℃で焼成することにより、各々かさ比重が0.48、0.70、吸水率が0.62、0.71%の二層発泡体（二層比：0.13）が得られた。
- (2) 1200℃焼成における赤、白粘土長石の一層発泡体の曲げ強さは、二層化（二層比：0.13）することにより、赤粘土長石では2.1MPaから3.8MPaに、白粘土長石では3.2MPaから5.0MPaに増加し、二層化は曲げ強さの向上に有効であった。

- (3) 1200℃焼成における赤、白粘土長石の一層発泡体の摩耗減量は各々0.41g、0.23gと大きかったが、二層化（二層比：0.13）することにより、いずれも0.02g以下と小さくなり、二層化は耐摩耗性の付与に有効であった。
- (4) 1200℃焼成の赤、白粘土長石の二層発泡体（二層比：0.13）の熱伝導率はそれぞれ0.14W/mK、0.21W/mKで、断熱れんが（0.30W/mK）やサイディング材（0.28W/mK）のものより小さくなった。特に、赤粘土長石の二層発泡体の熱伝導率は木材（0.14W/mK）やALC（0.15W/mK）のものと同ほ等しい値となった。
- (5) 1200℃焼成の赤粘土長石の二層発泡体（二層比：0.13）は木材より断熱性は劣るものの、ALCやサイディング材と同程度の優れた断熱性を持つことが分かった。また、赤粘土長石の二層発泡体の方が白粘土長石の二層発泡体より断熱性が優れていることが分かった。

#### 文 献

- 1) 山崎達夫, 山口知宏, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 20, 1~4(1993).
- 2) 山口知宏, 山崎達夫, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 20, 5~10(1993).