

## 簡易輻射計による輻射熱測定方法について

鳥 井 四 郎\*  
三 好 和 人\*

### 1. はじめに

火災建物から放射される輻射熱の測定は、隣接する建物への延焼危険の有無を判断する上で重要である。しかしながら、現在よく使用されている輻射計は加熱による損傷危険が高く、しかも損傷によって完全に測定が出来なくなるため、火災実験では火源に近接している箇所では使用出来ない欠点がある。

このため、最近では銅板に熱電対を溶接して黒色塗装をした簡易輻射計(「銅板ディスク」とも称される。)を使用し、輻射熱を測定することが試みられている。本報告では、この簡易輻射計の基本的性質を調査した実験並びに2"×4"工法住宅火災実験(昭和53年12月16日)での測定結果からその性能等を比較し、これを取扱うにあたっての留意点等について述べる。

### 2. 構 造

現在使用している簡易輻射計は、銅板(直径50mm厚さ0.3mm)の両端にCA線(0.65mmφ)を銀ろう溶接し、黒色塗装しただけの単純な構造のものであり、CA線の熱起電力を測定する。(図1参照)

黒色塗装にはベルベットコートブラック(3M社製Nextel 101)を使用した。

使用に際して、杉板等の板上に取り付ける方法又は単独で使用方法がある。

### 3. 解 析 方 法

簡易輻射計では、直接測定されるのは温度である。指示温度から輻射熱量を算出する方法は、今

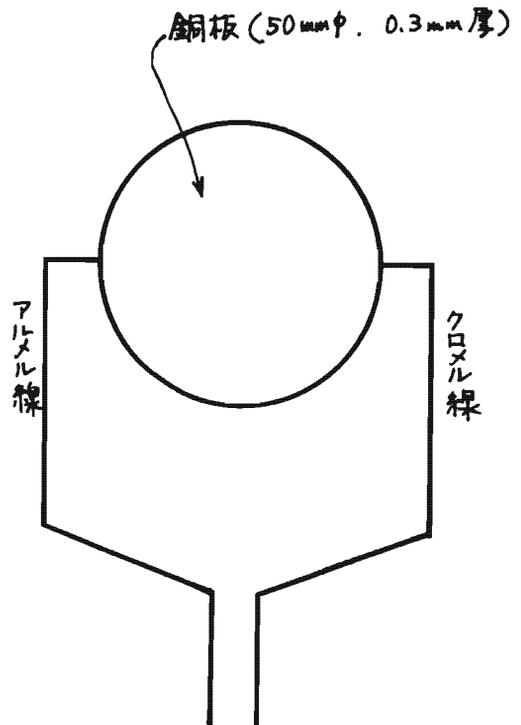


図1 簡易輻射計の構造

までは回帰法が使用されていたが、今回新たに熱収支簡易略式法という方法を使用して解析した。<sup>1)</sup>

#### (1) 回帰法

簡易輻射計と輻射計とを併設して測定し、両者の測定値のサンプリング値を比較した回帰式を用いて輻射熱量を算出する方法である。この方法では直線回帰が通常使用されるため、理論上、中間値にかたよる傾向がある。一方、実用上ではサンプリングの数とその方法、測定箇所が多い場合の回帰式相互の誤差が取り扱いを困難にしている。

\* 第一研究室

(2) 熱収支簡略式法

簡易輻射計の熱収支を考え、簡略式を適用して輻射熱量を求める方法である。

図2は簡易輻射計の熱収支のモデルであり、この図から式(1)が成り立つ。

$$C_p M \frac{\Delta \theta}{\Delta t} + Q_c + Q_b = Q_a + Q_s + Q_F \dots \dots (1)$$

但し

- $C_p$  : 簡易輻射計の比熱
- $M$  : 簡易輻射計の重量
- $\Delta \theta / \Delta t$  : 温度上昇率
- $Q_c$  : 対流熱伝導流出熱量
- $Q_b$  : 放射流出熱量
- $Q_a$  : 周囲からの放射流入熱量
- $Q_s$  : 太陽光による流入熱量
- $Q_F$  : 火災による流入熱量

