

# 融雪舗装用タイルの熱伝導率向上技術

竹内繁樹<sup>\*1</sup>、深谷英世<sup>\*2</sup>、山田義和<sup>\*3</sup>

## Thermal Conductivity Improvement Techniques of Tile for Road Heating System

Shigeki TAKEUCHI, Hideyo FUKAYA and Yoshikazu YAMADA

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC<sup>\*1</sup> Principal Researcher<sup>\*2</sup>

Tokoname Ceramic Research Center, AITEC<sup>\*3</sup>

陶磁器質タイルの熱伝導率を向上させて融雪舗装に適した建材とするための技術について検討した。現行タイル素地は、高い焼成温度によるち密化を図っても、その熱伝導率は1.5~1.6W/mKが上限であり、bloatingが発生すると熱伝導率は低下した。このタイル素地に熱伝導率の高い第二相としてアルミナを導入する手法について、タイル素地に均質分散する場合と素地内部に熱橋を形成する場合を比較した結果、熱橋形成したタイルでは、2.0W/mKを超える熱伝導率と2.0%以下の低い吸水率を得ることができた。

### 1. はじめに

近年、車庫・舗道などの融雪舗装(ロードヒーティング、**図1**)への陶磁器質タイルの需要が見込まれるようになってきている。しかし、市販タイルの熱伝導率が1.0~1.4W/mKであるのに比べ、競合するコンクリート製品が1.7~3.6W/mKと高い熱伝導率をもつため、タイルは市場競争力に乏しい。そのため、タイルメーカーではタイルの熱伝導率を向上させる技術開発が求められている。

そこで、本研究ではタイルの熱伝導率を向上させるための技術について検討した。

### 2. ロードヒーティングの熱設計

ロードヒーティングシステムのヒーター及び熱源は、雪を溶かすのに必要な熱量と、大気及び地中に失われる熱量とを十分に供給できる能力が要求される。舗装体上の積雪の融解に必要な総熱量 $Q_{total}$ は、次式で表される<sup>1)</sup>。

$$Q_{total} = Q_m + Q_n + Q_{ep} + Q_{cp} + Q_{lp} + Q_{gp} + Q_p \quad (1)$$

- $Q_m$  : 0 の積雪を溶かす熱量
- $Q_n$  : - t の積雪を0 に暖める熱量
- $Q_{ep}$  : 路面上の水が蒸発するときの気化熱
- $Q_{cp}$  : 対流により流失する熱量
- $Q_{lp}$  : 放射により流失する熱量
- $Q_{gp}$  : 地中へ流失する熱量
- $Q_p$  : システム外縁から水平方向に流失する熱量

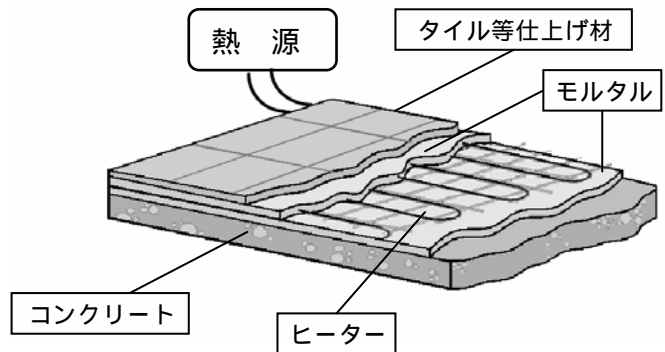


図1 ロードヒーティングシステム概要

(1)式のうち、直接融雪に寄与するのは、 $Q_m$ 、 $Q_n$ であり、それ以外は流失する熱量である。ここで、ヒーターから積雪に向かう熱の流れのうち、仕上げ材の中を通る熱量 $Q$ に注目すると、 $Q$ は次式で表される<sup>2)</sup>。

$$Q = K \times A \times (h - c) \quad (2)$$

- $K$  : 熱貫流率[W/m<sup>2</sup>K]
- $A$  : 面積[m<sup>2</sup>]
- $(h - c)$  : 温度差[ ]

(2)式の熱貫流率 $K$ は、仕上げ材が単層の場合については次式で表される。

$$K = \frac{Q}{l} \quad (3)$$

$l$  : 仕上げ材の厚さ[m]  
: 仕上げ材の熱伝導率[W/mK]

