

床暖房用タイルの開発

竹内繁樹^{*1}、濱口裕昭^{*1}、福永均^{*1}

Development of Tile for Floor Heating

Shigeki TAKEUCHI^{*1}, Hiroaki HAMAGUCHI^{*1} and Hitoshi FUKUNAGA^{*1}

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC^{*1}

陶磁器質タイルの熱伝導率を向上させて床暖房用仕上げ材に適した建材とするための技術について検討した。本研究では、タイル素地内部に熱伝導率の高いアルミナを用いて熱橋を形成した。熱橋の形状として、円柱、円錐台、フランジ付円柱の3種類の試験体を作製した。熱橋形成したタイルでは、いずれも現行素地より高い熱伝導率が得られ、その昇温特性も向上する傾向が示された。また、熱画像測定から、熱橋形状によりタイル表面の温度分布が異なることがわかった。

1. はじめに

近年、床暖房は各種施設をはじめ一般の住宅にも普及が進んでおり、その市場を拡大している。それに伴い、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高まってきている。

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、高い熱伝導性などの熱的特性をタイルに付与する技術について検討した。

2. 床暖房システムの概要

床暖房は、床下に温水や電気ヒーターなどの熱源を設置して床面を暖めて暖房を行なう。その構造は、暖房用途や熱源の種類、床構造により多岐にわたる。それらのうち、仕上げ材にタイルを用いた床暖房の断面図を図1に1例として示す¹⁾。

床暖房は温風ヒーターやエアコンなどの対流暖房方式と比較すると、室内垂直方向の温度むらがほとんどないことや室内空気の乾燥や汚染が少ないなどの特長をもっている。しかし、運転開始から快適温度に達するまでに長い時間がかかることやランニングコストが高いことなどが課題となっている²⁾。このため、ヒーターユニットや施工法などの改良が行なわれている。

ここで、図1のタイルの中を通りヒーター側(高温側)から室内側(低温側)に向かう熱流束 q に注目すると、 q は(1)式で表される³⁾。(1)式より、タイルの中を通り室内側に供給される熱流束 q を大きくするためには、タイルの熱伝導率 λ を高くする、温度差 $(\theta_h - \theta_l)$ を大きくする、タイルを薄くすればよいことがわかる。しかし、実際には温度差 $(\theta_h - \theta_l)$ を大きくするためヒーター

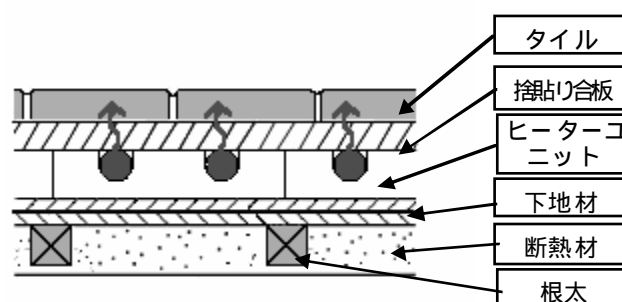


図1 床暖房の床構造（根太上設置方式）

を高温にして運転すると、木材の発火や床に接触している身体部位の低温やけどの恐れなどから制約がある。また、タイルを薄くすることについても、床材としての強度を保つため制約がある。このことから、タイルの熱伝導率を高めることは、床暖房システムの熱効率を向上させる現実的な手段と考えられる。

$$q = \frac{\lambda \times (\theta_h - \theta_l)}{L} \quad (1)$$

q : 熱流束[W/m²]

λ : タイルの熱伝導率[W/mK]

$\theta_h - \theta_l$: 高温側と低温側の温度差[K]

L : タイルの厚さ[m]

*1 常滑窯業技術センター 開発技術室

3．実験方法

3.1 熱橋形成タイルの作製

断熱された建物の外壁などに、部分的に熱を伝えやすい物や状態があると、その部分から橋を渡るように熱が出入りすることから「熱橋」という。タイル素地の中にこのような熱橋を形成し、タイルの熱的特性へ及ぼす影響について調べた。ここでは、熱橋部分には熱伝導率の高いアルミナを用いることとした。

熱橋形成タイルの作製は、顆粒に調製された商業用タイル原料と昭和電工株式会社製アルミナ（AL160SG-4）を用いて行なった。アルミナは、表1に示す重量比で、水及びポリビニールアルコール（PVA）を用いて顆粒に調製した。得られたアルミナ顆粒を用いて、図2に示すように、タイル内部にアルミナによる熱橋を形成させるために、アルミナ顆粒とタイル原料顆粒を分けて金型に投入しプレス成形した。成形圧 20MPa で成形した試験体は、75×75mm、厚さ約 16mm の寸法となった。試験体内部に形成する熱橋は、円柱、円錐台、フランジ付円柱の3形状を、それぞれ表2に示すタイル原料に対するアルミナ重量比で作製した。

