

# 接触温熱感に及ぼす材料の板厚の影響

## Effect of Thickness of Material on Contact Thermal Sensation

川崎三十四\*1

Satoshi KAWASAKI

The sensory test has carried out on the contact thermal sensation of a palm being contacted with materials of six types at several surface temperatures. The standard curve has been proposed for an evaluation of the contact thermal sensation. This paper deals with the applicability of thickness of materials to the evaluation curve. At the high surface temperature, the thicker the material is, the hotter the contact thermal sensation is. At this time, the range of change in contact temperature is also large. This result apply well to the evaluation curve.

**Keywords :** contact thermal sensation, building material, thickness of materials, handling, evaluation method

### 1. はじめに

人は日常生活や建設現場、材料製造工場などにおいて低温から高温にわたる幅広い表面温度の材料に接触し、そのときの温熱感を感じている。これまでにその接触温熱感の評価方法について統一できないかを模索し、それぞれ熱的性質の異なる6種類の材料を用いて実験研究を行いながら提案してきた。既往の研究は人間の手掌に代わって、例えば自動擬似人間手掌への適

用展開などへの考え方を提示できるところまでに至っている。しかしながらこれまでの研究では、素材は特に表面加工されていない無垢なものを用い、かつ接触圧力も軽く置いた程度(1kgf)としてきており限られた範囲内となっている。そこで接触温熱感に及ぼす要因についても検討するの必要を感じたことから研究を更に進めてきた。

手掌の接触温熱感に及ぼす要因は、図-1に示すよう

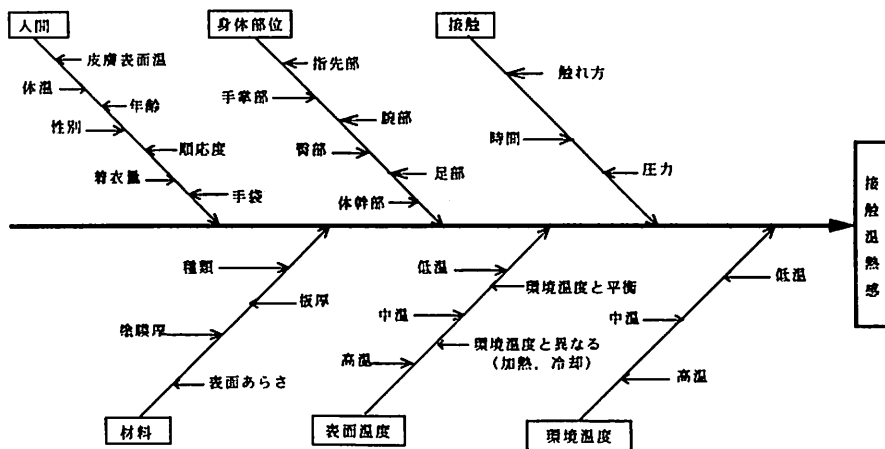


図-1 手掌の接触温熱感に及ぼす要因

\*1 建築学科 教授 Dr. Eng, Pr. Eng, Professor, Department of Architecture

に人間に係わるものには性別、年齢等、身体部位に係わるものには手掌部、指先部等、接触に係わるものには触れ方、時間、圧力、材料に係わるものには板厚、表面あらさ、塗膜厚等、表面温度に係わるものには環境温度と平衡又は異なる場合等、環境温度に係わるものには低温、中温、高温等があげられる。このように特性要因図に分類した中から材料に関連する要因に着目して、本報ではさまざまな要因のうち材料の板厚について実験した結果について述べる。また、既往の研究で述べた接触温熱感の評価方法が有効であるのかを検討した。表面温度は作業上の安全性の観点から1分後の接触部温度変化 ( $hcT_1$ ) が  $6\sim 9^{\circ}\text{C}/\text{min}$  程度となる高温域について行い、低温域の検討については今後の課題とした。

## 2. 既往の研究概要

日常生活、建設現場や材料製造工場などにおける低温から高温にわたる幅広い表面温度において、さまざまな種類の建築材料の接触温熱感を同一の指標で評価する方法を提案したものである。広範囲にわたる建築材料の接触温熱感を同一の指標で相互比較することができ、多様な温度で使用される建築材料の接触温熱感を評価するのに有効である。

