

天井下面への展炎部と天井表面を考慮した放射熱の予測方法 その2

正会員 ○井戸和彦*

同 原田和典* 同 新谷祐介**

同 出口嘉一** 同 長岡勉**

火炎長さ 展炎 連続火炎 間欠火炎

1. 研究の背景と目的

その1¹⁾では、出口らの天井下での展炎実験²⁾をベースとして連続、平均、間欠火炎長さを求め、床面への熱流束を予測する方法を提案した。このとき、ほとんどの実験データで無次元発熱速度 Q_D^* が1を超える強いブルームであるため、火源径の依存を無視して天井高さを代表寸法とする無次元発熱速度 Q_H^* を用いて火炎長さを表した。一方、 Q_D^* が1未満の弱いブルームでは横林らの提案式³⁾が良く用いられる。実験結果は横林式の適用範囲外であるが、火炎長さは横林式よりも明らかに小さかった。

本報では、その1の提案式と横林式の不連続を解消して火炎長さを求める計算式について考察した。

2. 既往の実験データの収集

天井下に火炎を展炎させる実験を行った文献を収集して分析を行った。そのうち、火炎長さの測定値が判別できるものは4編あった^{4,5,6,7)}。図1にこれらのデータの Q_D^* と無次元天井高さ (H/D) の範囲を示す。このうち連続および間欠火炎長さに分けて測定値を示しているのは Kokkala のみであり、他は平均火炎長さのみが記載されている。

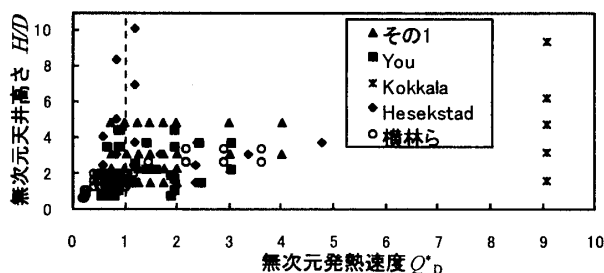


図1 文献データにおける実験結果

3. 横林式の適用範囲に関する考察

天井下に展炎する火炎の平均火炎長さ予測式として横林式³⁾がしばしば使われる。横林式は主として弱いブルーム ($Q_D^* < 1$) を対象としている。横林式の Q_{DH}^* ($=Q/1116D^2H^{1/2}$) を天井高さをを用いた Q_H^* に変形すると次式となる。

$$L_m/H = 2.6Q_{DH}^{*2/5} = 2.6(H/D)^{2/5} Q_H^{*2/5} \quad (1)$$

すなわち、横軸を (H/D)、縦軸を $L_m/(Q_H^{*2/5}H)$ として横林式を描くと、傾きが $2/5$ の直線となる。一方、自由空間中の強いブルームでは火炎長さは火源径に依存しない⁷⁾。天井下空間でも同様の性質が保たれるとすれば、 $L_m/(Q_H^{*2/5}H)$ は一定値になる。そこで、図1の文献データを Q_D^* が1より

大きいかどうかで分類してプロットした。図2に結果を示す。白抜き記号は $Q_D^* < 1$ かつ $L_m/H > 1$ のデータ、塗りつぶしは $Q_D^* > 1$ のデータを示す。

横林式はほぼデータの上限に対応し、 $Q_D^* < 1$ のデータと良く一致する。しかし、強いブルームに関しては平均火炎長さを過大に予測する。 $Q_D^* > 1$ のとき Kokkala のデータ以外は H/D に依存しない傾向が見られる。

