

初期火災時における煙層下端高さの簡易予測式

山口 純一 小宮 英孝

Simple Equations for Predicting Smoke Layer Height in Early Stage of Fire

Jun-ichi Yamaguchi Hidetaka Komiya

Abstract

This paper proposes simple equations for predicting the smoke layer height in order to evaluate the performance of evacuation safety in case of building fire. Simple equations correspond to fire of various forms and rooms of complicated shapes. These equations were applied to a model building, and prediction capability was verified. The following results were obtained. These simple equations have a prediction capability equivalent to a two-layer zone model (BRI2), often used as a tool for evacuation safety design. In order to improve prediction accuracy, it is necessary to estimate the smoke layer density appropriately.

概要

本報告では、建築火災時の避難安全性能を評価するために必要な、煙層下端高さの簡易予測式を提案した。この簡易予測式は、様々な形態の火源、複雑な形態の火災室に対応することを特長としている。また、モデル建物に適用して予測能力を検証した結果、以下のことが確認された。実務的に多く利用されている<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(BRI2)>と同等の予測能力を持つ。予測精度を向上させるには、煙層密度を適切に設定する必要がある。

1. はじめに

建築火災時の避難安全性能の評価方法は、建築の各部分的に避難時間と煙層降下時間の大小を比較するか、煙層温度または煙層濃度を避難上の基準値と比較するのが一般的である。

火災時の煙層降下時間等の予測には、「<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(BRI2)¹⁾(以下、二層ゾーンモデルと言う。)」がよく用いられる。これは、煙層下端高さ、煙層温度、煙層の化学種の濃度の時刻歴を得ることができるものである。

一方で、火災室における煙層下端高さ(または煙層降下時間)の予測に限れば、手計算レベルの簡易予測式が提案されている²⁾³⁾。このような簡易予測式のメリットは、

各パラメータ(室床面積、天井高さ、火災条件など)の相互関係が定量的、視覚的に確認できる。

専門家でなくても計算できる。

EXCELなどの表計算ソフトと組み合わせれば、瞬時に計算結果を得ることができる。

である。

本報告では、現在使われている煙層降下時間の簡易予測式の適用範囲をさらに拡大させ、タイプの異なる複数の火災条件や形状が複雑な室にも適用可能な簡易予測式を提案した。

2. 火災室における煙層降下時間

2.1 煙層降下時間算定のための基本方程式

火災室における煙層降下時間の簡易予測式は、田中により提案されている²⁾。これは、最も安全な場合を想定して、室内に煙を排出する開口がなく、煙が天井から単純に降下する場合を想定して解かれたものである。

煙層の降下性状を予測するためには、少なくとも質量保存およびエネルギー保存の二式を連立して解く必要がある。

$$\frac{d}{dt}(\rho V) = \dot{m}_p \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}c_p \rho V T = \dot{Q}_f - \dot{Q}_L \quad (2)$$

ここに、 ρ 、 V 、 T はそれぞれ、煙層の密度、体積、温度である。また、 c_p 、 \dot{m}_p 、 \dot{Q}_f 、 \dot{Q}_L はそれぞれ、定圧比熱、煙層に貫入する火災ブルーム流量、火源の発熱速度、煙層からの正味の失熱速度である。なお、式(1)、(2)を解析的に解くことは不可能なので、 ρ =一定と見なして式(1)のみ用いることとする。

Fig. 1に示すように、室の天井高さが一定の場合を考えると、煙層体積は、火災室床面積 A_r 、天井高さ H_r 、煙層下端高さ z を用いて

$$V = A_r (H_r - z) \quad (3)$$

したがって、式(1)は

$$-\rho A_r \frac{dz}{dt} = \dot{m}_p \quad (4)$$

と変形できる。

ここで、煙層に貫入する火災ブルーム流量 \dot{m}_p は Zukoski の far field model に従い、

$$\dot{m}_p = k \dot{Q}_f^{1/3} z^{5/3} \quad (5)$$

により与えられると考える。ただし、 k は巻き込み定数、 \dot{Q}_f は火源の発熱速度、 z は火源面からの煙層下端高さである。

2.2 想定火源の発熱速度

現在使われている煙層下端高さの簡易予測式は、以下に示す 2 つの想定火源に対して提案されたものである。

- (a) 発熱速度が時間によらず一定の火源 (定常火源)
- (b) 発熱速度が時間の 2 乗に比例して増加する火源 (成長火源)