(2)、(3)式より、仕上げ材を通る  $Q_m$ 、 $Q_n$  を大きくして融雪のためのエネルギー効率を良くするためには、熱伝導率の高い材料を用いる必要があることがわかる。

### 3. 実験方法

#### 3.1 現行タイル素地の熱伝導率

顆粒に調製された商業用タイル原料を用いて、焼結によるち密化と熱伝導率の変化について調べた。試験体は、20MPa で 75×75mm、厚さ約 20mm にプレス成形し、昇温速度 100 / h、焼成温度 1120~1300、それぞれ 1 時間保持で焼成した。得られた試験体について、非定常熱線法による熱伝導率測定とかさ比重、吸水率の測定を行なった。

#### 3.2 第二相の導入による熱伝導率向上

陶磁器の焼結は、主に液相焼結によりち密化が進行するため、その微視的組織は石英やムライトなどの結晶質相、ガラス相、残留気孔からなる複合材料といえる<sup>3,4)</sup>。そして、それぞれの熱伝導率は、

結晶質相 > ガラス相 > 気孔 (内の空気)

の順に高い<sup>5)</sup>ことから、ガラス相に対する結晶質相の比率を高めれば陶磁器の熱伝導率向上を図ることが可能と考えられる。

そこで、熱伝導率の高い酸化物を第二相としてタイル素地に導入する手法を検討した。第二相としてアルミナを選定した。実験には、昭和電工株式会社製 AL160SG-1 と AL160SG-4 を用いた。

##### 3.2.1 第二相の均質分散

原料の調製は、タイル原料に対するアルミナの配合量を 10、30、50、70% (乾燥重量基準) として、それぞれを混合機 (千代田技研工業株式会社製オムニキサー OM-10E) で約 400rpm、5 分間の条件で混合した。これらを 3.1 と同様にプレス成形後 1200、1240、1300、1340、1380 で焼成した。

##### 3.2.2 第二相による熱橋形成

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。タイル素地の中にアルミナによる熱橋を形成し、タイルの熱伝導

率への影響を調べた。

AL160SG-1 と AL160SG-4 をそれぞれ表 1 に示す重量比で、水及びポリビニールアルコール (PVA) と乳鉢で混合・混練して、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、タイル内部に円柱状の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、20MPa でプレス成形した。このとき、タイル原料に対するアルミナの重量比は 10% とした。焼成温度は 1200、1240 とした。

表 1 アルミナ顆粒の割合

原料名	アルミナ	PVA	水
重量(g)	500	2	100

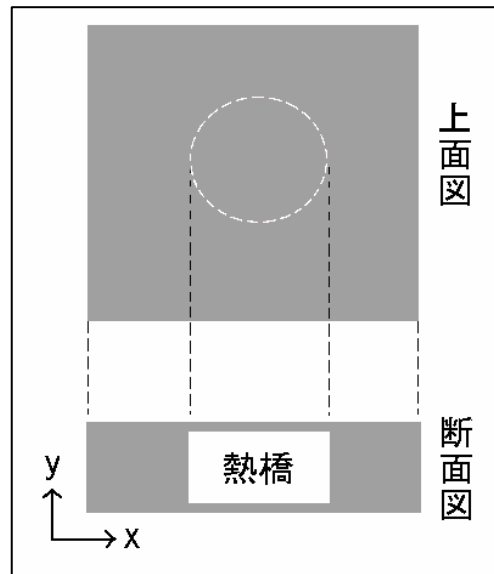


図 2 熱橋形成タイル模式図

### 4. 実験結果及び考察

#### 4.1 現行タイル素地の熱伝導率

図 3 に示すように、焼成温度 1120~1240 の範囲ではかさ比重が 1.99~2.35 と高くなるに従い、熱伝導率は 1.1~1.7W/mK と変化した。1240 を超えると bloating (発泡による膨張) によりかさ比重は減少し熱伝導率も低下した。また、吸水率は焼成温度が高くなるに従い減少したが、1240 を超えると 0.1% で変化しなくなった(図 4)。