人の手掌による研究ならびに直径50mm、厚さ50mmの接触部温度測定器を用いた場合の研究を行い、接触部温度測定器で20℃の表面温度の材料を、20℃の室中で測定した1分後の接触部温度変化 ( $20^{\circ}\text{C}T_1$ ) を測定することによって、いろいろな表面温度を有する、さまざまな材料に手掌で接触したときに感じる接触温熱感、接触持続可能時間を予測して評価することを導いている。<sup>1)2)</sup>

評価方法の手順は以下のとおりであり、先ず①.20℃の室中において、表面温度20℃の試験材料を用意する。②.接触部温度測定器で表面温度を測定し、1分後の接触部温度変化 ( $20^{\circ}\text{C}T_1$ ) を求める。③.その ( $20^{\circ}\text{C}T_1$ ) の値から求めようとする任意の材料表面温度 ( $T_m$ ) から ( $T_m - T_0$ ) を計算し ( $T_0$ は接触前の手掌の温度で  $T_0 = 30^{\circ}\text{C}$  とする)、一次回帰式 a を用いて接触部温度測定器の1分後の接触部温度変化 ( $cT_1$ ) を求める。④.手順③で求めた ( $cT_1$ ) から一次回帰式 b を用いて手掌の1分後の接触部温度変化 ( $hcT_1$ ) を求める。⑤.手順④で求めた ( $hcT_1$ ) から回帰曲線 c、回帰曲線 d を用いて手掌の1分後の接触温熱感ならびに接触持続可能時間を求める。

本研究は0℃から50℃までの範囲の材料温度を対象としている。また手掌の接触持続可能時間は最大10分間までと設定している。未だ研究途上であるが建築材料の接触温熱感と接触持続可能時間の評価ならびに他用途材料の接触温熱感の評価方法への展開や自動擬似人間手掌への適用展開などへ課題は多い。

## 3. 実験方法

### (1) 試験材料

試験材料はステンレス、ガラス、アクリル樹脂の3種類を用いた。材料の物理的性質は表-1に示す。試験材料の寸法は300×300mmとし、板厚は表-2に示すように0.2~10mmとした。

表-1 試験材料の物理的性質

試験材料	熱伝導率 $\lambda$ (W/m·K)	密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) $\times 10^3$	比熱 c ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )
ステンレス (St)	45.00	7.86	0.48
ガラス (Gl)	0.78	2.54	0.77
アクリル樹脂 (Ac)	0.20*	1.19*	1.46*

表-2 試験材料の種類と板厚 (○印: 実験実施)

試験材料	板厚 (mm)					
	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
ステンレス (St)	○	○	○	○	○	○
ガラス (Gl)	△	△	○	○	○	○
アクリル樹脂 (Ac)	△	○	○	○	○	○

### (2) 表面温度の設定方法

設定表面温度は  $46 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  とした。実験は環境温度  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  の室中で行った。加熱装置は図-2に示すとおりである。20℃の室内で加熱装置を用いて試験材料を加熱した。加熱装置は輻射熱によって加熱出来るように試験材料とヒーターの間に幅1mm、高さ15mmの木材を格子状に組んで空気層を設け、室内空気とは遮

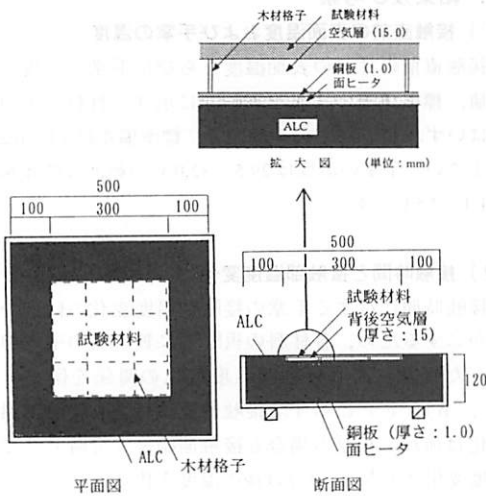


図-2 加熱装置 (単位: mm)