ここでは、上記に加えて、Fig. 2 に示す、

- (c) 成長火源と定常火源を複合した火源 (複合火源)

に対しても簡易予測式を提案する。

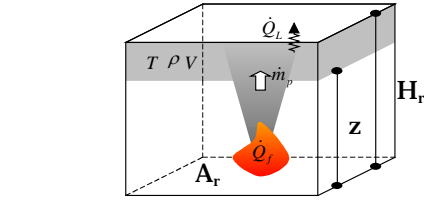


Fig. 1 天井高さが一定の火災室
Fire Room with Constant Ceiling Height

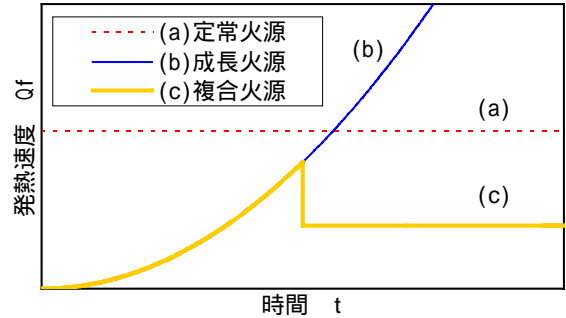


Fig. 2 想定火源の発熱速度
Heat Release Rates of Assumption Fire Source

2.3 定常火源における煙層下端高さ

定常時の火源発熱速度を \dot{Q}_c とすると、定常火源における発熱速度は下式ようになる。

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_c \quad (6)$$

天井高さが一定の室 (Fig. 1 参照) および天井高さが部分的に異なる室 (Fig. 3 参照) の簡易予測式は既に提案されているが、参考のため以下にまとめておく。

2.3.1 天井高さが一定の場合

式(5)および(6)を式(4)に代入すると

$$-\frac{dz}{z^{5/3}} = \frac{k \dot{Q}_c^{1/3}}{\rho A_r} dt \quad (7)$$

さらに積分すると、

$$\frac{3}{2} (z^{-2/3} - z_0^{-2/3}) = \frac{k \dot{Q}_c^{1/3}}{\rho A_r} (t - t_0) \quad (8)$$

火災発生時点では、 $(t_0, z_0) = (0, H_r)$ であることを考慮すると、時間 t における煙層下端高さ z は、

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k \dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} t + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (9)$$

また、煙層下端高さが z となる時間 t は、

$$t = \frac{3\rho}{2k \dot{Q}_c^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right) \quad (10)$$

となる。

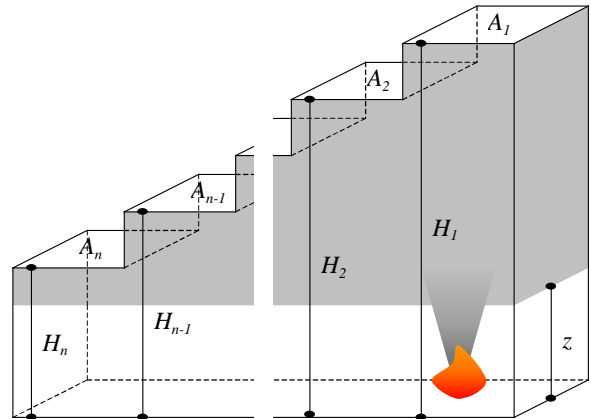


Fig. 3 天井高さが部分的に異なる室 (n分割)
Fire Room with Various Ceiling Heights

2.3.2 天井高さが部分的に異なる場合

室の天井高さが部分的に異なる場合の簡易予測式は文献 2) に示されているが、ここでは下式のように表すこととした。ただし、 $z \leq H_n$ である。

$$t = \frac{3\rho}{2k \dot{Q}_c^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) \quad (11)$$

また、これを煙層下端高さ z について解くと下式を得る。

$$z = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left(\frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} t + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{-3/2} \quad (12)$$

