

# 足から床への伝導による熱の逃げに関する研究 (その3)

——人工足による測定——

田中辰明 岡建雄  
渡辺真知子

## Heat Fluxes Conducted to the Floor from the Sole of the Human Foot (Part 3)

——Measurements with an Artificial Sole——

Tatsuaki Tanaka Tatsuo Oka  
Machiko Watanabe

### Abstract

This paper describes experimental evaluations of thermal properties of floors measured with an artificial sole. The artificial sole is a cylinder of 15 cm diameter filled with water which is heated to 35°C by an electric heater inside. The  $b$  value which shows the thermal property of the floor can be obtained by measurement of temperature and heat flux between the sole and the floor. In this paper, the thermal properties of floors are evaluated with data of accumulated heat fluxes of 1 minute and 10 minutes after setting the artificial sole on the floor. The various floors are evaluated in a chart according to measured  $b$  values, in which indices for comfortableness of floor are also given. The  $b$  values of the artificial sole itself are between 30 and 35 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C, while  $b$  values of the sole of a human foot are around 13.5 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C. These  $b$  values are stable within an evaluation period of 10 minutes, which shows that the artificial sole can accurately measure  $b$  values of floors.

### 概 要

人工足を用いて床の熱浸入率  $b$  値を測定し、床の熱的評価を行なったものである。人工足は直径 15cm の円筒に水を入れてヒーターで加熱し、床に接触させるもので、床材と人工足の間の接触温度や熱流変化から熱浸入率  $b$  値を算出する。本報告では人工足の直径や熱流変化に関して理論的に考察を加えた。人工足を試験体に接触させてから 1 分間及び 10 分間に流れる熱流の積算値を用いて試験床の熱的評価を行なった。一方、人工足自体の  $b$  値を算出すると 30~35Kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C 程度となった。更に人間の足自体の  $b$  値で測定したところ、13.5Kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C であった。いずれも 10 分間という計測時間内では安定した値となり、本試験方法の妥当性が確認された。

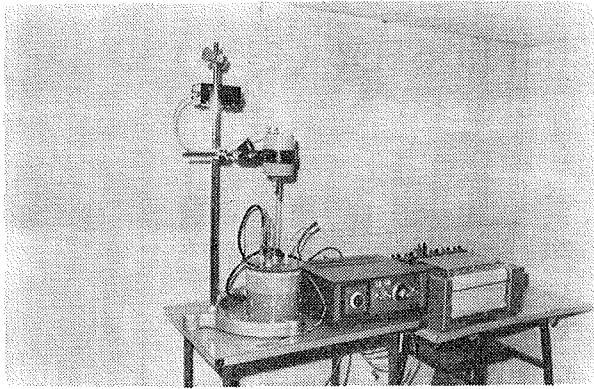
#### 1. はじめに

床材の温かさ冷たさを定量的に測定するために人工足模型による試験方法を提案した。本報告はこの人工足の熱特性を把握するとともに、新しく市販された床仕上材をコンクリート床と木造の床に置いた場合について熱浸入率  $b$  を測定したものである。今回の測定では新しく熱量積算計を導入し、人工足から床へ 1 分間に逃げる総熱量  $W_1$  と 10 分間に逃げる総熱量  $W_{10}$  を測定し、床材の評価を行なう手法を示した。更に実際に人間の素足を床