成形体を風乾した後、電気炉で昇温速度 100 / h、焼成温度 1200、1240、それぞれ1時間保持で焼成した。得られた焼成体について、非定常熱線法による熱伝導率測定と吸水率の測定を行なった。

3.2 熱橋形成タイルの熱的応答性評価

3.2.1 昇温特性

施工状態を想定して、タイル下面を熱源で加熱したときのタイル表面の温度上昇について調べた。熱源はシリコンラバーヒーターを使用し、タイル下面に両面テープで接着した。ヒーターとタイルの接着面及びタイル表面に熱電対（銅 - コンスタンタン）を接着して、加熱に伴うそれぞれの温度変化をデータロガーで記録した。試験は、ヒーター下面及びタイル側面をウレタンフォームで覆い、45cm 立方のアクリル製風防内で行った。

3.2.2 表面温度分布

3.2.1 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3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。

4．実験結果及び考察

4.1 熱橋形成タイルの熱伝導率

作製した熱橋形成タイルの切断面を写真に示す。ま

表1 アルミナ顆粒の調査

原料名	アルミナ	PVA	水
重量(g)	100	0.4	20

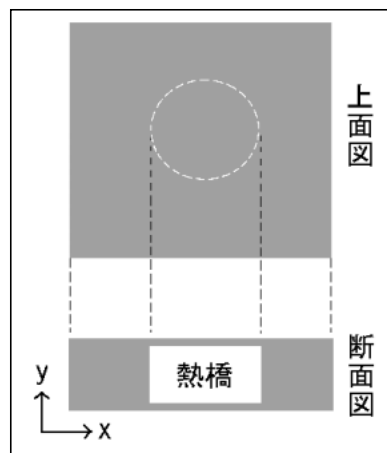


図2 熱橋形成タイル模式図

表2 熱橋の形状イメージ及びアルミナ重量比

円柱	円錐台	フランジ付円柱
アルミナ重量比 10%	アルミナ重量比 10、20%	アルミナ重量比 10、20%

表3 熱画像測定条件

項目	測定条件
試験体までの距離	61cm
放射率 ϵ	0.91
測定の間隔	1分

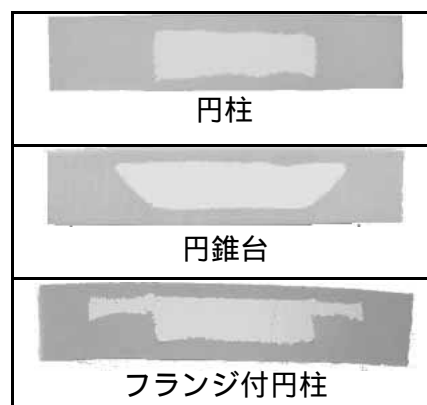


写真 熱橋形成タイルの切断面

た、表4にそれぞれの熱橋形状での熱伝導率を示す。

いずれの熱橋形状でも、現行素地に比べ高い熱伝導率が得られた。アルミナ重量比 20%の試験体の熱伝導率は、10%の試験体との差はわずかであった。

表4 熱橋形成タイルの熱伝導率（非定常熱線法）

熱橋の形状	熱伝導率 (W/mK)	
	1200 焼成	1240 焼成
現行素地	1.5	1.7
円柱(10%)	2.7	3.0
円錐台(10%)	2.6	2.9
フランジ付円柱(10%)	2.4	2.6
円錐台(20%)	2.8	3.2
フランジ付円柱(20%)	2.7	2.9

熱橋形成タイルの熱伝導率と吸水率との関係を図3に示す。比較のためアルミナをタイル原料に均質分散し、1200、1240、1300、1340、1380 で焼成した試験体での結果⁴⁾をあわせて示した。ただし、現行素地は1200、1240、1300 焼成体での結果である。この図から、熱橋形成タイルはアルミナを均質分散した場合に比べ、少ないアルミナ使用量で高い熱伝導率が得られることと、より低い焼成温度で吸水率の低い焼成体が得られることがわかる。

4.2 熱橋形成タイルの熱的応答性評価

4.2.1 昇温特性

タイル下面からヒーターで加熱したときに、タイル表面の温度が 30 から 40 まで 10 昇温するのに要した時間を、表5及び図4に示す。現行素地に対して、1200 焼成では、10～15%、1240 焼成では 5～15% 昇温時間の短縮が見られた。