断した。また温度分布を一樣にするために、ヒーターの上に300×300×1mmの銅板を設置した。ヒーターは面ヒータ(O. M HEATER, シリコンラバーヒーター, 100V, 540W)を用いた。試験材料の設定表面温度は設定表面温度に対して±1.0℃となるよう、図-3に示すように試験材料にビニールテープで貼り付けた熱電対(JIS C 1602 T, 直径0.32mm)を用い、ボルトスライダで調整して管理した。なお、被験者が所在する20℃室の部屋は湿度調整できないが、相対湿度はほぼ60%である。気流はほぼ無風である。

### (3) 手掌の接触部温度の測定方法

測定手順として被験者は20±1℃の恒温室に入室し椅座位の状態30分間安静にした。30分間としたのは、既往文献により低温環境から常温環境へ、あるいは高温環境から常温環境へ移動させ、血圧、心拍数、産熱量<sup>3)</sup>、あるいは指先の皮膚温、前額皮膚温<sup>4), 5)</sup>を測定し、平常に回復するまでの時間はほぼ15~20分であったこと。また、作業を行った後に酸素消費量が平常に戻るまでの時間は、軽作業の場合約5分。重作業の場合約30分<sup>6)</sup>であったこと。更に既往の類似した研究<sup>7), 8)</sup>においても30分の安静時間で行っていることを確認して定めた。

手掌の接触部皮膚表面温を測定するため、被験者の右手の手掌上の母指球部に医療用テープで熱電対を固定した。試験材料の表面温度は、図-3に示す表面温度

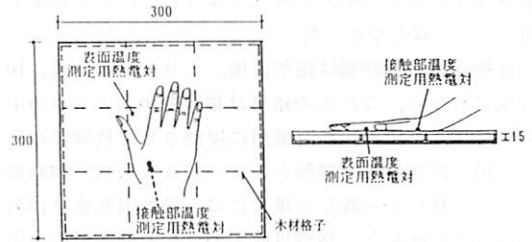


図-3 接触部の温度測定位置 (単位: mm)

$$hcT_1 = (T_1 - T_0) / 1 \text{ min.} \quad \dots \quad (1)$$

ここに、

$hcT_1$ : 接触後1分間の手掌の接触部温度変化(℃.min.)

$T_1$ : 接触後1分間の手掌の接触部温度(℃)

$T_0$ : 接触前の手掌の温度(℃)

測定用熱電対で設定し、所定の温度になったことを確認後、前述の熱電対を貼付した手掌、被験部を試験材料のほぼ中央に軽く(接触圧力約1kgf)接触させ、その際の接触部温度感覚を計測した。接触時間は最大10分間としたが、接触中、手掌部に熱による危険を感じた際は、何時でも自由に手掌を離すよう指示をした。また、接触温熱感を評価する指標として、既往の研究と同様に接触後1分間の接触部温度変化を用いた。接触後1分間の手掌の接触部温度変化(以後 $hcT_1$ と示す)は(1)式によって求めた。

### (4) 被験者

被験者は21~22歳の心身共に健康な学生で、計10名である。また被験者は実験開始前に実験室内で30分間椅座位で安静にさせた。

### (5) 接触温熱感の評価

手掌で触れたときの接触温熱感は、表-3に示す11水準で評価した。官能検査に用いる評価は、「どちらでもない」を境として対照的になるのが一般的である。空調設備基準委員会温冷小委員会活動報告「温冷感に関する調査方法(昭和51年度版)」<sup>9)</sup>によれば、温冷感について「熱い」「暖かい」「涼しい」「寒い」の用語が提案されている。これらの用語は体感として捉えたもので、接触にともなう身体局所の温熱感を表現したものではない。そこで、本研究では、「暑い」を「熱い」に、「暖かい」を「温かい」、「寒い」を「冷たい」と置き換えて使用した。また「涼しい」に代わる接触温熱感の