以上のことから、現行タイルの熱伝導率は、実用上およそ 1.5~1.6W/mK が上限であると考えられる。

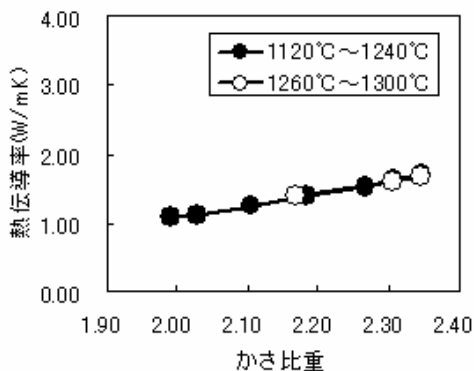


図3 かさ比重と熱伝導率（現行タイル素地）

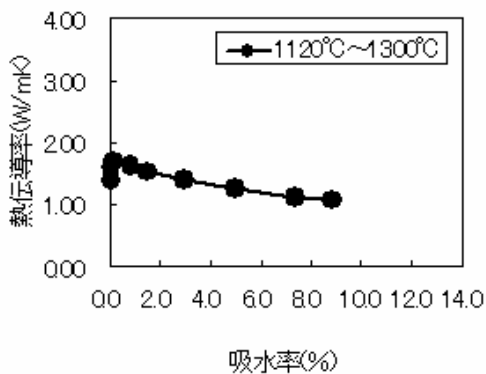


図4 吸水率と熱伝導率（現行タイル素地）

## 4.2 第二相の導入による熱伝導率向上

### 4.2.1 第二相の均質分散

図5に各アルミナ配合量での焼成温度による熱伝導率と吸水率の関係を示す。図中の％はアルミナの配合量を表し、0％は現行タイル素地のデータである。配合量10％では、1300を超えると bloating が発生し吸水率は0.1％のまま熱伝導率が低下した。30％の配合量では、焼成温度が高くなるに従い、吸水率が減少して熱伝導率が高くなる傾向を示したが、熱伝導率が2.0W/mKを超えるには、焼成温度1300以上が必要であった。50％以上の配合量では、ほとんどの試料が2.0W/mK以上の高い熱伝導率を有したが、吸水率がせっ器質タイルのJIS規格値（5％以下）を満たすことはなかった。

図6にアルミナ配合量とそれぞれの1240焼成体の熱伝導率及び吸水率の関係を示す。焼成体の熱伝導率は、アルミナの配合量が30％を超えるまではほとんど変化しないが、配合量が50％以上では、増加に伴い顕著に高くなった。このことは、アルミナ粒子が相互に接近・接触して熱伝導率向上に寄与するためには、30％を超える配合量を必要とすることを示している。

以上のことから、第二相の均質分散により、融雪舗

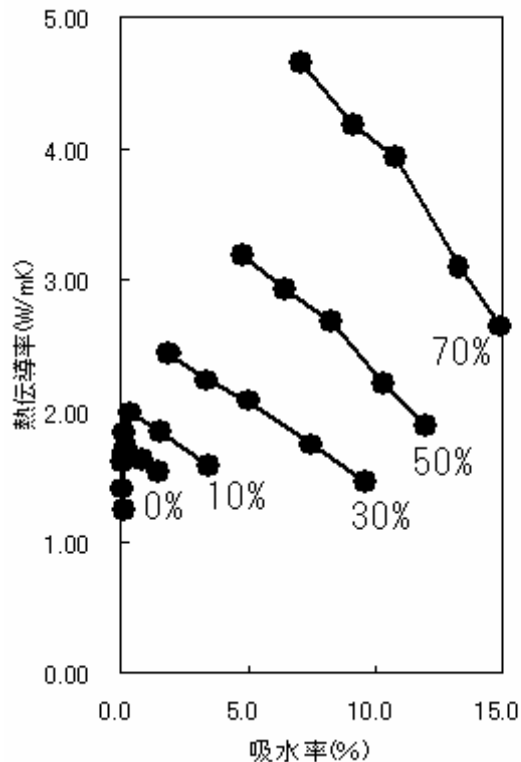


図5 均質分散したタイルの熱伝導率 (AL160SG-4)