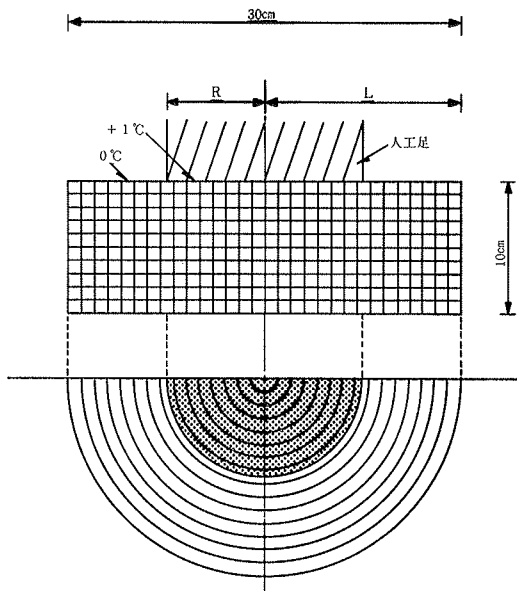
の試験体に接触させて人工足による試験結果と照合し、充分人工足によって床の温冷感を定量化し得ることを確認した。

#### 2. 人工足の熱的特性

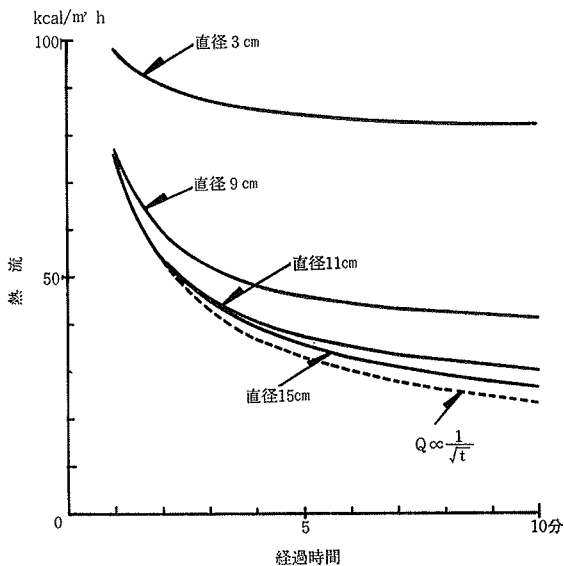
提案した試験方法は写真-1 に示す直径 15 cm、高さ 15 cm の円筒状の容器内に水を入れた人工足を厚さ 10 cm、縦 30 cm、横 30 cm のコンクリートに接触させるものである。この場合、床材に対して人工足の直径が小さければ熱は三次元的に移動してしまう。この点を理論的



写真一 人工足の模型写真



図一 シミュレーションの分割図



図二 人工足の各直径による熱量変化

に考察し、人工足下部からの熱の逃げを計算によって求めた。拡散式は以下の円筒座標系によるものである。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

T: 温度 (°C), a: 熱拡散率 (m<sup>2</sup>/h)

r: 半径 (m), z: 深さ (m)

人工足をコンクリート面に接触させ温度差 1°C を与えた場合のコンクリートにおける水平面の熱量分布等の計算を行なった (図一)。又人工足の直径を 3 cm, 9 cm, 11 cm, 15 cm とした場合の熱量変化を図二に、人工足の熱量分布と直径の関係を図三に示した。直径が 10 cm 以上であればほぼ熱量 Q は経過時間 t (分) に対して近似的に 1/√t で減少している。直径が 10 cm 以下になると三次元熱拡散の影響が現われ人工足による試験方法としては不適當になってくる。従って今回試作した直径 15 cm の人工足の中心部分で測定すればほぼ一次元として扱えることが確認された。

### 3. 積算熱流計による測定

新しく市販された 4 種類の床仕上材を各々コンクリート床と木造床の上に置き熱浸入率 b を測定した。試験体は 30 cm × 30 cm である。人工足の水温を 35°C にしてから床表面に接触させ 10 分間計測を行なった。その際人工足から床への伝熱量は人工足と床表面の間に、厚さ 0.3 mm の箔状熱流板 (4 cm × 4 cm) を置き、写真二に示す熱量積算計によって測定した。測定結果を図五、六に示す。コンクリートの床材を除き、下地材がコンクリートでも木造でも b 値は変化しない。ただし厚さの薄いジュータンはコンクリート下地材の影響を受けて高い値を示している。床仕上材の中でもビルボード、床コンビボードは物性がほとんど同じであるためいずれも同程度の b 値を示している。人工足の b 値は接触温度、水温、試験体温度の経時変化から算出できる。このようにして計算された人工足の b 値を図四に示す。人工足の b 値は 20~45 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C の間に存在するが、平均的には 30~35 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C に集中していると言える。