表現用語がないため、本研究ではこれに代わる表現を用いることはしなかった。

接触温熱感の評価は接触直後、1分後、5分後、10分後に行ない、これらの結果は被験者10名の評点の平均値で示した。尚、高温表面に接触させた被験者が熱くて10分間被験部を接触させてもらえない為、被験部を途中で材料から離れた場合には、接触温熱感は10名の被験者が継続して接触可能であった時間までの評価値を平均値により示した。

表-3 接触温熱感と評価点

評点	感 覚
6	熱くて触れてもらえない
5	非常に熱い
4	熱い
3	やや熱い
2	温かい
1	やや温かい
0	どちらでもない
-1	やや冷たい
-2	冷たい
-3	非常につめたい
-4	冷たくて触れてもらえない

#### (6) 手掌、被験部を離すまでの時間測定

手掌、被験部を材料に接触させてもらえなくなって離すまでの時間をストップウォッチにて測定した。10名の被験者全員が予め設定した10分間以内に被験部を離れた場合には、実験開始から手掌を離すまでの時間の平均値を接触持続可能時間とした。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 接触直前の表面温度および手掌の温度

接触直前の材料の表面温度ならびに手掌の温度の平均値、標準偏差の結果を表-4に示す。材料の表面温度はいずれも $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲内、標準偏差は $0.1\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ と小さい。手掌の温度は $29.5\sim 32.0^{\circ}\text{C}$ の範囲で標準偏差は $1.1\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ であった。

##### (2) 接触時間と接触部温度変化

接触時間に対する手掌の接触部温度変化の傾向を明らかにするため、各材料の板厚別に被験者の平均値で表した接触時間と接触部温度変化の関係を図-4のa), b), c)に示す。接触時間に対する接触部温度変化は何れの板厚の場合も接触開始後1分時点までの温度変化は大きく、1分以後の温度変化は小さい。

ステンレスの場合は $0.2\text{mm}$ 、 $0.5\text{mm}$ 、 $1\text{mm}$ と板厚が厚くなるに従い接触部温度変化が大きい。板厚が厚いほど材料の熱容量も大きくなり、従って手掌に伝わる熱量が大きいためと思われる。板厚 $2, 5, 10\text{mm}$ の場合は1分間未満で手掌を材料から離れた被験者があり平均値として表していない。

ガラスもステンレスと同様に板厚が厚くなるに従い接触部温度変化も大きくなっている。また、試験途中で手を離れた被験者がおり、 $1\text{mm}$ 厚のとき $420$ 秒、 $2\text{mm}$ 厚のとき $480$ 秒、 $5\text{mm}$ 厚のとき $420$ 秒、 $10\text{mm}$ 厚のとき $180$ 秒で手を離し、板厚が厚くなるに従い接触持続可能時間は短くなっている。

アクリル樹脂の場合は何れの板厚条件でも被験者全員が10分間、手掌を材料に接触させている。また板厚による接触部温度変化の相違は、ステンレスやガラスほど顕著ではない。以上のように板厚による接触部温度変化の影響は材料の種類の違いによっても異なる。

表-4 接触直前の材料の表面温度と手掌の温度 (n=10)

	板厚	0.2mm		0.5mm		1.0mm		2.0mm		5.0mm		10.0mm	
	測定	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌
ステンレス	平均 ( $^{\circ}\text{C}$ )	46.1	30.4	46	30.7	46	31.2	46.1	31.4	45.9	30.1	46.1	31.6
	$\sigma$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	0.2	2.3	0.2	1.1	0.2	1.1	0.2	1.1	0.2	2.2	0.2	1.1
ガラス	平均 ( $^{\circ}\text{C}$ )	/	/	/	/	46	30.3	46.1	30.2	45.9	30.4	46	29.5
	$\sigma$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	/	/	/	/	0.1	1.9	0.1	1.4	0.1	1.5	0.1	2.2
アクリル樹脂	平均 ( $^{\circ}\text{C}$ )	/	/	46	31.3	46	30.5	45.9	30.4	46	32	46	31.9
	$\sigma$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	/	/	0.1	2.5	0.1	2.1	0.1	1.8	0.1	2	0.2	1.2