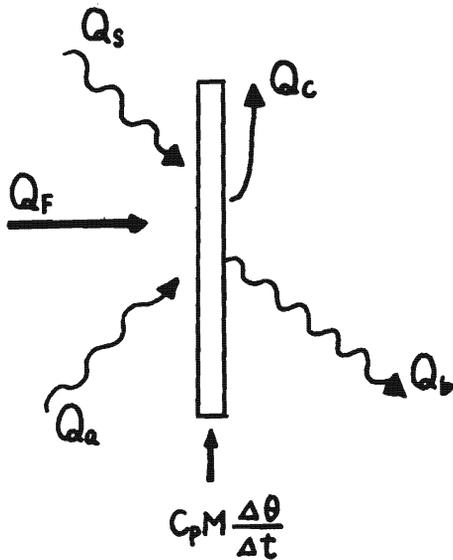


図2 熱収支モデル

ここで、 $C_p M \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ の項は簡易輻射計の厚みが小さく熱伝導率がよいので短時間に定常状態になるものとして無視して取扱う。また、計測中では太陽光の強さ及び外気温度に変化が無いものとして $Q_s$ 、 $Q_a$ を一定であるとする。これらの条件下で、輻射および対流熱伝導の式を使用し、式(1)を具体的に表現すれば式(2)となる。

$$\alpha(T_b - T_a) + \sigma \phi_b \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 = \sigma \phi_a \left( \frac{T_a}{100} \right)^4 +$$

$$+ R_s + R_F \dots \dots (2)$$

但し

- $T_a$  : 周囲温度(°K)
- $T_b$  : 簡易輻射計指示温度(°K)
- $\phi_b, \phi_a$  : 形態係数
- $\alpha$  : 熱伝達率
- $\sigma$  : ステファンボルツマン定数
- $R_s$  : 太陽光による輻射熱
- $R_F$  : 火災による輻射熱
- $T_o$  : 初期指示温度(°K)

また、火災熱を受ける前の簡易輻射計指示温度(°K)を $T_o$ とすれば、太陽光による流入輻射熱 $R_s$ 、火災による輻射熱 $R_F$ は式(3)、式(4)となる。

$$R_s = \alpha(T_o - T_a) + \alpha \phi_b \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 - \alpha \phi_a \left( \frac{T_a}{100} \right)^4 \dots \dots (3)$$

$$R_F = \alpha(T_b - T_o) + \alpha \phi_b \left\{ \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \dots \dots (4)$$

ここで形態係数 $\phi_b$ は簡易輻射計の表面から輻射熱が放出する場合のもので、火源から充分距離があれば $\phi_b \approx 1$ としてよい。 $\alpha$ 値は銅板表面に黒色塗装してあるため、銅の熱伝達率より低下すると予想できる。塗装が炭素粉状をしていることから杉板の熱伝達率を参考に使用してみた。

以上のことから、式(1)を火災実験等で応用する場合の計算式は、使用方法により次の二つに分類できる。

ア. 単独で使用する場合

使用時に杉板を取り付けずに単独で使用する場合には、 $Q_b$ 、 $Q_a$ 、 $Q_c$ が簡易輻射計の両面に作用するので式(4)の右辺を二倍した式(5)のようになる。

$$R_F = 2\alpha(T_b - T_o) + 2\alpha \left\{ \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \dots \dots (5)$$

イ. 杉板を取り付けた場合

使用時に杉板等の板を取り付けた場合には杉板に密着している面での熱の流入が無いとす

れば $Q_b$ ,  $Q_a$ ,  $Q_c$ が簡易輻射計の片面のみに作用するので式(6)のようになる。

$$R_F = \alpha(T_b - T_o) + \alpha \left\{ \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \dots\dots\dots(6)$$