### 4. 1 分間、10 分間の熱量積算 W<sub>1</sub>, W<sub>10</sub> と床の評価

各種床仕上材の 10 分間の熱流変化を図七に示す。本来この熱流は経過時間 t に対して 1/√t で減少するはずである。コンクリート以外の材料に関しては 1/√t で減少していると言えるが、コンクリートについては言えない。これはコンクリートによって熱が人工足からコンクリートに急激に移動するために熱が充分移動し切れないためであると推測された。

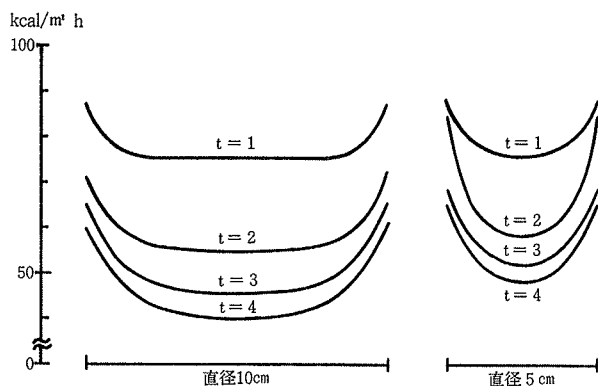


図-3 人工足の熱量分布と直径の関係

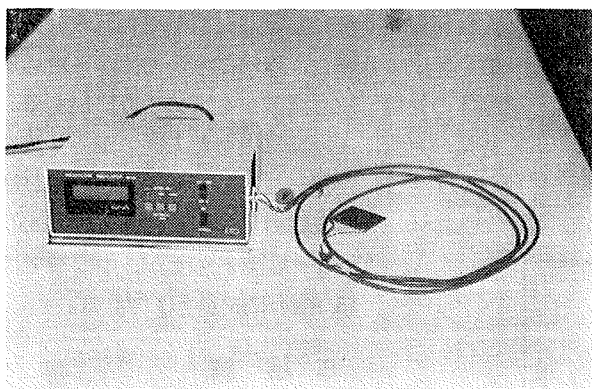


写真-2 熱量積算計

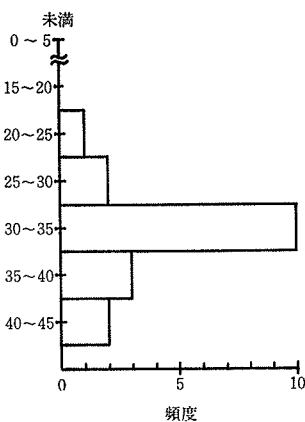


図-4 人工足の b 値

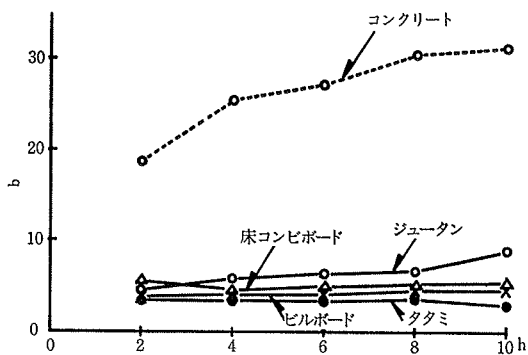


図-5 人工足による床の b 値と経過時間 (コンクリート下地 10 cm)