2.4 成長火源における煙層下端高さ

火災成長率を α とすると、成長火源を想定した場合の発熱速度 \dot{Q}_f は下式により表される。

$$\dot{Q}_f = \alpha t^2 \quad (13)$$

2.4.1 天井高さが一定の場合

天井高さが一定の室 (Fig. 1参照) での簡易予測式は、既に提案されている²⁾。

式(5)および(13)を式(4)に代入すると

$$-\frac{dz}{z^{5/3}} = \frac{k\alpha^{1/3}}{\rho A_r} t^{2/3} dt \quad (14)$$

さらに積分すると、

$$\frac{3}{2}(z^{-2/3} - z_0^{-2/3}) = \frac{3k\alpha^{1/3}}{5\rho A_r} (t^{5/3} - t_0^{5/3}) \quad (15)$$

火災発生時点では、 $(t_0, z_0) = (0, H_r)$ であることを考慮すると、時間 t における煙層下端高さ z は、

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t^{5/3} + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (16)$$

また、煙層下端高さが z となる時間 t は、

$$t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (17)$$

により得られる。

2.4.2 天井高さが部分的に異なる場合

初めに簡単な場合を想定して、Fig. 4のように室の天井高さが2段の場合の簡易予測式を提案する。

まず、煙層下端高さ z が水平断面積の変化する高さ H_2 に達するまでに要する時間 t_1 は、式(15)において、 $A_r = A_1$ 、 $(t_0, z_0) = (0, H_1)$ として、

$$t_1 = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot A_1 \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_1^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (18)$$

煙層下端高さ z が水平断面積の変化する高さ H_2 に達した以降の煙層下端高さ z と時間 t の関係を知るためには、式(15)において、 $A_r = A_1 + A_2$ 、 $(t_0, z_0) = (t_1, H_2)$ として、

$$t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot (A_1 + A_2) \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_2^{2/3}} \right) + t_1^{5/3} \right\}^{3/5} \quad (19)$$

これより、式(18)を式(19)に代入して整理すれば、煙

層下端高さ z と時間 t の関係式として

$$t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \left[A_1 \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_1^{2/3}} \right) + A_2 \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_2^{2/3}} \right) \right] \right\}^{3/5} \quad (20)$$

が得られる。ただし、 $z \leq H_2$ である。

同様に、Fig. 3に示すように天井高さが n 段である場合の煙層下端高さ z と時間 t の関係式を考えると、式(18)~(20)の作業を繰り返すことにより、

$$t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (21)$$

を得る。ただし、 $z \leq H_n$ である。

また、式(21)を煙層下端高さ z について解くと下式を得る。

$$z = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left(\frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t^{5/3} + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{-3/2} \quad (22)$$

2.5 複合火源における煙層下端高さ

ここでは、火災初期は成長火源で立ち上がり、ある時間 t_c から定常火源に移行するような複合火源 (Fig. 5参照) を想定したときの簡易予測式を提案する。

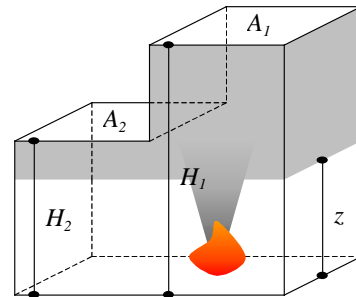


Fig. 4 天井高さが部分的に異なる室 (2分割) Fire Room with Various Ceiling Heights

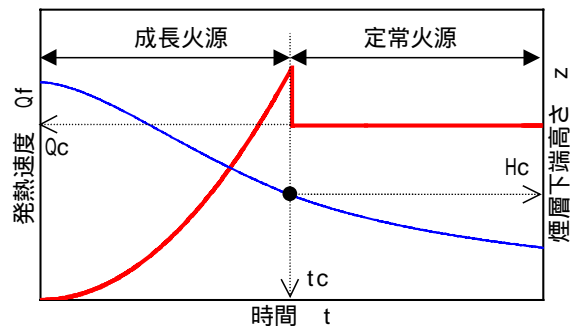


Fig. 5 火源の発熱速度と煙層下端高さの関係 Relationship between Heat Release Rate and Smoke Layer Height

想定する火源の発熱速度は以下の通りである。

$$\dot{Q}_f = \begin{cases} \alpha t^2 & (t \leq t_c) \\ \dot{Q}_c & (t > t_c) \end{cases} \quad (23)$$

