

## 環境温度に伴う被服材料の温度変化

田村 恭子\*・仲 三郎\*\*

(昭和59年10月15日受理)

### Temperature Variations of Textile Materials Consequent upon Changes in the Surrounding Temperatures

Kyoko TAMURA and Sabro NAKA

(Received October 15, 1984)

#### 緒 言

われわれの周囲の環境は、たえず変化して一定に保たれることはない。たとえば部屋の温度は人の出入り而变化し、恒温室でさえもその中の温度は周期的に変化している。そのため、その中に置かれた被服材料の温度も変化し、それらの関係は、被服の保温性に大きく影響する。

環境と被服材料の温度の関係を取り扱う場合、次の二つの方法がある。一つは、材料の表面温度の変化がわかっている場合で、他は、周囲の温度変化がわかっている場合である。前者では、材料内部での温度変化は、材料の幾何学的条件と熱物性値によって決まるが、後者ではそれ以外に、環境と材料表面との間の熱の伝達割合すなわち熱伝達率が関係する。

本研究では、第一の場合、すなわち材料の表面温度と内部の温度との関係について、表面温度が時間に比例して変化するとき、周期的に変化する場合について行った。

#### 理 論

十分広くて厚さの厚い材料の表面に座標の原点をとりに、表面に垂直に内部に向かってx軸をとる。温度をt、時間をτとして、材料の初め(τ=0)の温度が一定温度t<sub>0</sub>であった場合

$$\theta = t - t_0$$

とおくと、表面(x=0)の時刻τにおけるθ<sub>0,τ</sub>が

$$\theta_{0,\tau} = C\tau \quad C; \text{一定}$$

で表わされるときは、材料内部の位置x、時刻τにおけるθは

$$\theta_{x,\tau} = C\tau \left(1 + \frac{x^2}{2\kappa\tau}\right) \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{\kappa\tau}} - C\tau \frac{x}{\sqrt{\pi\kappa\tau}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4\kappa\tau}}$$

κ; 温度伝導率

erfc; 余誤差関数

で表わされることが知られている!

上の2式から

$$\frac{\theta_{x,\tau}}{\theta_{0,\tau}} = F(\alpha) = \left(1 + \frac{\alpha^2}{2}\right) \operatorname{erfc} \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\alpha^2}{4}} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{x}{\sqrt{\kappa\tau}} \quad (2)$$

たとえば C=0.01°C/S, κ=0.5×10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/hの場合、x=2 mm, x=4 mmにおける温度変化は(1)式により図1のように表わされる。

また表面温度が、平均温度t<sub>m</sub>の周りに調和振動をしている場合、

$$\theta = t - t_m$$

とおき、θ<sub>0,τ</sub>を

$$\theta_{0,\tau} = \theta_{0,a} \sin(2\pi n\tau) \quad (3)$$

θ<sub>0,a</sub>; 表面温度の振幅

n; 振動数

で表わすと、内部の温度θ<sub>x,τ</sub>は次の式で表わされる。

\* 被服材料学研究室

\*\* 元東京家政大学教授

$$\theta_{x,\tau} = \theta_{0,a} e^{-x\sqrt{\pi n/\kappa}} \sin(2\pi n\tau - x\sqrt{\pi n/\kappa}) \quad (4)$$