表4の熱伝導率から予測されるように 1200 焼成体に比べ、1240 焼成体の 10 昇温時間が短くなっているが、アルミナ使用量が 20%の試験体では昇温時間が長くなっている。この原因として焼成時の局所的な発泡またはき裂の発生などが推定されるが、切断面の観察からは明らかにできなかった。

表5 熱橋形成タイルの昇温特性

熱橋の形状	10 昇温 時間(秒)	厚さ (mm)	気温 ()
1 現行素地	592	15.10	6.4
2 円柱(10%)	539	14.86	8.3
0 円錐台(10%)	522	14.96	10.1
0 フランジ付円柱(10%)	495	15.44	7.4
焼 円錐台(20%)	513	15.09	9.8
成 フランジ付円柱(20%)	532	15.56	9.5
1 現行素地	566	14.81	6.9
2 円柱(10%)	527	15.38	7.7
4 円錐台(10%)	497	14.73	7.4
0 フランジ付円柱(10%)	483	15.33	11.3
焼 円錐台(20%)	528	14.81	9.2
成 フランジ付円柱(20%)	535	15.32	11.0

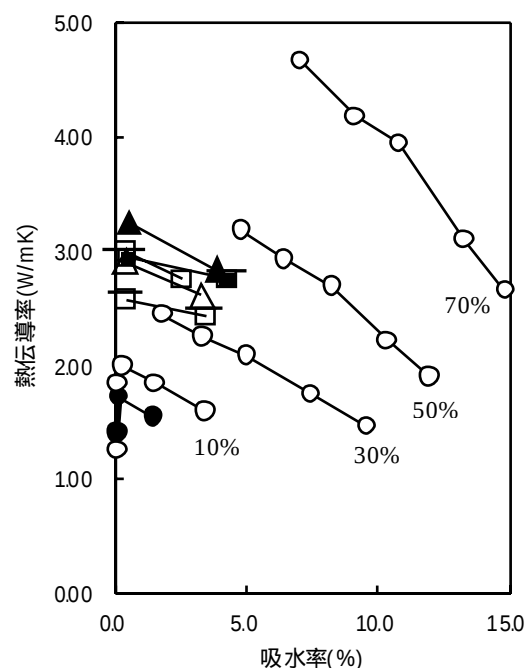


図3 熱橋形成タイルの熱伝導率と吸水率

- ：アルミナ均質分散(数字はアルミナ配合量)
- ：現行素地
- ：円柱(10%)
- ：円錐台(10%)
- ▲：円錐台(20%)
- ：フランジ付円柱(10%)
- ：フランジ付円柱(20%)

4.2.2 表面温度分布

タイル下面からの加熱により、タイルの表面温度が約 40 に達した時の表面温度分布について熱画像解析を行なった。その結果の一例を図5に示す。タイル表面中央の熱橋直上部に局所的に温度が高いホットスポットが観察された。そこで、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い、その線分析の結果をグラフ化し、比較を行なった(図6)。現行素地と比較すると、円錐台(10%)、円錐台(20%)、