2.5.1 天井高さが一定の場合

Fig. 1のように天井高さが一定の室を想定した場合を考える。成長火源から定常火源へ移行する時間 t_c までの煙層下端高さ z と時間 t との関係は、成長火源のものと同じである。したがって、移行時間 t_c における煙層下端高さを H_c とすると、式(16)より

$$H_c = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t_c^{5/3} + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (24)$$

となる。また、それ以降は、定常火源となるため、式(7)~(10)の展開と同じである。

定常火源に移行した時点の時間および煙層下端高さを考慮すると、式(8)において $(t_0, z_0) = (t_c, H_c)$ となる。これより、時間 t における煙層下端高さ z は、

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} (t - t_c) + \frac{1}{H_c^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (25)$$

となる。続いて、式(24)を代入して H_c を消去すると、

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t + \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} - t_c \right) + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (26)$$

を得る。ただし、 $t \geq t_c$ である。

なお、成長火源の発熱速度が時間 t_c において、定常火源の発熱速度 \dot{Q}_c と一致する、すなわち、

$$\dot{Q}_c = \alpha t_c^2 \quad (27)$$

の関係が成立する場合は、式(26)はさらに簡略化され、

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t - \frac{2}{5} t_c \right) + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (28)$$

または

$$z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t - \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\dot{Q}_c}{\alpha}} \right) + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2} \quad (29)$$

と表すことが可能である。

次に、煙層下端高さが z となる時間 t は、式(25)より、

$$t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_c^{2/3}} \right) + t_c \quad (30)$$

続いて、式(24)を代入して H_c を消去すると下式を得る。

$$t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right) - \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} + t_c \quad (31)$$

2.5.2 天井高さが部分的に異なる場合

Fig. 4のように、室の天井高さが部分的に異なる場合の簡易予測式を考える。

まず、成長火源から定常火源に移行する時間 t_c における煙層下端高さを H_c とし、さらにFig. 6に示すように、その直上に位置する天井の高さおよびその水平断面積を仮に H_m および A_m としておく。この時、時間 t_c における煙層下端高さ H_c は、式(22)より

$$H_c = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^m A_i} \left(\frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t_c^{5/3} + \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{-3/2} \quad (32)$$

となる。

次に、煙層下端が H_c から H_{m+1} へ降下するのに要する時間を t_{m+1} とすると、式(10)より

$$t_{m+1} = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^m A_i \left(\frac{1}{H_{m+1}^{2/3}} - \frac{1}{H_c^{2/3}} \right) \quad (33)$$

また、煙層下端高さが H_{m+1} から z へ降下するのに要する時間を t_z とすると、式(11)より

$$t_z = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot \left\{ \sum_{i=m+1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) + \left(\sum_{i=1}^m A_i \right) \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_{m+1}^{2/3}} \right) \right\} \quad (34)$$

以上より、煙層下端高さが z に達するまでに要する時間 t は、

$$t = t_c + t_{m+1} + t_z \quad (35)$$

となる。式(33)および(34)を式(35)に代入し、さらに式(32)により H_c を消去すると下式を得る。

$$t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) - \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} + t_c \quad (36)$$