この式から  $x$  の位置と表面との温度の振幅の比  $R$  は

$$R = \frac{\theta_{x,a}}{\theta_{0,a}} = e^{-x\sqrt{\pi n/\kappa}} \quad (5)$$

であり、振動数は表面と同じであるが、表面に対し位相の遅れ  $\Delta\tau$  が

$$\Delta\tau = \frac{x}{2\sqrt{\pi\kappa n}} \quad (6)$$

となることが分かる<sup>2)</sup>。

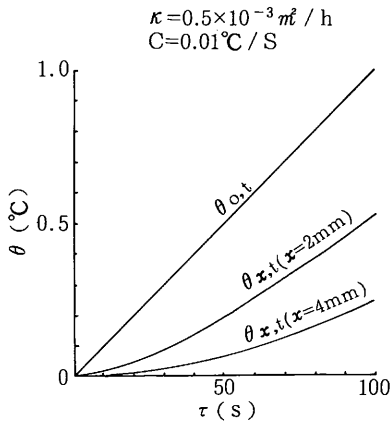


図1 表面と内部の温度変化

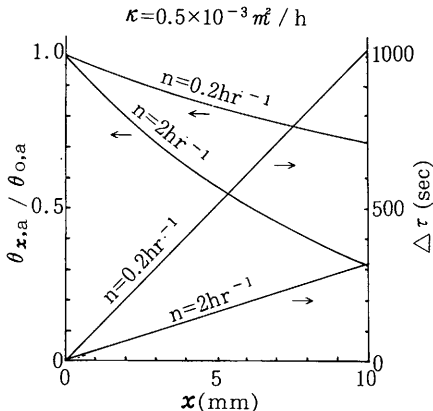


図2 振幅比と位相遅れの  $x$ 、 $n$  との関係

図2は、 $\kappa = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$  の材料について、 $n = 0.2 \text{ hr}^{-1}$  と  $n = 2 \text{ hr}^{-1}$  の場合の振幅比と位相の遅れを(5)(6)式で計算した結果である。これから表面から遠ざかるほど振幅は小さくなるが、位相の遅れは大きくなり、また振動数が大きいほど振幅も位相の遅れもともに小さくなることが分かる。

試料および実験法

表1 実験試料

試料種類	たて糸			よこ糸		
	繊維	太さ	糸密度 (cm <sup>-1</sup> )	繊維	太さ	糸密度 (cm <sup>-1</sup> )
フロード	綿	40/1 <sup>S</sup>	49	綿	40/1 <sup>S</sup>	29
ポリノジック	ポリノジック	42/1 <sup>S</sup>	34	ポリノジック	42/1 <sup>S</sup>	28

表1に実験に使用した試料を示す。

図3は実験装置で、①は試料(約10×10cm<sup>2</sup>)を多数重ねたもの、②は試料台、③は厚さ2mmの銅板で、上側表面に黒のエナメルを塗り、放射熱の吸収をよくした。また下側表面には細い溝を掘り、その中に0.1mmのC-C熱電対を取り付け、その接合点を銅板中央で溶接した。

④は厚さ30mmの発泡スチロールのシールド板で、上面には放射熱の反射をよくするため厚さ0.4mmのアルミ板を張りつけた。⑤は、銅板を加熱するための250wattの赤外線ランプ、⑥は、ボルトスライダで、ランプの電圧をこれで調整し、また表面温度を周期的に変化させる場合のみ、電源と⑥の間に、15分周期でon・offするタイマー⑦を接続した。⑧は横からの影響をさけるための箱で、表面から同じ距離の位置において、試料の中心と端から2~3cmの位置に、熱電対をセットし、それらの温度を比較することにより中心付近では横からの影響のないことを確認した。

実験は、恒温恒湿室(温度20±1℃、湿度65±2% R.H.)で行い、試料①は銅板で軽く圧縮する状態で、⑨のボルトで固定し、試料全体の厚さを測定し、1枚の厚さを求

めた。またさらに試料全体の質量と1枚あたりの面積を測定して、試料のみかけの密度を計算した。

試料の表面温度が時間に比例して変化する場合には、図3に示すようにセットし、⑦のタイマーはのぞき、試料全体が安定状態になった後、ランプを点灯、放射熱が安定してから④をすばやく取り除き、それぞれの位置の時間的変化を記録した。

表面温度が周期的に変化する場合では、④のシールド板は使用せず、タイマー⑦を接続し、赤外線ランプの点滅をくりかえし、十分時間が経過した後の数周期について、平均の振幅、位相の遅れを求めた。

