

床暖房用タイルの試作研究

竹内 繁樹^{*1}、福永 均^{*1}

Trial of Tile for Floor Heating

Shigeki TAKEUCHI^{*1} and Hitoshi FUKUNAGA^{*1}

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1}

前年度にタイルの中にアルミナによる熱橋を形成して熱伝導率を向上させる技術を開発した。本年度は、その技術を用いた床暖房用タイルの製品化について検討した。製品化の課題であるアルミナ原料とタイル原料との焼成収縮の差による変形などの欠点は、アルミナ原料へ新粘土長石を添加することにより解決した。試作した二丁掛けタイルの加熱試験を行いその熱的特性について調べた結果、熱橋形成タイルの見かけの熱伝導率 λ_{eff} はタイル素地単味に比較して 30%以上高いことがわかった。

1. はじめに

快適な温熱環境を提供する暖房方式として、床暖房が注目され、各種施設をはじめ一般の住宅にも普及が進んでいる。このため、床暖房システムの商品開発も活発に行なわれており、その仕上げ材としてタイルの需要も見込まれる状況にある（図1）。

そこで、本研究では床暖房システムの仕上げ材としてタイル使用の促進を図る目的で、タイルの熱伝導率向上を検討した。前年度において、タイルの中にアルミナによる熱橋を形成して熱伝導率を向上させる技術¹⁾を開発した（図2）。本年度は、その技術を用いたタイルの試作を行い、その製品化について検討した。

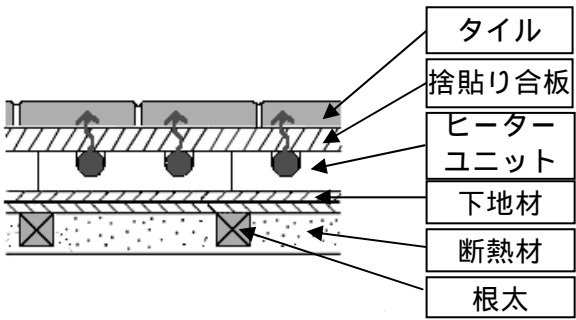


図1 床暖房の床構造（根太上設置方式）

2. 実験方法

2.1 熱橋形成タイルの試作

素地の中にアルミナにより熱橋を形成したタイルの試作を行なった。この熱橋形成タイルでは、タイル素地に比べアルミナ熱橋部の焼成による収縮が小さいため、焼成後に熱橋部分のタイル素地が突出してしまう（表1、図3）。また、二丁掛けタイルを試作するため、等間隔に3箇所の熱橋形成を試みたところ、焼成によりタイルの長辺で側ソリのような変形が発生した（図3）。このような変形を防ぐため、熱橋部の焼成収縮をタイル素地に合わせることが製品化に向けての課題となった。

2.1.1 焼成収縮の調整

アルミナの焼成収縮の調整を微粉碎長石の添加により検討した。微粉碎長石は、長石質原料を粉碎する工程で上澄み水に浮遊している微細な粒子を回収したもの²⁾である。本研究では、常滑地区でタイル素地の焼結性の

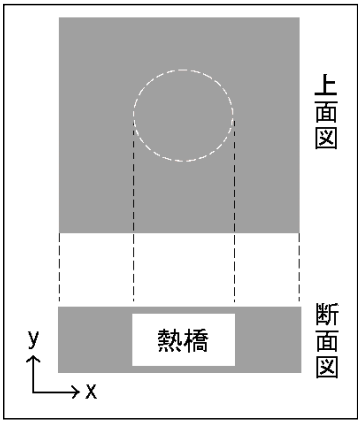


図2 熱橋形成タイル模式図

表1 顆粒原料の全収縮 (%)