を得る。ただし、 $z \leq H_n$ である。

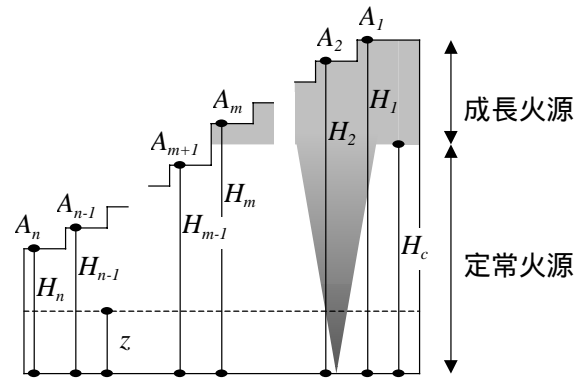


Fig. 6 天井高さが部分的に異なる室 (n分割)
Fire Room with Various Ceiling Heights

【計算条件】

$A_1=823\text{m}^2, A_2=1360\text{m}^2$

$H_1=27.3\text{m}, H_2=9.8\text{m}$

$=1.32\text{kW/s}^2, t_c=180\text{s}$

$Q_c=42,800\text{kW}$

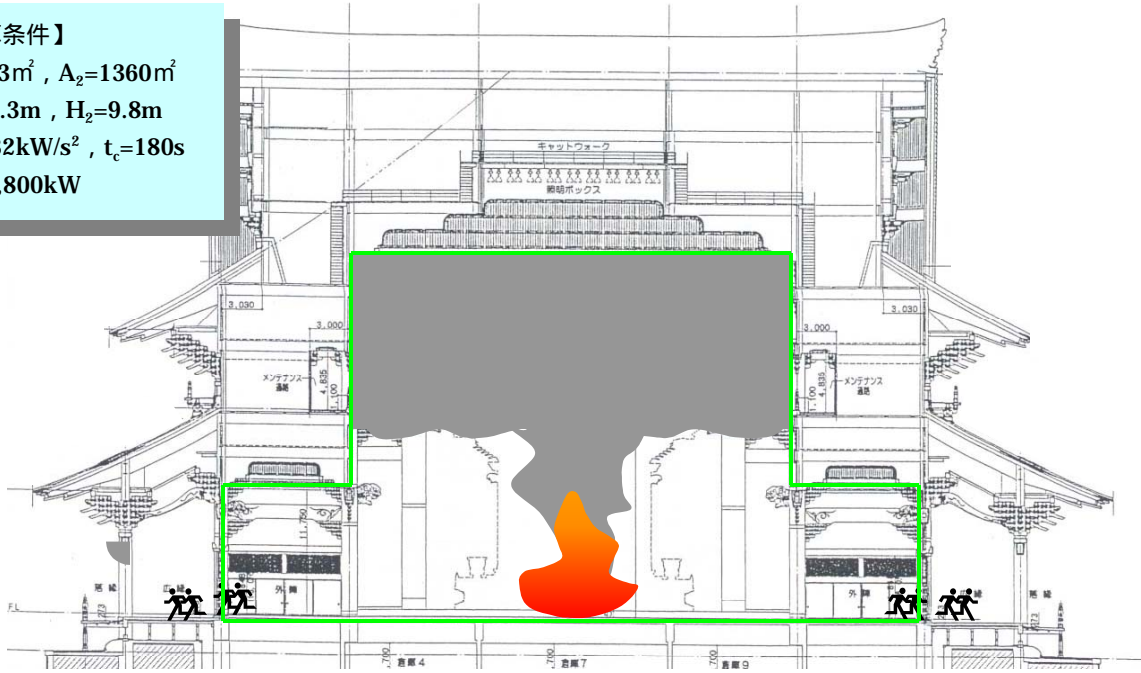


Fig. 7 モデル建物の断面図
The Sectional View of a Model Building

また、式(36)を煙層下端高さ z について解くと下式となる。

$$z = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left\{ \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t + \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} - t_c \right) + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right\} \right]^{-3/2} \quad (37)$$

3. 実案件への適用

ここでは、あるモデル建物を想定し、煙層下端高さの簡易予測式の適用方法および予測結果を紹介する。Fig. 7 はモデル建物の断面を示したもので、気積は約36,000 m^3 である。

< 計算手順 >

- 天井高さの異なる部分ごとに床面積 A_i を算定する。
- 天井高さの異なる部分ごとに天井高さ H_i を算定する。
- 火災成長率 α を設定する (H12年建告第1441号参照)。
- 定常火源に移行する時間 t_c を設定する。
- 定常火源の発熱速度 Q_c を設定する。
- 煙層密度 ρ を設定する。

煙層下端高さの予測結果をFig. 8に示す。なお、上記に示すように、簡易予測式を用いる際には煙層密度 ρ を予め設定する必要がある。ここでは、煙層密度 ρ を1.0または0.7とした場合の予測結果を示している。また、簡

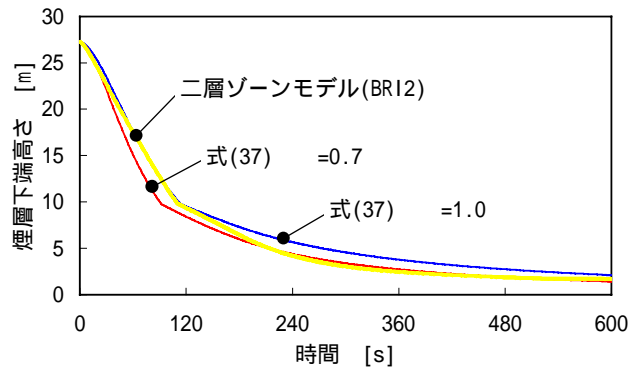


Fig. 8 二層ゾーンモデル(BRI2)と簡易予測式の比較
Comparison of Calculated Results between The Two-layer Zone Model(BRI2) and The Simple Equations