また簡易輻射計に流入する熱量は $R_F$ と $R_s$ の和であらわされる。

#### 4. 性能調査実験

##### (1) 方法

熱源（シュバクバーナー）と簡易輻射計との間に仕切板を置き、火源が安定した点火後5分で仕切板をはずし簡易輻射計の指示温度を測定した。次に仕切板を入れ熱源を停止させた時について同様の測定を行った。（図3参照）

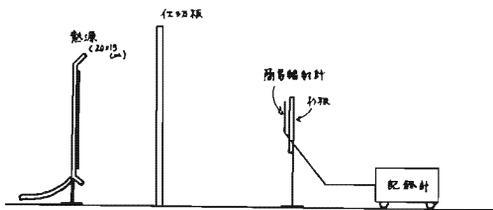


図3 実験装置配置図

##### (2) 熱源の変化

赤外線撮像装置（キャノンCT-4B）を使用し熱源の経時変化を測定したが、点火後1分以降では熱像に大きな変化がみられなかった。（写真1参照）

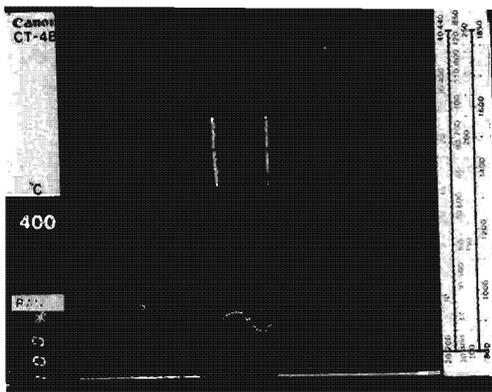


写真1

##### (3) 結果

結果の一部を図4, 5に示した。

#### (4) 考察

##### ア. 指示温度

簡易輻射計の指示温度は板を取り付けて使用する場合のほうが単独で使用する場合より高くなる。また板の種類ではベニヤ板と杉板では杉板のほうが高くなった。板の厚みによる影響はほとんどみられなかった。このことから指示温度を上げて測定誤差を小さくするには杉板を使用した方がよい。（図6参照）