人工足から床へ 1 分間に逃げける総熱量  $W_1$  と 10 分間に逃げる総熱量  $W_{10}$  を測定し、床材の評価を行なう手法も提案されており、積算熱量計を用いた測定で行なった。 $W_1, W_{10}$  は以下のように表せられる。

$$\begin{cases} W_1 = Q_1 \times \frac{1}{60} & (Q_1 ; 1 \text{ 分後の熱量積算値}) \\ W_{10} = Q_1 \times \frac{10}{60} & (Q_{10} ; 10 \text{ 分後の熱量積算値}) \end{cases}$$

人工足の水温  $35^\circ\text{C}$  として床の温度  $t_F$  が  $20^\circ\text{C}$  を中心に  $15 \sim 25^\circ\text{C}$  の間で試験が行なわれた場合、実験で求められる伝導による熱の逃げ  $W'$  は次式により修正される。

$$W = W' \frac{15}{35 - t_F} \text{ kcal/m}^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

各床仕上材の  $W_1, W_{10}$  を図-8 に示す。又以前報告された測定値も同図に示す。図中のマークは表-1 に示されるものである。文献(6)によると  $W_1, W_{10}$  を図-8 に示すように分類し、温かい床冷たい床の分類を行なっている。ここですべての床材が理論的に単一材と見なせる熱挙動を示すとすれば、 $W$  は次式でも示される。

$$W = \frac{\sqrt{\pi}}{2} b \sqrt{t} (\theta_0 - \theta_\infty) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$\theta_0$ : 接触温度,  $\theta_\infty$ : 初期温度

(2)式による値を図-8 に示す。測定された  $W_1, W_{10}$  の関係がこの直線より上にあれば接触させた直後は温かくてもだんだん冷たくなるということになるし、この直線より下にあれば接触させた直後は冷たくともだんだん温かくなると言えるわけである。実験結果をこのように考えれば試験結果がすべて(2)式による直線より上にあるということは下地材の影響によると考えることができる。今日測定した床材のうちコンクリートは冷たい床であり、その他の材料に関しては足が温かい床であるという評価ができる。以前行なったタタミやジュートン、床板に関しても同様のことが言える。

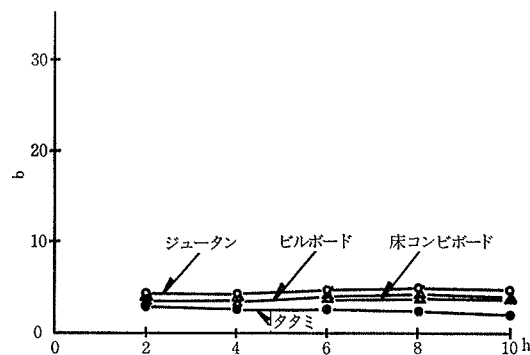


図-6 人工足による床の b 値と経過時間 (木造下地 1 cm)