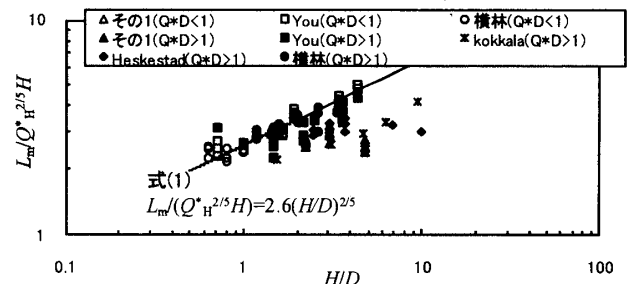
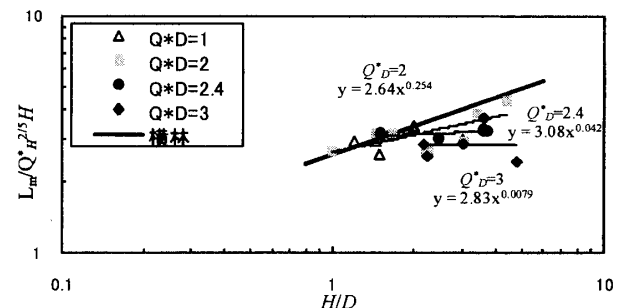


図2 横林式と文献データの比較

4. Q_D^* の影響を考慮した天井下の平均火炎長さ

Q_D^* が1を少し超える領域で $L_m/(Q_H^{*2/5}H)$ と H/D の関係が Q_D^* によってどのように変化するかを検討するため、図1のデータから Q_D^* が約1、2、2.4、3のデータを抽出して図3に示す。直線は各 Q_D^* の回帰式を示す。 Q_D^* が1から3まで増加すると、 H/D のべき乗が次第に小さくなる傾向があり、3でべき乗はほぼゼロになる。3以上では分析対象となるデータがないが、強いブルームの性質が保持されと考えれば、3以上ではべき乗はゼロとなるはずである。係数は Q_D^* によってあまり変わらない。

図3 Q_D^* による指数と係数の変化

Q_D^* が1~3の範囲で H/D のべき乗が線形的に変化すると仮定すれば、平均火炎長さは次式で表すことができる。

$$\frac{L_m}{H} = 2.6 \begin{cases} (H/D)^{2/5} Q_H^{*2/5} & (Q_D^* \leq 1) \\ (H/D)^{0.2(3-Q_D^*)} Q_H^{*2/5} & (1 \leq Q_D^* \leq 3) \\ Q_H^{*2/5} & (3 \leq Q_D^* \leq 4.8) \end{cases} \quad (2)$$

図4に式(2)と文献データとの比較を示す。 $Q^*D < 1$ では、ばらつきが小さくなり、文献データとの一致度は改良された。 Q^*D が1~3のとき、その1の方法では文献データより少し小さかった。式(2)のときばらつきは大きくなるが、平均値を良く予測している。 Q^*D が3以上のデータに対しては、その1の計算値と式(2)の計算値はほとんど変わらず、文献データより少し小さい。

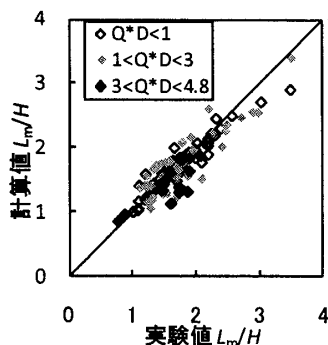


図4 作成した計算式による値と文献値の比較

連続および間欠火炎長さも Q^*D によって指数が変化すると考えられる。しかし、連続および間欠火炎長さの文献データが少ないため、平均火炎と同様の方法で計算式を作成することは困難である。そのため実験データから平均火炎長さと連続および間欠火炎長さそれぞれの比率を求めておく。

その1¹⁾の火炎長さと Kokkala⁵⁾のデータから連続および間欠火炎長さと平均火炎長さを抽出し、ブルームの強弱、天井への接炎の有無に応じて分類して図5に示す。

ここで、図1に示すように Kokkala のデータは Q^*D が極めて大きく、噴流の様相を示すので検討からは除外した。プロット結果では4つのグループ間に大差はなく、連続火炎は平均火炎の0.6倍、間欠火炎は平均火炎の1.4倍の長さと考えておけば良い。