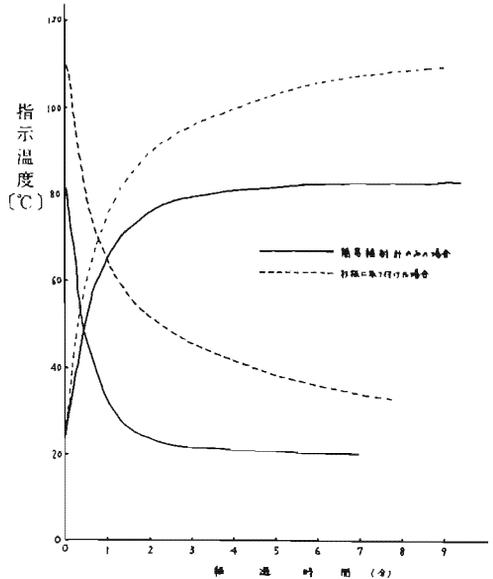


図4 簡易輻射計温度変化（距離55cm）

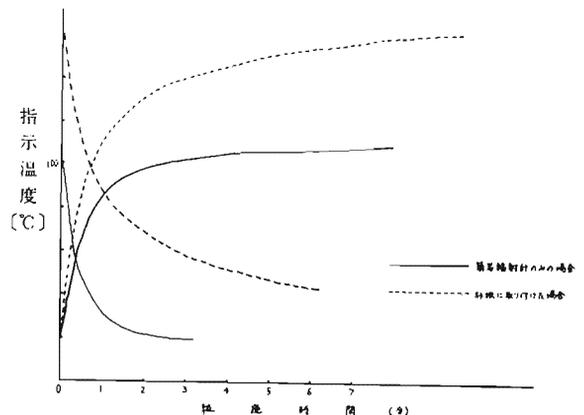


図5 簡易輻射計温度変化（距離40cm）

##### イ. 感度

飽和温度（安定する温度）に達する感度については、単独で使用した場合のほうが板を取り付けた場合より良かった。（図4,5参照）

しかし杉板を取り付けた場合の飽和温度は確認できなかった。このことから感度では単

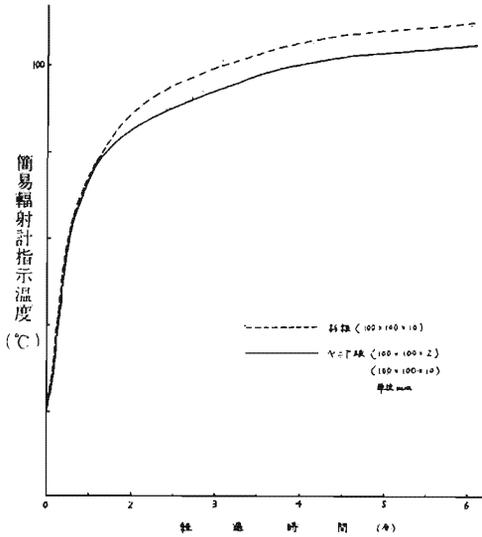


図6 取付け板種別の関係

独で使用した場合のほうが良い、また図7は式(2)の  $C_p M \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  の項を省略しないで計算した曲線である。温度の上昇が計算値の方が遅いのは、内部の温度が均一になっていたためであり、内部の温度分布を考慮すれば測定値に近づくとされている。<sup>1)</sup>

なお、予想以上に実測値の感度が良い理由としては、簡易放射計表面の温度を指示しているためであると思われる。このことから、急激な放射熱の変化に対しても比較的の良い感度を示すものと予想される（飽和温度が判明しにくいので時定数の比較は出来なかった。ウ. 熱伝達率 $\alpha$

杉板の熱伝達率は風速の影響に左右されるとされている。<sup>2)</sup> 杉板の熱伝達率並びに簡易放射計の温度上昇を考慮し、簡易放射計表面の熱伝達率 $\alpha$ を10Kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>cとした。この値は一応無風時の場合で、有風時の場合はさらに検討する必要がある。

#### エ 計算値と実測値の比較

熱収支簡略式法で計算した値と放射計（東京精工社、R-3型、熱電対モール箱型）の実測値とを比較してみると、杉板を取り付けて使用した場合には放射熱が低く、単独で使用した場合には放射熱が高くなった。（図8参照）