接触温熱感に及ぼす材料の板厚の影響

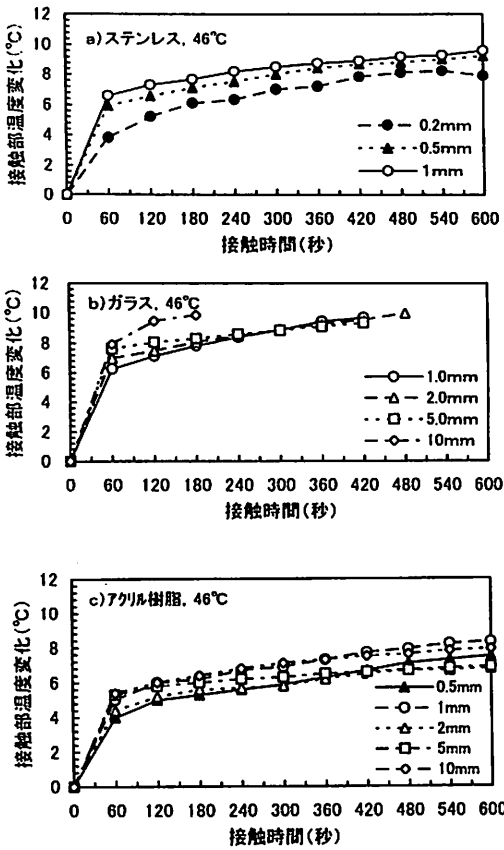


図-4 接触時間と接触部温度変化の関係

(3) 板厚と1分後の接触部温度変化 ( $hcT_1$ )

既往研究では、接触直前から接触後1分時点迄の手掌の接触部温度変化 ( $hcT_1$ ) に着目し、接触温熱感な

らびに接触持続可能時間を評価する方法を述べた。そこで接触温熱感に及ぼす板厚の要因を検討するために、板厚と  $hcT_1$  の関係を表したものを表-5及び図-5に示す。ステンレスは板厚が2mm以上の場合  $hcT_1$  が求められないが、板厚0.2mm, 0.5mm, 1mmと厚くなるにつれて  $hcT_1$  が大きくなっている。ガラスおよびアクリル樹脂も同様に板厚が厚くなるに従い  $hcT_1$  が大きくなるが、アクリル樹脂の場合、曲線の傾きは他の材料に比し小さくなっている。従って、前述の如く板厚の違いによる接触温熱感の差異が表れにくい結果になったものと考えられる。

以上の如く何れの材料も板厚が厚くなるに従い  $hcT_1$  が大きくなる。また、板厚が同じ場合、ステンレス、ガラス、アクリル樹脂の順に  $hcT_1$  は小さくなっている。

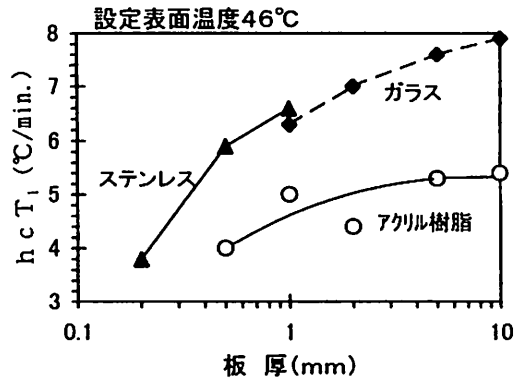


図-5 板厚と  $hcT_1$  の関係

表-5 板厚と  $hcT_1$ , 1分後の接触温熱感, 接触持続可能時間

板厚 (mm)	ステンレス			ガラス			アクリル樹脂		
	$hcT_1$ (°C)	1分後の接触温熱感	接触持続可能時間 (秒)	$hcT_1$ (°C)	1分後の接触温熱感	接触持続可能時間 (秒)	$hcT_1$ (°C)	1分後の接触温熱感	接触持続可能時間 (秒)
0.2	3.8	1.1	600	/	/	/	/	/	/
0.5	5.9	1.8	600	/	/	/	4.0	1.5	600
1.0	6.6	2.8	572.8	6.3	2.4	573.9	5.5	1.7	600
2.0	-	-	421.1	7.0	2.6	574.0	4.4	1.8	600
5.0	-	-	251.6	7.6	2.6	582.5	5.3	1.6	600
10.0	-	-	114.7	7.9	2.9	495.0	5.4	1.6	600