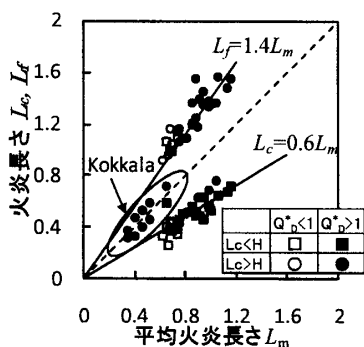


図5 平均火炎長さとの比率

5. 火炎からの放射熱流束の計算

その1¹⁾では、天井に展炎する火炎から床面への入射熱流束の計算を行っている。その1で用いた計算方法のうち、連続および平均火炎長さを式(2)に置き換えて計算を

行い、実験値と比較した。

火源径は0.25m、天井高さは0.56mで火源中心から1m離れた位置での床面への入射熱流束を求めた。図6,7に計算結果を示す。波線はその1、実線は式(2)の計算値である。

その1の計算値は、連続火炎が天井に展炎するときに折れ曲がったが、式(2)では $Q^*D=1$ 付近で滑らかに接続している。しかし、 Q^*D が3で不自然な折れ曲がりが生じる。

実験値と比較すると全般的に2割ほど大きな値となる。特に発熱速度が小さいときに火炎長さが実験値よりも大きくなり、展炎部からの放射を過剰に計算することになる。そのため、熱流束は実験値より少し過剰になる。

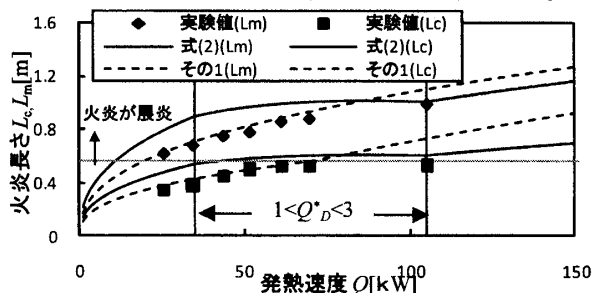


図6 火炎長さの計算結果

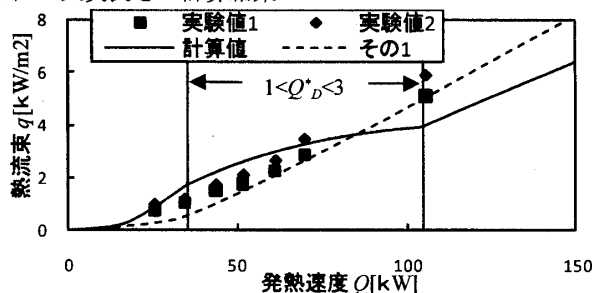


図7 熱流束の計算結果

6. 結論

本研究では、天井下に展炎する場合の火炎長さについてその1の火炎長さおよび文献データを用いて、指数を無次元発熱速度 Q^*D に応じて連続的に変化させた予測式を提案した。

無次元発熱速度 Q^*D が2程度までは火炎長さが滑らかに変化する計算結果が得られた。その1の実験結果と比較すると火炎長さおよび熱流束とも少し過剰な値となった。

<参考文献>

- 1) 井戸ほか, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010
- 2) 出口ほか, 日本火災学会発表梗概集, 2009
- 3) 横林ほか, 日本建築学会構造系論文集, 484, 1996
- 4) You et al., Fire and Materials Vol3, 1979
- 5) Kokkala, VTT Research Reports, 1989
- 6) Heskestad et al., Fire Safety Journal 21, pp69-82, 1993
- 7) Zukoski et al., Fire Safety Journal 3, pp107-121, 1980

*京都大学工学研究科

** (株)竹中工務店 技術研究所

*Graduate school of engineering Kyoto University

**Takenaka Research & Development Institute