

フラッシュオーバー限界発熱速度の近似式の提案

正会員 ○李 成璨*
正会員 原田和典**

盛期火災 二層ゾーンモデル 限界発熱速度 熱吸収速度 フラッシュオーバー 熱放出速度

1. はじめに

区画火災では、初期には緩やかに成長する燃焼が、ある時点を経境に区画全体に急激に拡大するフラッシュオーバー(F.O.)現象が発生する。F.O.が実際の火災で発生すると、特に避難や消火活動に大きい影響を与える危険な現象である。

F.O.を発生させる要因は様々であると予想されるが、本研究では特に重要な関係があると考えられる周壁の面積と熱特性、開口寸法等の条件を反映して火災安全性の指標を計算するF.O. 限界発熱速度の簡易予測式を提案するのが目的である。

2. 計算条件

既存の研究¹⁾で改善した二層ゾーンモデル²⁾³⁾を使って、特定の火災室を想定して計算する。火災室の高さは5m、開口は1個で高さは2mに固定し、開口の幅と発熱量密度を変更して計算する。室内外の初期温度は20℃、計算時間は2000秒まで行う。火災成長率は告示の値を用いた。

火災室の開口の幅と発熱量密度、壁体構成材料および床面積の条件を表1～2に示す。

表1 室の壁体構成材料

壁の材料	床面積 [m ²]	発熱量密度 [MJ/m ²]	開口幅 [m]	計算回数 [回]
ALC (標準)	5×5	80～960	0.1～9	516
石膏ボード	5×5	80～960	0.1～9	330
コンクリート	5×5	80～960	0.1～9	370

表2 室の床面積

壁の材料	床面積 [m ²]	発熱量密度 [MJ/m ²]	開口の幅 [m]	計算回数 [回]
ALC	5×7	80～960	0.1～20	380
ALC	5×10	60～480	0.1～30	238
ALC	10×10	20～240	0.1～40	238

3. 計算結果

各々の条件に対して火災温度の時刻変化を計算し、煙温度が600℃になった時点での発熱速度の値を求めた。

図1にALC火災室(5m×5m)の結果を示す。発熱量密度 q_f が80MJ/m²の場合はF.O. せず、160MJ/m²以上の場合にはF.O. 発生する。発熱量密度と開口因子 $A\sqrt{H}$ [m^{5/2}]が大きくなるほどF.O. 限界発熱速度 Q_{FO} [kW]は大きくなる。

図2に示すように、F.O. が発生する瞬間の発熱速度とF.O. 発生しない場合の最大発熱速度 Q_{max} [kW]との境目をF.O. 限界発熱速度と呼ぶ。F.O. 限界発熱速度は一定の計算値を結ぶ線において、 Q_{FO} と Q_{max} の計算値の中点の値に

応する開口因子 $A\sqrt{H}_{FO}$ [m^{5/2}]の値をF.O. 限界開口因子と呼ぶ。

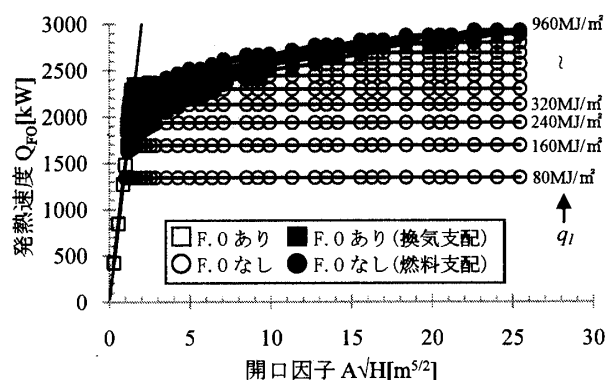
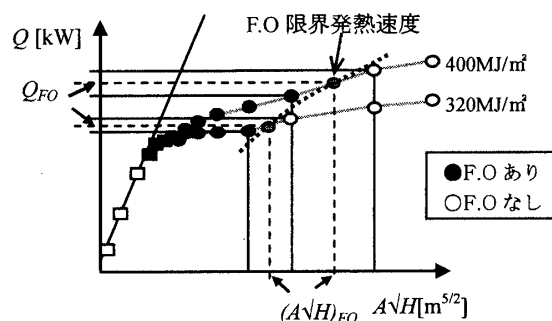
図1 開口因子と発熱速度の関係 (ALC材料-5x5m²)