注) -印: 1分未滴で手掌を離れた被験者がいる為、データとして採用していない。

(4) 板厚と1分後の接触温熱感

各材料の板厚に対する1分後の接触温熱感の平均値を表-5ならびに図-6に示す。ステンレスは板厚が0.2, 0.5, 1mmと厚くなるに従い接触温熱感は温感側に評価しており、板厚が2mm以上となると1分間未滴で手を離す被験者がいるため評価ができていない。ガラスは板厚10mmの場合、板厚1mm, 2mm, 5mmよりやや温感側に評価している。アクリル樹脂は板厚による接触温熱感の差異は小さい。このように接触温熱感も温度変化と同様に材料の種類、板厚によって異なり、板厚が厚いほど、また材料の熱伝導率の大きいほど温かく感ずることが明らかである。

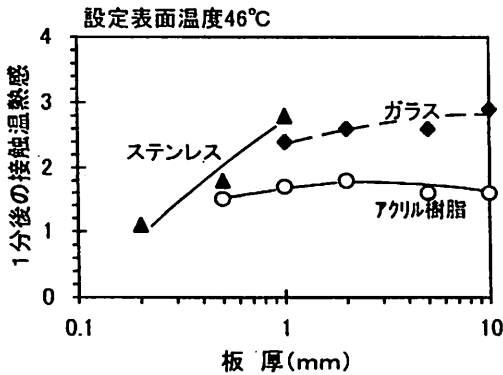


図-6 板厚と1分後の接触温熱感の関係

(5) hcT<sub>1</sub>と1分後の接触温熱感

hcT<sub>1</sub>と1分後の接触温熱感の結果を材料別、板厚別に表-5に示す。これらの結果を既往研究で提示したhcT<sub>1</sub>と1分後の接触温熱感の関係で求めた1つの曲線に対比したものを図-7に示す。それぞれの材料、板厚でhcT<sub>1</sub>と1分後の温熱感の値は異なるもののhcT<sub>1</sub>と1分後の接触温熱感の関係は既往研究で求めた曲線とほぼ一致している。

(6) hcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間

hcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間の結果を材料別、板厚別に表-5に示す。これらの結果を既往研究で提示したhcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間の関係で求めた1つの曲線に対比したものを図-8に示す。それぞれの材料、板厚でhcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間の値は異なるもののhcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間の関係は既往の研究で求めた曲線とほぼ一致している。

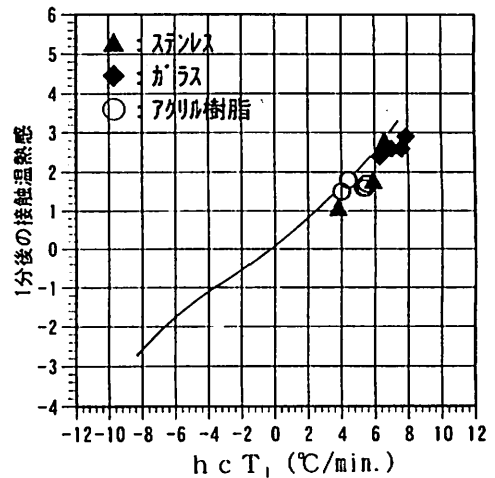


図-7 hcT<sub>1</sub>と1分後の接触温熱感の関係(板厚)

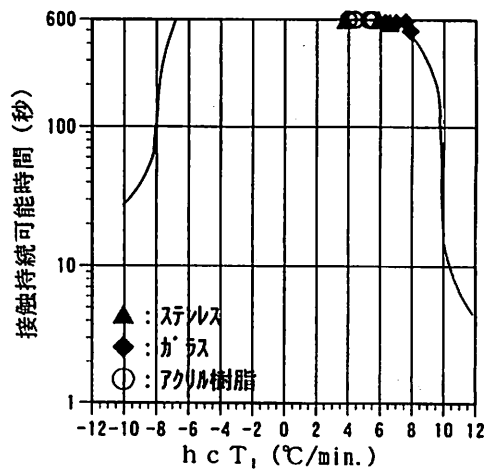


図-8 hcT<sub>1</sub>と接触持続可能時間の関係(板厚)