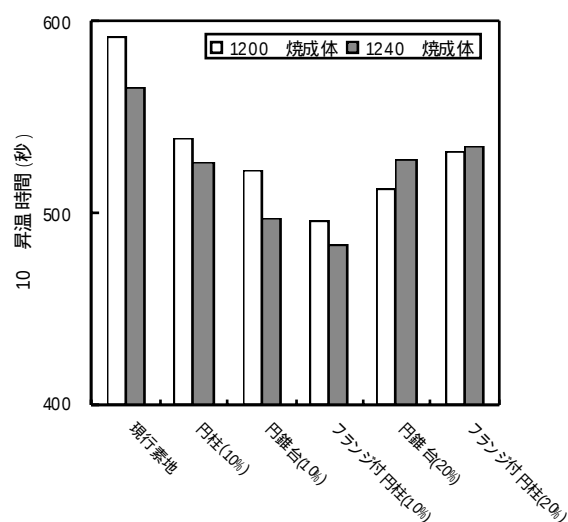


図4 熱橋形成タイルの昇温特性

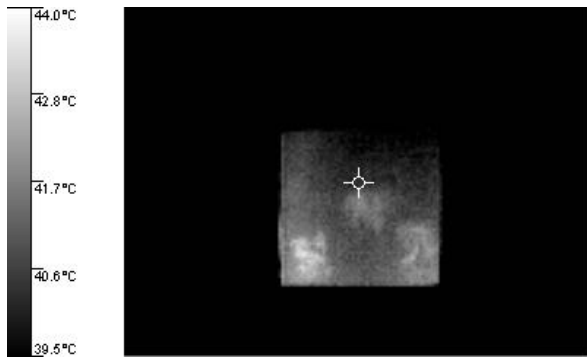


図5 フランジ付円柱（10%）の熱画像

フランジ付円柱（10%）はタイル表面中央が周囲に比べ温度が高くなっていることがわかった。円柱（10%）はわずかに中央の温度が高いもののほぼ均一な温度分布が得られた。フランジ付円柱（20%）では、極めて均一な表面温度分布が得られた。これらの結果は、例えば浴場洗い場やプールサイドなど人間の皮膚が直接接触する床暖房において、表面の温度ムラによる不快感が懸念される場合には、表面温度が均一になる熱橋形状を選定すれば対応が可能であることを示している。

5. 結び

タイル素地の中に熱伝導率の高いアルミナによる熱

橋を形成し、タイルの熱的特性へ及ぼす影響について調べた。熱橋の形状は円柱、円錐台、フランジ付円柱の3形状とした。

- (1) いずれの熱橋形状でも、現行素地に比べ高い熱伝導率（2.4W/mK以上）が得られた。
- (2) タイル下面からヒーターで加熱したときの昇温時間が、現行素地に比べ短縮される傾向を示した。
- (3) 熱画像測定から、熱橋形状によりタイル表面の温度分布が異なることがわかった。

文献

- 1)「床暖房設計・施工マニュアル」編集委員会編：床暖房設計・施工マニュアル，p34-35(2005)，オーム社
- 2) 国民生活センター：月刊たしかな目 10月号「暖房器具の安全性等」(2002)，国民生活センター
- 3) F. A. ホランドほか：伝熱工学基礎編，P 2(1974)，培風館
- 4) 竹内繁樹，深谷英世，山田義和：愛知県産業技術研究所報告，4，104-107(2005)

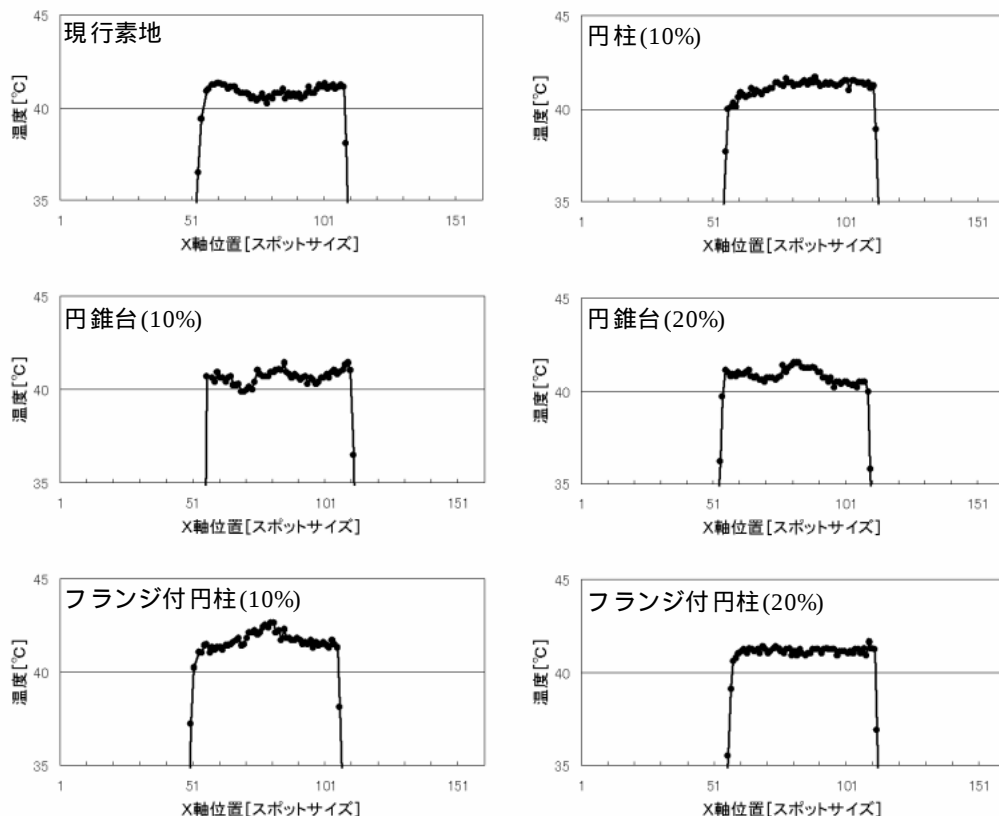


図6 タイル表面中央を横断する線上の温度分布（1240 焼成体）