このことから杉板からの熱の移動や熱伝達

率 $\alpha$ の値をまだ検討する余地があると思われる。

火災の様に熱源が変動する場合については、さらに感度の問題が加わり、異った測定値が予想される。

次に実大火災実験での使用例について述べる。

### 5. 実大火災実験での使用例

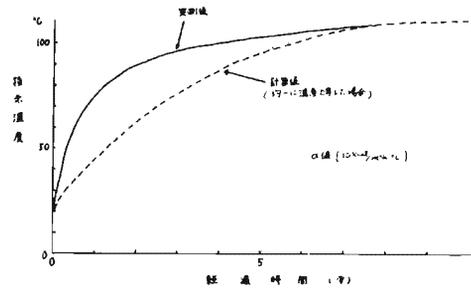


図7 簡易放射計温度上昇（単独使用の場合）

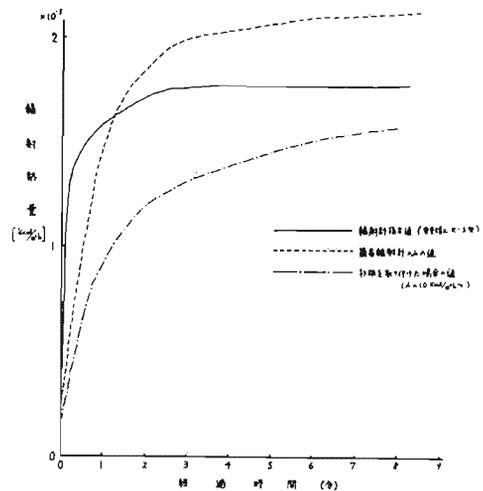


図8 計算値と実測値の比較

### 5. 実大火災実験での使用例

昭和53年12月16日、千葉県浦安町で実施された2"×4"工法住宅火災実験（D-II棟）で使用した。

#### (1) 当日の気象

天気：晴  
風位風速：北寄りの風約1.5m/sec  
気温：約11℃  
湿度：約74%

#### (2) 測定位置

実験建物の南側および北側に図9のように配置した。近接部では杉板の燃焼による影響をさ

けるため簡易輻射計と杉板の位置をずらした。  
 なお4ヵ所に輻射計を取り付けた。(建物に近い第4ポールには高温輻射計を取り付けた)

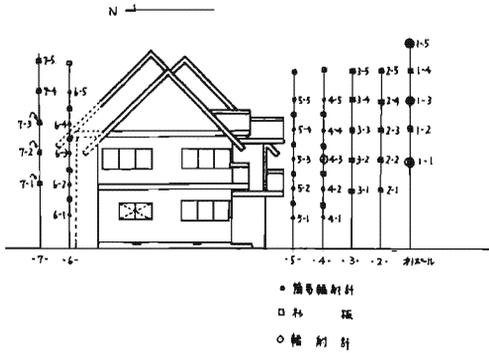


図9 測定位置

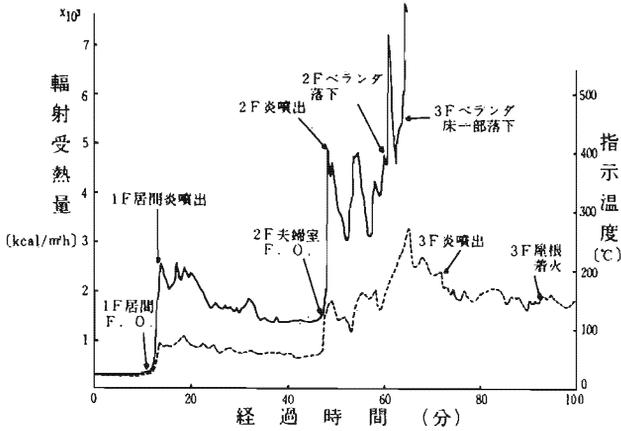


図10 測定値の推移状況 (測点1-1)

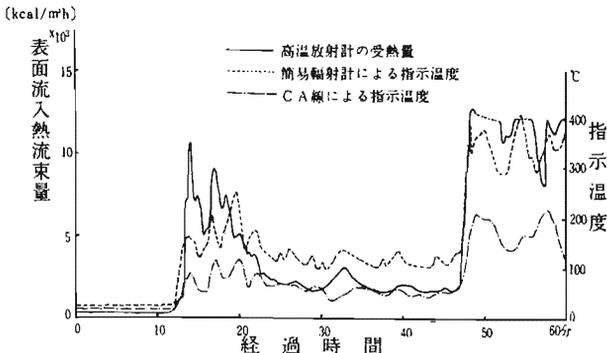


図11 測定値の推移状況 (測点4-3)

(3) 結果および考察

ア. 指示温度

輻射計と簡易輻射計が併設されていた場所の例として図10をみると、変化が激しいのは輻射計のほうである。一方図11は感度の低い高温放射計(英弘精機産業社)と比較したものである。

共に火災の進展に基づき、曲線の変化の状

況が規則的な動きをしている点では輻射計の測定値でも簡易輻射計でも同様であった。

イ. 熱伝達率 $\alpha$

実験当日の風速は約1.5m/秒であり、熱伝達率 $\alpha$ の値を考慮する必要があった。図12は測定値を適当に取り、 $\alpha$ の値を20Kcal/m<sup>2</sup>h°Cとした場合とを比較したものである。この値は杉板の熱伝達率の文献値から推定した値である。以後本実験の計算では $\alpha=20$ Kcal/m<sup>2</sup>h°C(有風時約2m/秒)を適用した。