5. まとめ

接触時間に対する接触部温度変化は何れの板厚の場合も接触開始後1分時点までの温度変化は大きく、1分以後の温度変化は小さい。また、板厚による接触部温度変化の影響は材料の種類の違いによっても異なる。何れの材料も板厚が厚くなるに従いhcT<sub>1</sub>が大きくなる。また、板厚が同じ場合、材料の物性値によってhcT<sub>1</sub>が異なる。接触温熱感も材料の種類、板厚によって異なり、板厚が厚いほど、また材料の熱伝導率の大きいほど温かく感ずる。板厚を変えた場合においても、hcT<sub>1</sub>と接触温熱感および接触持続可能時間の関係は既

往の研究で示した結果とほぼ一致し、評価指標としての  $hcT_1$  の有効性を確認できた。今後は表面塗膜、表面あらさ、手掌の接触圧力の要因による検討結果について順次報告したい。

#### (謝辞)

本報は笠井賞の受賞対象になった論文から一部を抜粋して纏めたものである。論文の審査をして頂いた日本大学教授松井勇工学博士（建築材料学，前，日本建築仕上学会副会長），同，板本守正工学博士（建築環境工学，現，学部次長），同，大久保堯夫医学博士（医学・人間工学，現，日本人間工学会会長）に衷心より深謝する。また論文のもとになった実験データは，第一工業大学の平成11年度から平成15年度に渡る卒業研究生53名ならびに日本大学学生5名の取り組みによるもので，合わせて御礼申し上げる。

#### (参考文献)

- 1) 川崎三十四，松井勇，湯浅昇，田鍋悟史：材料に触れたときの手のひらの接触部温度変化による評価方法，低温から高温までの材料の接触温熱感の評価方法に関する研究（その1），日本建築学会構造系論文集，第558号，pp. 45-52. 2002年8月
- 2) 川崎三十四，松井勇：材料に触れたときの手のひらの接触部温度変化による評価方法，低温から高温までの材料の接触温熱感の評価方法に関する研究（その2），日本建築学会構造系論文集，投稿予定，（原論文：日本大学図書館，その他蔵）
- 3) 関邦博ほか2名編集：人間の許容限界ハンドブック，朝倉書店，1990年版，pp.375-376
- 4) 日本建築学会編：高齢者のための建築環境，彰国社，1998年版，pp.46-52
- 5) 人間-熱環境系編集委員会編：人間-熱環境系，日刊工業新聞社，1989年版，pp.167-168
- 6) 日本建築学会編：建築人間工学辞典，彰国社，1999年版，pp.55-56
- 7) 岡島達雄，呉健丹，堀越哲美，河辺伸二，武田雄二，志村欣一：建築仕上げ材の触覚的特性に及ぼす温度の影響に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第419号，pp. 1-10, 1991年1月
- 8) 小野英哲，長塚由美子，中沢郁子：建築物床の足ざわりの評価方法に関する基礎的研究，日本建築学会構造系論文集 第473号，pp. 47-56, 1995年7月
- 9) 空調設備基準委員会温冷小委員会活動報告「温冷感に関する調査方法（昭和51年度版）」
- 10) 富田滋：温度覚に関する臨床生理学的研究，一温度感覚閾値の検討を中心として，精神神経学雑誌，61巻8号，pp. 84-101, 1960年
- 11) KAWASAKI, MATUI, TANABE, YUASA : Study on Safe Surface Temperature for Handling, Proceedings of The 5 the Korea / Japan symposium on Building Materials & Construction, pp. 101-107, 2000.8
- 12) 川崎三十四，田鍋悟史，松井勇，湯浅昇：低温から高温材料表面の接触温熱感の評価方法について，その4. 接触温熱感の推定方法，日本建築仕上学会2001年大会学術講演会（第12回研究発表会），pp. 93-96, 2001年10月