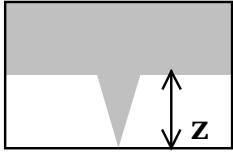
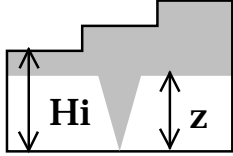
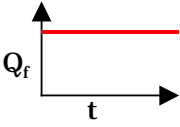
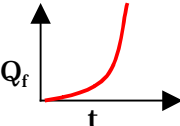
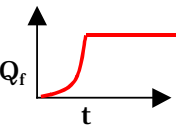
易予測式の予測精度を比較するため、二層ゾーンモデル (BRI2) による計算結果も示している。

これより、簡易予測式は精度良く煙層降下時間を予測できることが確認された。

4. まとめ

ここでは、タイプの異なる複数の火災条件や天井の形状が複雑な室にも適用可能な煙層下端高さの簡易予測式を提案した (Table 1)。そして、簡易予測式の予測能力を検証した結果、煙層密度 ρ を適切に見積もれば、二層ゾーンモデル (BRI2) と同等の予測精度を得られることが確認された。

Table 1 煙層下端高さおよび煙層降下時間の簡易予測式
Simple Equations to Predict the Smoke Layer Height and the Smoke Filling Time

火源タイプ	室形状	
		
(a) 定常火源 	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} t + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right)$	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left(\frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} t + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right)$
(b) 成長火源 	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t^{5/3} + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right) \right\}^{3/5}$	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left(\frac{2k\alpha^{1/3}}{5\rho} t^{5/3} + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \left\{ \frac{5\rho}{2k\alpha^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) \right\}^{3/5}$
(c) 複合火源  ただし, $t \geq t_c$	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left\{ \frac{1}{A_r} \cdot \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t + \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} - t_c \right) + \frac{1}{H_r^{2/3}} \right\}^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot A_r \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_r^{2/3}} \right) - \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} + t_c$	<p>煙層下端高さの簡易予測式</p> $z = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left\{ \frac{2k\dot{Q}_c^{1/3}}{3\rho} \left(t + \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} - t_c \right) + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{H_i^{2/3}} \right\} \right]^{-3/2}$ <p>煙層降下時間の簡易予測式</p> $t = \frac{3\rho}{2k\dot{Q}_c^{1/3}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{1}{z^{2/3}} - \frac{1}{H_i^{2/3}} \right) - \frac{3}{5} \left(\frac{\alpha}{\dot{Q}_c} \right)^{1/3} t_c^{5/3} + t_c$

煙層下端高さの簡易予測式：ある時間 t における煙層下端高さ z を算出する場合に用いる式

煙層降下時間の簡易予測式：煙層下端がある高さ z に降下するまでに要する時間を算出する場合に用いる式

凡例

A_i : 天井高さ毎の水平断面積[m²], A_r : 火災室の床面積[m²], c_p : 定圧比熱[kJ/kg/K], H_c : 移行時間 t_c における火源面からの煙層下端高さ[m], H_i : 火源面からの天井高さ[m], H_r : 火災室における火源面からの天井高さ[m], k : 火災ブルームの巻き込み係数(=0.076), \dot{m}_p : 火災ブルーム流量[kg/s], \dot{Q}_c : 定常火源の発熱速度[kW], \dot{Q}_f : 火源の発熱速度[kW], t : 火災発生からの経過時間[s], t_c : 成長火源から定常火源への以降時間[s], z : 火源面からの煙層下端高さ[m], α : 火災成長率[kW/s²], ρ : 煙層密度[kg/m³]

参考文献

- 1) 煙流動および避難性状予測のための実用計算プログラム解説書(第2版), 日本建築センター, (1992)
- 2) 田中 : 改訂版建築火災安全工学入門, 日本建築センター, pp.232~235, (2002)
- 3) 山口,他 : 火災初期における煙流動性状の簡易予測式, 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), (2002)