図2 F.O. 限界発熱速度を求める方法

4. 回帰式の導出

本研究と同一な変数を使った既存の予測式であるMQH式⁴⁾の導出にならない、F.O. 限界発熱速度は壁の熱吸収速度 Q_w [kW]と開口からの熱放出速度 Q_L [kW]の和である。

$$Q_{FO} = Q_w + Q_L \quad (1)$$

また、 Q_w と Q_L の近似式を導出し、各変数が発熱速度に及ぼす影響を調べる。

4.1. 熱吸収速度の近似式

式(2)はMQH式の熱吸収速度の計算式である。

$$Q_w/A_T = \{\sqrt{k\rho c}(T_s - T_o)\}/t_{FO}^{0.5} \quad (2)$$

式(2)から各壁体構成材料の数値計算結果と一致が最も良くなるように係数と指数値を探索して次の近似式(3)～(5)を得ることができる。

$$[ALC] \quad Q_w/A_T = \{0.35\sqrt{k\rho c}(T_s - T_o)\}/t_{FO}^{0.35} \quad (3)$$

$$[石膏ボード] \quad Q_w/A_T = \{0.15\sqrt{k\rho c}(T_s - T_o)\}/t_{FO}^{0.35} \quad (4)$$

$$[\text{コンクリート}] \quad Q_w/A_T = \{0.055\sqrt{k\rho c}(T_s - T_o)\}/t_{FO}^{0.35} \quad (5)$$

式(3)～(5)の $\sqrt{k\rho c}$ に各材料の熱特性値を、 T_s に600℃を代入した関係を図3に示す。 Q_w/A_T の床面積による変化は小さい。発熱量密度が小さくなると火災成長率が小さくなるので t_{FO} が大きくなり、その結果として Q_w/A_T は小さくなる。また、熱特性が大きいコンクリート、石膏ボード、ALCの順番に単位面積あたりの熱吸収速度が大きく、MQH式は数値計算結果よりもかなり大きい。

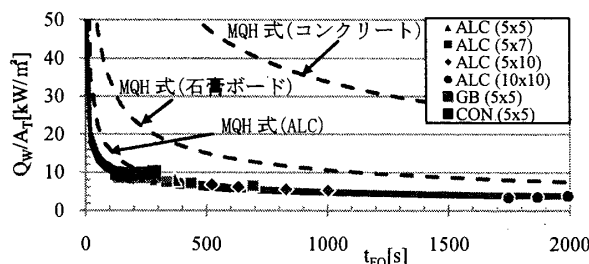


図3 壁体構成材料による熱吸収速度の変化

4.2. 熱放出速度の近似式

式(6)はMQH式の熱放出速度の計算式である。

$$Q_L = 0.53A\sqrt{H}(T_s - T_o) \quad (6)$$

ごとに数値計算結果との一致が最も良くなるように係数と指数値を探索したところ次式(7)～(9)となった。

$$[\text{ALC}] \quad Q_L = 425(A\sqrt{H})^{0.45} \quad (7)$$

$$[\text{石膏ボード}] \quad Q_L = 405(A\sqrt{H})^{0.45} \quad (8)$$

$$[\text{コンクリート}] \quad Q_L = 400(A\sqrt{H})^{0.45} \quad (9)$$

式(7)～(9)と数値計算結果との比較を図4に示す。開口因子が大きくなれば Q_L も大きくなるが、火災室の床面積と壁体構成材料による影響は小さい。MQH式と数値計算結果を比べると、MQH式は開口因子と熱放出速度が比例すると仮定するが、回帰式は緩やかに上昇する右上がりの曲線を示す。開口因子が小さい場合には両者ほとんど一致するが、開口因子が大きくなるとMQH式は過大な値になる。