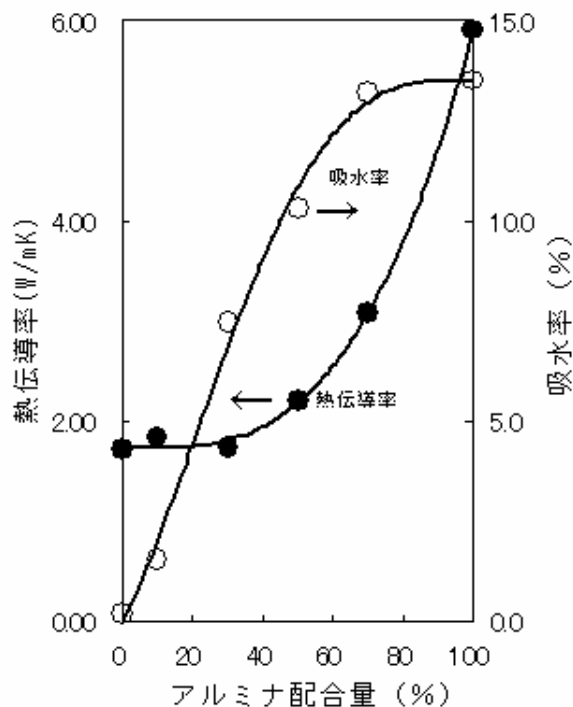


図6 均質分散したタイルの熱伝導率 (AL160SG-4 1240 焼成)

装材に適した高い熱伝導率と凍害の危険性を回避するための低い吸水率を同時にもたせることは容易でないことがわかる。

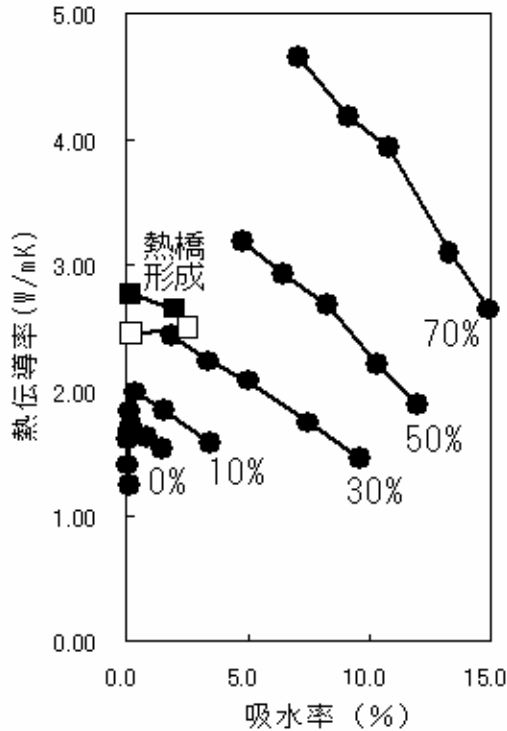


図7 熱橋形成タイルの熱伝導率( :熱橋形成 (AL160SG-1) :熱橋形成 (AL160SG-4) :均質分散)

#### 4.2.2 第二相による熱橋形成

熱橋形成したタイルの熱伝導率及び吸水率を図7に示す。比較のため均質分散したタイルでの結果もあわせて示した。熱橋形成タイルはいずれも 2.0W/mK を超える熱伝導率となった。また、吸水率は、1200 焼成では約 2%、1240 焼成では 0.2%となった。

ただし、熱伝導率は非定常熱線法により熱橋直上部で測定したものであり、タイル全体の正確な熱貫流率などの熱的特性を評価するためには、図2に示すよう

な3次元熱橋問題についての取り扱いが今後の課題となってくる。

## 5. 結び

陶磁器質タイルの熱伝導率を向上させ、融雪舗装に適した建材とするための技術について検討した結果、以下のことがわかった。

- (1) 現行タイル素地の焼結によるち密化と熱伝導率の変化について調べた結果、実用上 1.5~1.6W/mK が熱伝導率の上限と考えられる
- (2) 熱伝導率の高いアルミナを第二相としてタイル素地に導入する場合、均質分散ではアルミナ配合量が30%を越えないと顕著な熱伝導率向上は得られなかった。
- (3) 熱橋形成したタイルでは、アルミナの重量比10%で2.0W/mKを超える熱伝導率が得られた。また、吸水率は1200 焼成では約2%、1240 焼成では0.2%となった。

## 文献

- 1) D. M. グレイ, D. H. メール編, 松田益義編訳: 防雪技術ハンドブック, pp92-97(1990)築地書館
- 2) R. P. Tye, 前園明一, 長崎誠三監修, 真空理工株式会社編集: 熱分析実験技術入門, pp175-177(1979)科学技術社
- 3) 高嶋廣夫: 実践陶磁器の科学, pp39-41(1996)内田老鶴園
- 4) Randall M. German, 守吉祐介・笹本 忠・植松敬三・伊熊泰郎・丸山俊夫共訳: 液相焼結, pp7-10(1992)内田老鶴園
- 5) 三橋武文: 耐火物, 52(2), 105-116(2000)