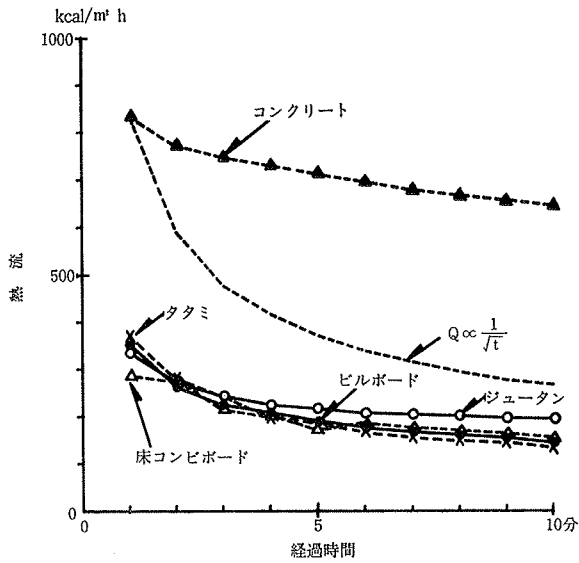


図-7 各床仕上材の10分間の熱流変化

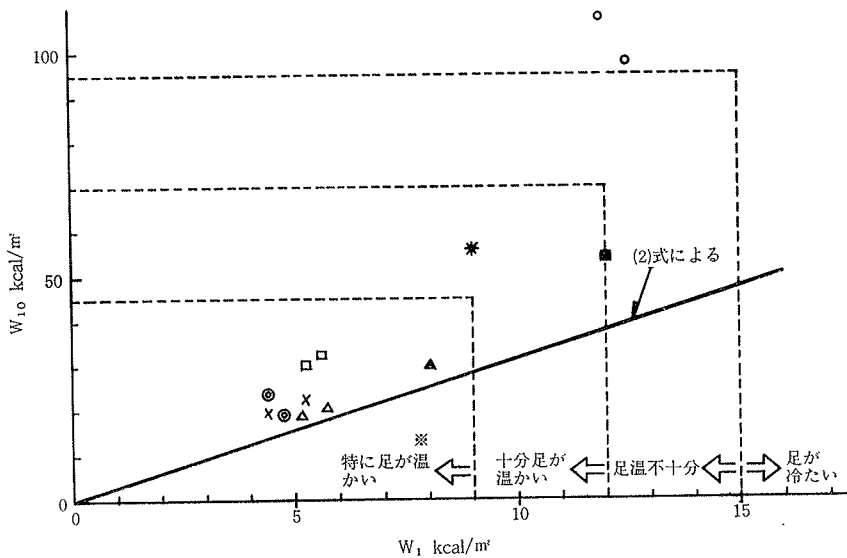


図-8 各床仕上材の W<sub>1</sub>, W<sub>10</sub>

床仕上材	厚さ (mm)	印	備考 (下地材はコンクリート)	
今回の測定材料	1. コンクリート	100	○	
	2. タタミ	タタミ(20)+断熱材(15)	△	T級インシュレーションボードが基材
	3. ジュータン	4	□	
	4. ビルボード	ジュータン(4)+ビルボード(9)	×	A級インシュレーションボード; カーベットの地下用に使用
	5. 床コンビボード	ジュータン(4)+床コンビボード(9)	◎	シーキング・インシュレーションボード 床コンビボードは木質繊維板にアスファルトを含浸させ表面に樹脂塗装をしたもので合板フローアや畳の地下用として使用
過去の測定材料	1. タタミ	60	▲	
	2. ジュータン	8	■	
	3. 床板	15	*	

表-1

### 5. 人間の足の b 値

人間の b 値は測定前の足の状態により底の厚いくつを履いていた人や運動直後の人は足裏の表面温度が高く、足からの熱量も大きい。逆に素足にサンダル履きの人などは足からの熱流が小さい。このように冬季測定の場合、足からの熱流にかなりの差が見られた。今回は中間季(昭和57年10月14日~15日の2日間)に足の b 値を測定し、年間を通した人間の足の b 値を定量化した。測定方法を図-9に示す。被験者は女性13名、男性16名の合計29名である。このうち男女3名を無作為に選んだ足の b 値の測定結果を図-10に示した。b 値の小さい人は10前後、高い人は16程度で概ね安定した値が得られた。人間の足の b 値を算出する場合、接触温度と熱流から求める方法と試験体の b 値と接触温度から求める方法がある。

図-11に各々の方法によって算出した人間の足の b 値を比較したものである。冬季における人間の足の b 値は平均 10 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C であったが、中間季では 13.8 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C である。

### 6. 結論

(1) 人工足の直径が 10 cm 以上であれば一次元拡散として扱えることが理論的に示された。

(2) 人工足の b 値は 30~35 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C に集中しており、人間の足の b 値にくらべてばらつきが少ない。

(3) 測定に用いられた床仕上材の b 値は素材が似かよっていたため 5 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C 前後であった。