ウ. 回帰法との比較

直線回帰を用いた回帰法による値と熱収支簡略式法で計算した値と比較したのが図13である。データのぬき取り作業を必要とする回帰法に比べ熱収支簡略式法では、計算するだけでよく、しかも実測値に近い値が得られている。

エ. 指示温度と杉板の焼損程度

表1は杉板の焼損状況と指示温度の関係を示したものである。杉板は270°C付近で着火しはじめるとされているが<sup>3)</sup>今回の結果でも指示温度が約300°Cで着火の有無がある。この簡易輻射計の指示温度は、感度並びに熱伝達率から考慮し、杉板などの壁体表面温度を推定できるものと思われる。

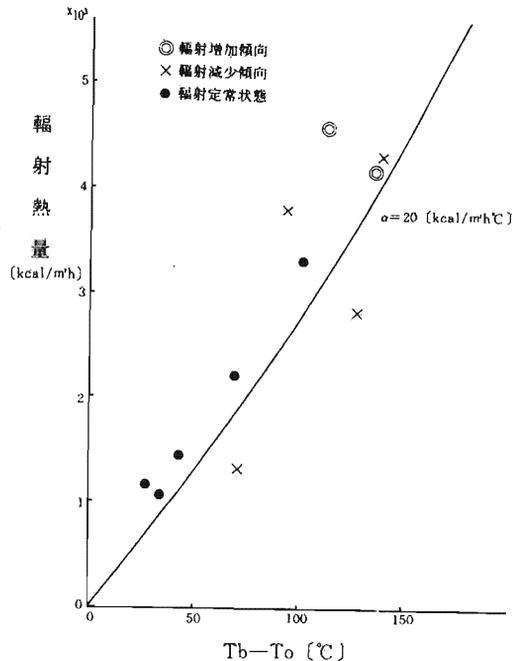


図12 熱伝達率と測定値

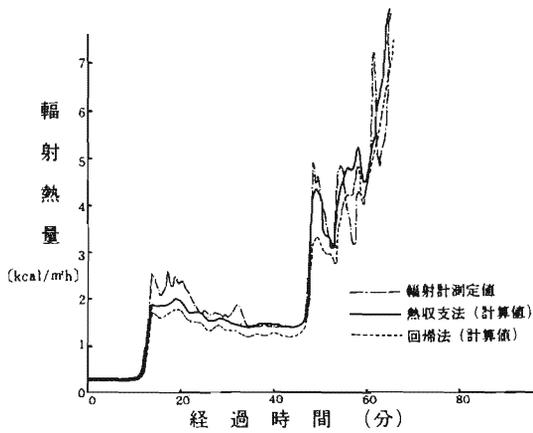


図13 解析方法による差

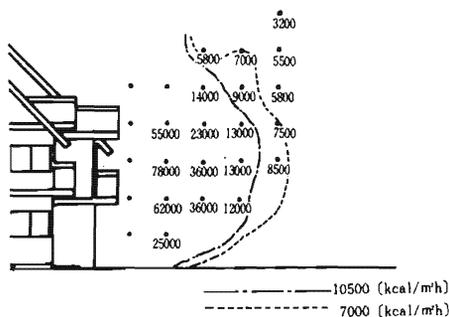


図14 輻射熱分布図 (64分経過時)