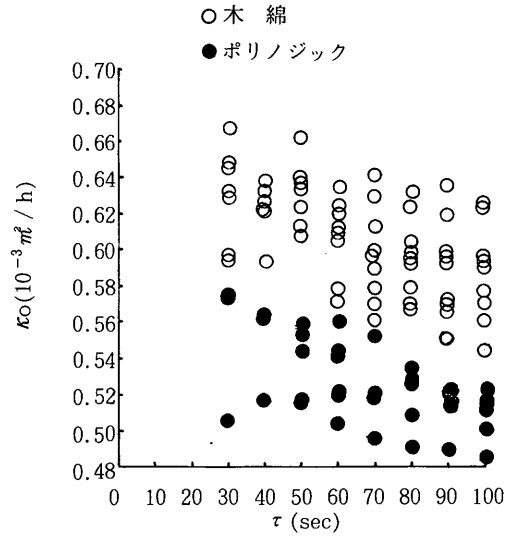


図4 測定時刻と温度伝導率

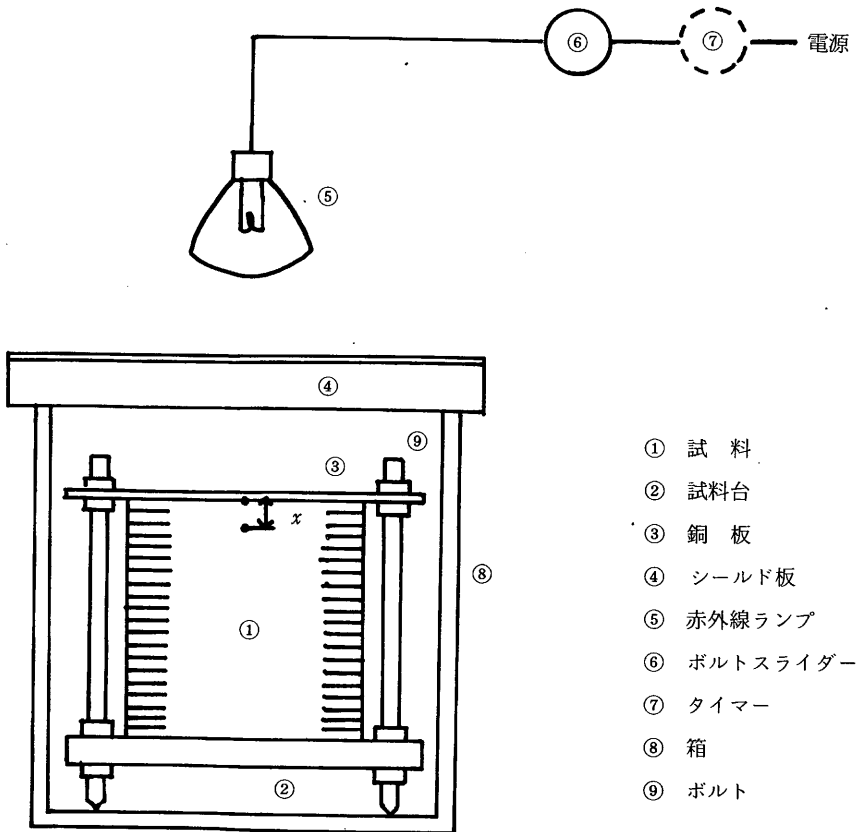


図3 実験装置

実験結果および考察

表2は試料表面温度が時間に比例して上昇する場合の試料内部の温度と表面温度との比の測定結果である。F( $\alpha$ )は線熱源法で測定した温度伝導率の値から(2)式で得られる $\alpha$ の値を用いて、(1)式で計算した温度比 $\theta_{x,\tau}/\theta_{0,\tau}$ の値であり、F( $\alpha_0$ )は温度比の測定値である。図4は各測定時刻におけるF( $\alpha_0$ )の値から(1)式で、まえとは逆に $\alpha_0$ を求めそれを用いて(2)式で得