焼成温度	1200	1240
タイル素地	6.7	7.0
アルミナ	3.5	4.4

^{*1} 常滑窯業技術センター 開発技術室

調整に利用されている新粘土長石（岐阜県瑞浪市釜戸町で産出する微粉碎長石）を実験に用いた。新粘土長石をアルミナ（昭和電工製 AL-160SG-4）に対して 20、25、30、40%添加して、ポリビニルアルコール（PVA）をバインダーとして外割り 0.4%添加して顆粒を作製した。これらの顆粒を 20MPa でプレス成形し 10×10×50mm の試験体を作製した。試験体は風乾の後、昇温速度 100 /h で 1200、1240 の 2 段階の温度で 1 時間保持する条件でそれぞれ焼成した。また、比較のため、タイル素地単味を同様にプレス成形し焼成した。これらの試験体を用いて、全収縮率、平均熱膨張係数(30～700)を測定した。

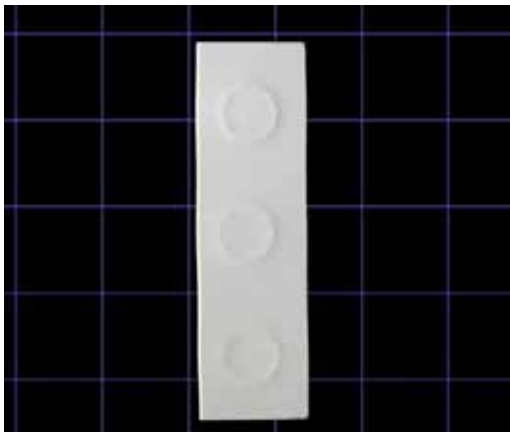


図3 試作タイルに生じた変形及び突出
突出部を強調するため斜め方向から照明を行なった。

2.1.2 二丁掛けタイルの試作

2.1.1 の実験結果から焼成収縮等がタイル素地に適合する新粘土長石の添加量を決定し、アルミナ顆粒を調製した。

試作タイルの成形は、タイルの長手方向に等間隔に 3 箇所熱橋が形成できるように、アルミナ顆粒とタイル素地顆粒を分けて金型に投入し、成形圧 20MPa でプレス成形した。得られた試作タイルを風乾した後、昇温速度 100 /h で 1200、1240 の 2 段階の温度で 1 時間保持する条件でそれぞれ焼成した。また、比較のため、タイル素地単味で二丁掛けタイルを同じ条件で成形・焼成した。

2.2 試作タイルの熱的特性評価

試作タイルの熱的特性について調べるため、熱橋形成タイルとタイル素地単味で試作した二丁掛けタイルで加熱試験を行なった。試験は施工状態と同様に、タイル下面からタイル内部を通してタイル表面へ熱が流れるように、図4に示すようにタイル下面に面状発熱体（シリコンラバーヒーター、100×250mm）を接着して、タイル