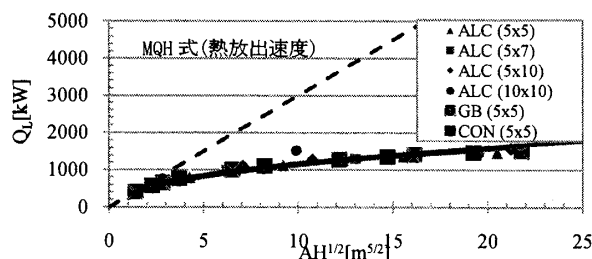


図4 壁体構成材料による熱放出速度の変化

4.3. 近似式のまとめ

各材料の熱吸収速度の近似式に熱慣性を代入し、熱放出速度と合わせるとF.O. 限界発熱速度の近似式を導出する。これらの近似式の係数の差は小さいので、係数を平均して一つの式(10)で整理できる。

$$Q_{FO} = 55A_T/t_{FO}^{0.35} + 410(A\sqrt{H})^{0.45} \quad (10)$$

式(10)の t_{FO} の数値を探索して数値計算の Q_{FO} が式(10)で

求めた Q_{FO} より大きくなるためには t_{FO} を120秒とすればよいことを確認した。式(10)の t_{FO} に120秒を代入すれば、室内表面積と開口因子を変数にした簡単なF.O. 限界発熱速度の予測式(11)で整理することができる。

$$Q_{FO} = 10.3A_T + 410(A\sqrt{H})^{0.45} \quad (11)$$

図5に示すように、式(11)で求めた Q_{FO} と数値計算の Q_{FO} を比べると、数値計算の Q_{FO} が全て、予測式(11)で求めた Q_{FO} より大きい。

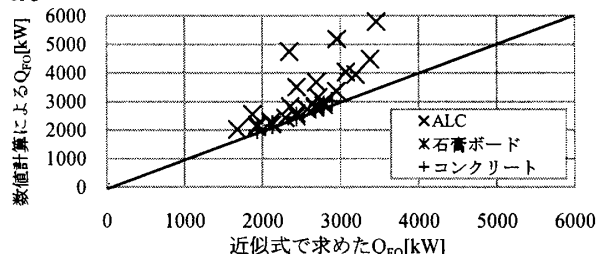


図5 式(11)で求めた Q_{FO} と数値計算の Q_{FO} の関係

5. 結論

本研究では、F.O. 発生の重要な変数となる火災室の壁体構成材料や床面積、発熱量の密度及び開口部の大きさを変更して、二層ゾーンモデルを使って数値計算を行った。F.O. 限界発熱速度に対する回帰式を導出して、次のような結果を得ることができた。

- ・開口寸法が大きくなれば熱放出速度も大きくなるが、床面積と壁体材料による影響は小さい。
 - ・壁体構成材料の熱特性が大きくなるほど単位面積あたりの熱吸収速度は大きくなる。
- また、それぞれの近似式を整理して、室内表面積と開口寸法を変数にする簡易なF.O. 限界発熱速度の近似式を作成・提案した。

謝辞

本研究の一部は、平成22年度文部科学省科学研究費「超高層住宅プロジェクトのリスク・危険度評価手法の開発(基盤研究B、研究代表者:金多隆)」の補助を受けた。

【記号】

Q : 発熱速度[kW] A : 開口面積[m²] H : 開口高さ[m] T_s : 煙層温度[℃] T_o : 空気層温度[℃] Q_{fuel} : 発熱速度(燃料支配型)[kW] Q_{vent} : 発熱速度(換気支配型)[kW] q_i : 可燃物の発熱密度[MJ/m²] q_o : 単位面積あたりの発熱速度[kW/m²] A_{fuel} : 積載可燃物の燃焼表面積の最大値[m²] A_{room} : 室の床面積[m²] A_i : 積載可燃物の燃焼表面積[m²] Q_{FO} : F.O.限界発熱速度[kW] Q_w : 熱吸収速度[kW] Q_L : 熱放出速度[kW] t_{FO} : F.O.発生時間[s]

【参考文献】

- [1] 李成瑤, 原田和典: “盛期火災への遷移を考慮した二層ゾーンモデルの改善方法に関する研究”, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 221-222, 2010
- [2] 田中峰義, 中村和人: “二層ゾーンの概念に基づく” 建物内煙流動予測計算モデル, NO. 123, 建設省建築研究所, 1989
- [3] 田中峰義: 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター, 2002
- [4] McCaffrey, B.J., Quintiere, J.G. and Harkleroad, M.F.: Estimating Room temperatures and Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations, Fire Technology, Vol. 17, No. 2, 98-119, 1981

*京都大学大学院工学研究科 博士課程

**京都大学大学院工学研究科 教授・博士

*Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University.

**Prof, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr.Eng