(4) 1 分間、10分間に逃げる積算熱量 W<sub>1</sub>, W<sub>10</sub> を計測し、床材の評価を行なった。本試験法によれば単に床材の温かさ冷たさが評価できるだけでなく、接触時間と温かさ冷たさの変化も推測できるものである。

(5) 冬季に測定した人間の足の b 値は平均 10 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C であったが、今回は 13.8 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>1/2</sup>°C と高い値であった。

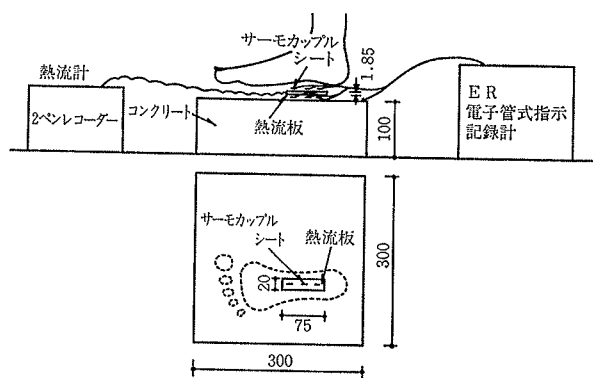


図-9 床材と熱流板による測定方法

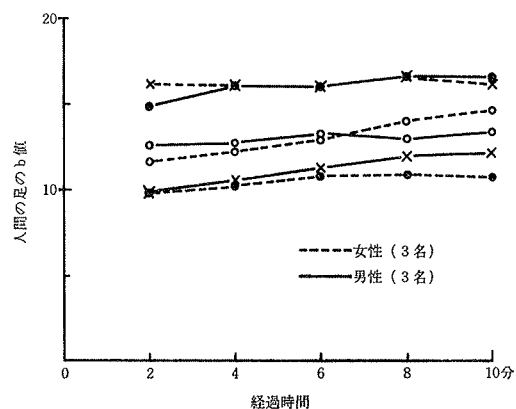


図-10 人間の足のb値と経過時間

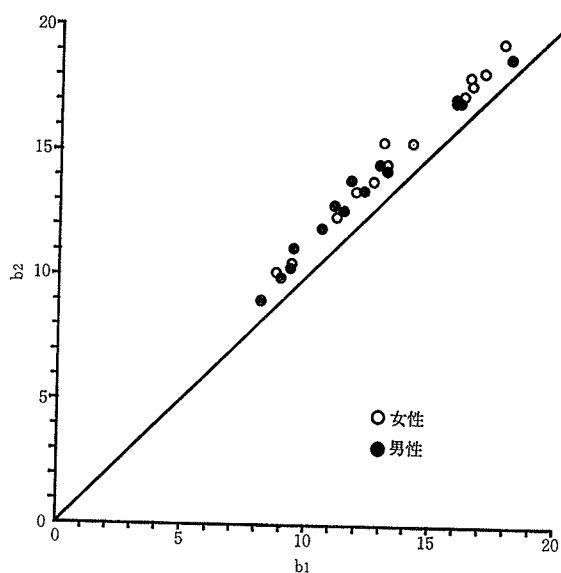


図-11 人間の足のb値

## 謝 辞

本報告は工業技術院から(財)建材試験センターへ委託された「省エネルギー用建材及び設備等の標準化に関する調査研究(藤井正一総合委員長)」の一環として行なわれたものである。関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 田中, 岡, 渡辺: 足から床への伝導による熱の逃げに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和56.9), pp.713~714
- 2) 田中, 岡, 渡辺: 足から床への伝導による熱の逃げに関する研究(その2, 人工足による測定), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和57.10), pp.123~124
- 3) Berber: Bauphysik, Bernh. Frieder. Voigt
- 4) DIN 52614: Bestimmung der Wärmeableitung Von Fußböden
- 5) 渡辺 要: 防寒構造, 理工図書, (1957)
- 6) E・グランジャン(洪 悦郎ほか訳): 住居と人間, 人間と技術社, (1978)