られた $\kappa_0$ の値を示したもので、加熱直後の表面温度の上昇が急激で直線と少し外れるため $\kappa_0$ の値は初期には大きい値を示している。また木綿は、バラつきはおおいが線熱源法の値 $\kappa=0.609 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ に近い値を示している。しかし、ポリノジックは、線熱源法の値 $\kappa=0.564 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ より相当小さい値を示しており、この原因は表面温度の直線からのずれが一番大きいと思われるが、さらに両者について検討する必要がある。

表3は表面温度が周期的に変化する場合の測定結果で

表2. 各時刻における試料の内部と表面の温度比

a) 木綿 (密度445kg/m<sup>3</sup>,  $\kappa=0.609 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ )

$x(\text{mm})$	t(sec)	30	40	50	60	70	80	90	100
1.47	F( $\alpha$ )	.453	.508	.548	.579	.604	.625	.643	.658
	F( $\alpha_0$ )	.450	.503	.548	.570	.595	.615	.634	.649
2.75	F( $\alpha$ )	.203	.258	.302	.339	.370	.397	.421	.441
	F( $\alpha_0$ )	.209	.262	.304	.340	.367	.394	.417	.437
3.06	F( $\alpha$ )	.165	.217	.260	.297	.328	.355	.379	.400
	F( $\alpha_0$ )	.170	.221	.269	.295	.321	.345	.366	.389
4.15	F( $\alpha$ )	.075	.113	.148	.179	.208	.233	.256	.277
	F( $\alpha_0$ )	.082	.116	.158	.187	.217	.238	.259	.282
4.32	F( $\alpha$ )	.065	.101	.135	.165	.192	.217	.240	.260
	F( $\alpha_0$ )	.070	.105	.138	.165	.189	.213	.234	.254
4.42	F( $\alpha$ )	.061	.095	.128	.157	.184	.209	.231	.252
	F( $\alpha_0$ )	.058	.085	.113	.147	.170	.196	.212	.230
4.65	F( $\alpha$ )	.051	.082	.112	.141	.166	.190	.212	.232
	F( $\alpha_0$ )	.059	.088	.120	.143	.167	.189	.208	.227
5.75	F( $\alpha$ )		.039	.059	.080	.100	.119	.137	.154
	F( $\alpha_0$ )		.042	.068	.083	.104	.125	.144	.159
7.36	F( $\alpha$ )					.044	.057	.069	.082
	F( $\alpha_0$ )					.038	.050	.061	.072

b) ポリノジック (密度394kg/m<sup>3</sup>,  $\kappa=0.564 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$ )

$x(\text{mm})$	t(sec)	30	40	50	60	70	80	90	100
2.61	F( $\alpha$ )	.208	.264	.309	.345	.377	.403	.427	.447
	F( $\alpha_0$ )	.212	.263	.305	.344	.373	.393	.412	.433
3.84	F( $\alpha$ )	.085	.125	.161	.191	.222	.248	.271	.292
	F( $\alpha_0$ )	.087	.125	.158	.187	.206	.228	.253	.273
4.38	F( $\alpha$ )	.055	.088	.119	.148	.174	.198	.220	.240
	F( $\alpha_0$ )	.045	.077	.106	.130	.152	.174	.194	.211
5.32	F( $\alpha$ )		.045	.068	.090	.111	.131	.150	.168
	F( $\alpha_0$ )		.043	.067	.080	.100	.115	.136	.146
5.34	F( $\alpha$ )			.067	.089	.110	.130	.149	.167
	F( $\alpha_0$ )			.057	.079	.098	.120	.135	.151
5.41	F( $\alpha$ )			.064	.085	.106	.126	.144	.162
	F( $\alpha_0$ )			.060	.080	.095	.115	.132	.147