側面及びヒーター下面を断熱するため、それぞれウレタンフォームで覆って行なった（図5）。ヒーターの発熱量は 270W/m² となるように調整した。

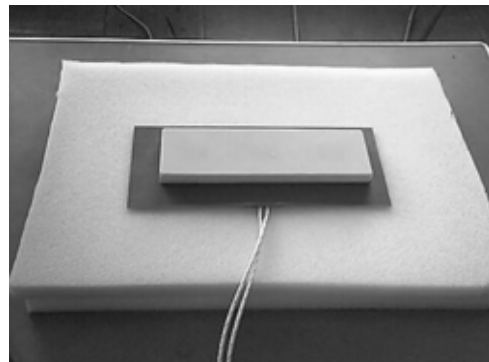


図4 加熱試験
タイル下面に面状ヒーターを接着した状態

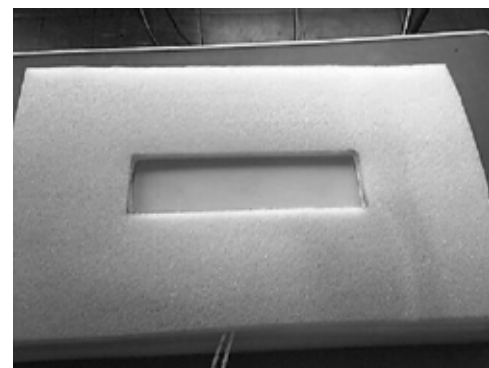


図5 加熱試験
ウレタンフォームでタイル側面及びヒーター下面を断熱した状態

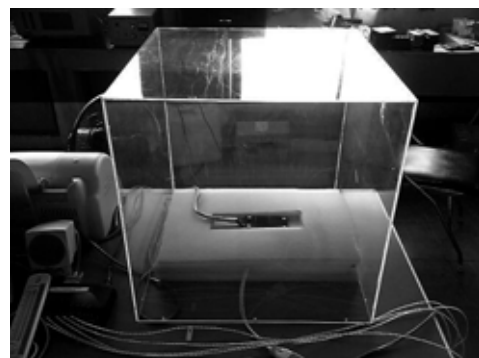


図6 加熱試験（熱流束測定）
タイル表面に熱流センサーを接着
アクリル製風防内で測定

2.2.1 熱流束測定

熱流束の測定は、図6に示すように、タイル表面に熱流計のセンサー（50×100mm）を、タイル下面に熱電対をそれぞれ接着して、アクリル製風防（45cm 立方）内で無風の状態で行なった。

2.2.2 熱画像測定

2.2.1 と同様にタイル下面からシリコンラバーヒーターによる加熱を行い、熱画像装置（Fluke 社製 Ti30）を用いて、表2の条件でタイル表面の温度分布を測定した。得られた熱画像からタイル表面の温度分布について解析を行なった。

表2 熱画像測定条件

項 目	測定条件
試験体までの距離	72cm
放射率 ε	0.90
測定の間隔	1 分

3．実験結果及び考察

3.1 熱橋形成タイルの試作

3.1.1 焼成収縮の調整

新粘土長石を添加したアルミナ原料及びタイル素地単味で作製した試験体の全収縮率、平均熱膨張係数（30～700℃）を図7、8に示す。なお、図中に比較のために、タイル素地単味での全収縮率、平均熱膨張係数を破線で示した。これらの結果から、タイル素地との差が少ない25、30%の長石添加量で調製したアルミナ顆粒を用いれば、試作タイルの変形等が防止できると考えた。

3.1.2 二丁掛けタイルの試作

3.1.1の結果から、25、30%の長石添加量で調製したアルミナ顆粒を用いて、二丁掛けタイルの試作を行なった。これらの試作タイルでは熱橋部のタイル素地の突出及び長辺での変形は見られなかった（図9）。しかし、30%長石添加アルミナを使用して作製した試作タイルを1240℃焼成したものは、熱橋部直上部分にき裂が発生した。このことから、実用的なアルミナへの新粘土長石添加量は25%が最適であることがわかった。

3.2 試作タイルの熱的特性評価

3.2.1 熱流束値測定

加熱試験で測定したタイル下面の温度の時間による変化を図10に示す。加熱開始後3時間以上で温度がほぼ変化しなくなることから、4時間から4時間30分の間のタイル下面温度およびタイル表面温度、熱流束値（J）を用いて、次式から見かけの熱伝導率（ λ_{eff} ）を計算した。

$$\lambda_{eff} = J \frac{1}{\Delta T} \quad [W / m K]$$

J : 熱流束値 [W / m²]

l : タイルの厚さ [m]

ΔT : タイル下面とタイル表面の温度差 [K]