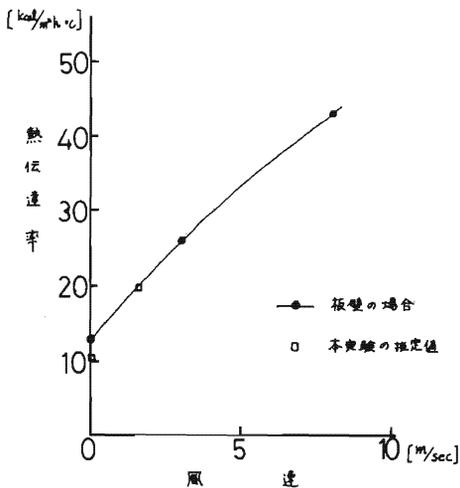


図15 熱伝導率

オ. 耐熱性

簡易輻射計は銅板とCA線を銀ろう溶接して作ったので、接炎すると溶接部分がとれる。実験中500℃付近で断線した。又、300℃付近で銀ろうペーストが発泡し黒色塗装が一部はげること、杉板の燃焼で一時的な温度上昇が

あることなどの使用上の問題点が判明した。

その反面、ある程度の耐熱性があり図14の様な広範囲の分布図を作成するのは極めて有効である。

6. 使用上の留意点

輻射計が入手できない場合あるいは火炎に接する危険性がある場合などは、簡易輻射計を利用することによって受熱の強さを数量化できるので便利であるが、その使用に際しては次の点に留意して利用したほうがよいと思われる。

(1) 杉板を取り付ける場合

風の影響を強く受けるか、または受熱量が少ないと予想される時は杉板を取り付けたほうがよい。これは指示値の誤差並びに風による熱伝達率の誤差を防止するためである。

(2) 接炎の可能性がある場合

この場合は板を取り付けてはいけない。又接炎する場合は、測定される値は輻射熱でなく流入熱流束が測定される。なお溶接部分の仕方をより耐熱性のすぐれたものにしたほうがよい。

(3) 有風時の計算方法

有風時は熱伝達率が変化する。図15は今回の実験結果と過去の文献値と比較してみたものである。計算する場合には式および係数を明確にする必要がある。

(4) 計算値の傾向

感度のよい輻射計と比較すれば、杉板を付けた場合はやや低く、単独で使用した場合にはやや高めに出る傾向がある。一方、回帰法では直線回帰を使用した場合には中心値からはなれた部分の計算値は実測値に比べ誤差が大きくなる傾向にある。

(5) 計算式の適正化

熱収支簡略方法を用いる場合杉板を取り付けた時と単独で使用した場合を明確に区別すること。これをまちがうと約2倍又は約2分の1の値が出る。

7. おわりに

この簡易輻射計は、火災実験で建物周辺部の輻射受熱量の分布を調査するために、輻射計の代用として使用されはじめたものである。当研究室では、プレキャストコンクリート住宅火災実験(昭

和52年9月)に初めて使用したが、解析方法で疑問の点が多く十分な検討がなされないままであった。今回の実験で基本的性状が幾分とも把握できた。些細な事項ではあるが、放射計のない場合での応用の便を考え、あえて報告してみた。いまだ検討の余地が残されている点については今後とも努力し、利用しやすい様にしてゆきたい。

なお、解析方法については、建設省建築研究所

第5研究部、長谷見雄二氏の御助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

文献

- 1) 伝熱概論 養賢堂 甲藤好郎著
- 2) 藤田金一郎 火災放射熱による延焼とその防止 火災の研究(I) 相模書房
- 3) 建築学大系21 彰国社

表1 杉板表面状況 (2'×4' 工法実験結果)

地上高(m)	ポール別 事項種別	第3ポール (建物南側 4.5m)			第2ポール (建物南側 6.0m)		
		焼損状況	煙発生時分 (点火後分)	最高ディスク 指示温度(℃)	焼損状況	煙発生時分 (点火後分)	最高ディスク 指示温度(℃)
3.0		全焼損	49	580	上 $\frac{1}{2}$ 焼損	不明	320
4.5		"	64	650	黒焦変	なし	290
6.0		"	64	580	"	なし	340
7.5		"	58	520	褐色焦変	なし	280
9.0		下 $\frac{3}{4}$ 焼損	不明	350	"	なし	230