表3. 表面に対する内部の温度の振幅比と位相遅れ

a) 木綿

No.	綿熱源法 による $x$ ( $10^{-3} \text{m}^2/\text{h}$ )	表面温度		$x$ (mm)	振動数 ( $\text{hr}^{-1}$ )	振 幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )	振 幅 比		位相遅れ	
		振動数 ( $\text{hr}^{-1}$ )	振 幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )				$R_0$	R	$\Delta\tau_0$ (sec)	$\Delta\tau$ (sec)
1	0.609	2.00	.769	4.14	2.00	.477	.62	.66	138	121
				5.75	2.00	.393	.51	.56	190	167
2	0.609	2.00	.855	0.66	2.00	.787	.92	.94	23	19
				1.73	2.00	.670	.78	.84	61	50
3	0.609	2.01	.883	1.46	2.01	.712	.81	.86	52	42
				4.37	2.01	.502	.57	.64	140	127
4	0.610	2.00	.843	1.45	2.00	.694	.82	.86	54	42
				27.2	2.00	.057	.068	.063	752	786
5	0.610	2.00	.793	2.76	2.00	.560	.71	.76	107	88
				4.34	2.00	.467	.59	.64	150	126

b) ポリノジック

No.	線熱源法 による $x$ ( $10^{-3} \text{m}^2/\text{h}$ )	表面温度		$x$ (mm)	振動数 ( $\text{hr}^{-1}$ )	振 幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )	振 幅 比		位相遅れ	
		振動数 ( $\text{hr}^{-1}$ )	振 幅 ( $^{\circ}\text{C}$ )				$R_0$	R	$\Delta\tau_0$ (sec)	$\Delta\tau$ (sec)
1	0.564	2.00	.786	3.83	2.00	.465	.59	.67	115	116
				5.32	2.00	.374	.48	.57	167	161
2	0.564	2.00	.772	0.62	2.00	.696	.90	.94	26	19
				1.61	2.00	.597	.77	.84	62	49
3	0.564	2.00	.828	1.38	2.00	.674	.81	.86	53	42
				4.15	2.00	.467	.56	.65	144	125
4	0.564	2.00	.809	2.63	2.00	.557	.69	.76	105	80
				5.39	2.00	.384	.47	.57	189	163

$R$ と $\Delta\tau$ は線熱源法による温度伝導率の値を用い(5)(6)式で計算した振幅と位相遅れであり、 $R_0$ と $\Delta\tau_0$ は測定値である。

$R$ と $R_0$ および $\Delta\tau$ と $\Delta\tau_0$ のあいだには相当な差がみとめられるが、その一番大きい原因は表面温度の変化が調和振動からずれていることにあり、その他表面における銅板と試料のあいだの接触抵抗などがその原因と考えられるが、これらについてはさらに検討の必要がある。

ま と め

環境温度による被服材料の温度変化のうち、材料の表面温度が時間に比例して上昇する場合と周期的変化をする場合について研究し、次の結果を得た。

1 表面温度が時間に比例して上昇する場合には、赤外線ランプを使用した簡単な装置で相当信頼できる結果を得た。また加熱初期の急激な温度上昇を何らかの方法で押えて時間に比例するようにすれば、この方法

で十分信頼できる試料の温度伝導率を測定できることがわかった。

2 表面温度が周期的に変動する場合については、それが調和振動する場合に表面温度に対する内部温度の振幅比や位相の遅れを測ることによって材料の温度伝導率を求めることができるが、加熱が赤外線ランプの点滅による方法では、実験値と理論値のあいだに相当差があり、実験法をさらに検討する必要がある。

文 献

1) H. S. Carslaw and J. G. Jaeger : *Conduction of Heat in Solids*, Oxford University Press, 1959, pp. 63  
 2) Max Jakob and G. A. Hawkins : *Elements of Heat Transfer*, John-Wiley & Sons, Inc., 1957 pp. 67~71