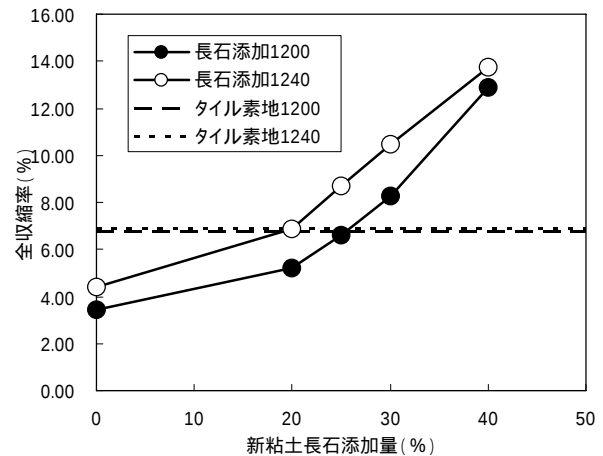


図7 新粘土長石添加量と全収縮率

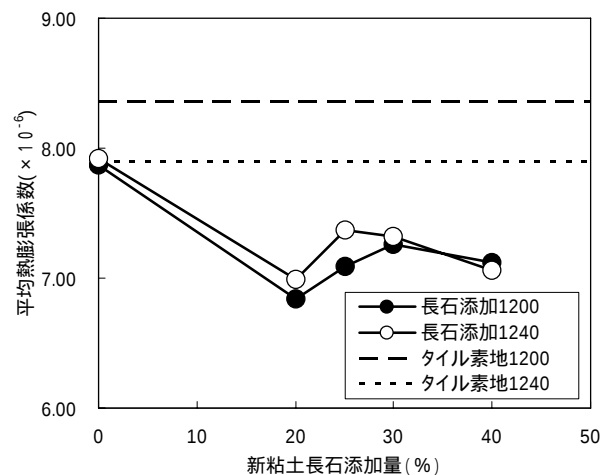


図8 新粘土長石添加量と平均熱膨張係数（30～700℃）



図9 試作タイルの比較

左：アルミナへ新粘土長石 25% 添加
右：アルミナへの添加なし

表3に熱橋形成した試作タイルとタイル素地単味の試作タイルでの見かけの熱伝導率を示す。それぞれの値は、加熱試験を5回繰り返した結果から算出した λ_{eff} を平均したものである。表3からも明らかなように、熱橋形成した試作タイルの見かけの熱伝導率は、同じ焼成温度のタイル素地単味の試作タイルに比べ、30%以上も高い値が得られている。

3.2.2 熱画像測定

加熱試験において、試作タイル表面の温度が30℃に達したときの熱画像を用いて、タイル中央を水平に横断する線上の温度分布について解析を行なった(図11)。タイル素地単味と熱橋形成でその温度分布について比較したところ、顕著な差は見られなかった。

4. 結び

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 熱橋形成タイルの試作において、熱橋部のタイル素地の突出及び長辺で生じる変形は、アルミナへ新粘土長石を添加し、熱橋部の焼成収縮及び熱膨張を調整することにより解決できた。

(2) 施工状態を想定した加熱試験を行い、熱流束値、タイル表面及び下面温度から算出した見かけの熱伝導率 λ_{eff} が、熱橋形成タイルはタイル素地単味に比べ30%以上高いことが確認できた。また、加熱試験において熱画像解析を行なったところ、熱橋形成タイルとタイル素地単味の表面の温度分布に顕著な差は見られなかった。

文献

1) 竹内繁樹, 濱口裕昭, 福永 均: 愛知県産業技術研究所研究報告, 5, 92 (2006)

2) 光松正人, 山崎達夫, 榊原 満: 愛知県常滑窯業技術センター報告, 15, 7 (1988)

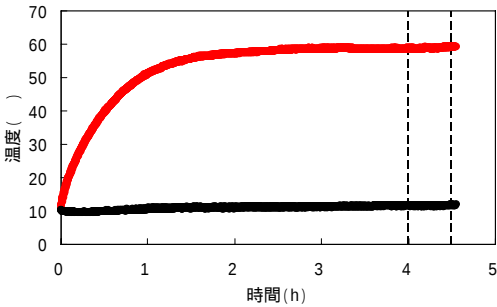


図10 ヒーターによる加熱試験の測定例
● : タイル下面 ● : 室温

表3 見かけの熱伝導率 (5回測定の平均値)

試作タイル		λ_{eff} [W/mK]
1200 焼成	熱橋形成	0.79
	タイル素地単味	0.57
1240 焼成	熱橋形成	0.94
	タイル素地単味	0.72

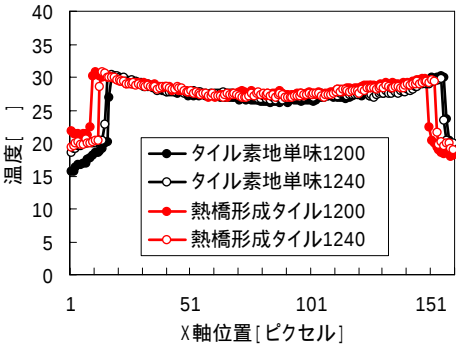


図11 タイル表面の温度分布