

市街地における延焼シミュレーション理論の開発と利用

近畿大学工学部 正会員 ○ 高井 広行
 応用技術株式会社 正会員 松井 武史
 神戸市消防局 正会員 上村 雄二

1. はじめに

現在の複雑な都市構造（道路の拡幅、建物の不燃化、植樹や塀等による防火帯の設置等）を有している街区に従来の木造建物を中心に考えられた延焼理論（延焼速度式）を実際に適用することは適当ではない。そこで、神戸市に残された火災に関するデータを活用して新しい防災都市づくりを目的として「延焼シミュレーション」を開発してきた。しかし、汎用的に利用するには問題を残しており、さらに、地震時の特異なデータを使用しているため理論の再検討という課題も残されている。そこで、本論文では基本となる理論を中心に述べることにする。

2. システムの考え方とその機能

(1) システムの考え方

火災の延焼は接炎、輻射熱、風下域における気流温度上昇、飛び火等の要因の相乗効果によるものであると考えられる。また、これらの要因の比重は風速によって決まる。たとえば、強風下では輻射熱、風下域における気流温度上昇、飛び火の影響が大きくなり、逆に弱風下では、炎が高くなり、接炎による影響が大きくなるものと考えられる。また、延焼速度を決定する要因としては、建物の間隔、建物の構造・建物の高さ・建物の火災荷重、風向・風速・消防力等が考えられる。建物構造は建物の着火のしやすさを表すパラメーター、建物高さは火災の高さを決定する要素であり、輻射熱量を表すパラメータとなる。また、火災荷重は建物の発熱量、風速は気流による熱伝搬及び火の粉や飛び火による延焼のしやすさを表し、消防力は延焼の阻止力を表すパラメーターとなる。

(2) システムの機能

本システムは次の3つの機能を有している。

1) データ作成支援機能

- ① ベース地図データの作成
- ② 建物属性データ作成
- ③ 気象データの登録
- ④ 消防施設データの作成
- ⑤ 建物隣接関係データの作成

2) 延焼シミュレーション機能

作成した地図データ上で、延焼シミュレーション対象地区の設定を行い、この地区に対する、諸条件の設定を行う。設定条件としては気象条件、出火条件（出火点、出火時刻）、延焼パラメータ条件（建物構造別の焼け落ち時間、火炎吹き出し時間、風速補正

係数、燃焼関数の傾き係数、延焼最盛期までの時間比率等）及び消防条件があげられる。これらの条件に基づいて延焼計算を行い、その結果は計算条件とともに結果ファイルとしてデータベースに登録する。

3) 結果表示機能

計算結果に基づき、出火からの時間経過に伴う建物の延焼状態の変化を地図画面上に表示する機能である。個々の建物はその燃焼状況や焼損程度に応じて識別表示される。また、対象地域に消防力が投入されている場合には消火活動に伴う筒先の展開状況をシンボルマークにより表示する。

3. 本シミュレーションの基本的な考え方

本シミュレーションの基本的な考え方は次の4段階の過程を総合して理論化している。

(1) 燃焼過程

燃焼過程は建物の燃焼状態を燃焼力の観点からモデル化を行った。燃焼力(B_p)は建物高さ(h)、単位時間の燃焼力と建物の燃焼荷重(W)で表し、その燃焼荷重は建物の基準火災荷重と延べ床面積(A_f)で表した。

$$B_p = W \times \angle P \times h / h_o \quad (h_o: 3m) \quad (1)$$

$$W = Q \times A_f$$

Q : 建物の火災荷重(基準火災荷重「非木造: $20\text{Kg}/\text{m}^2$ 、木造 $120\text{Kg}/\text{m}^2$ 」)

$\angle P$: 単位時間での燃焼比率の差($P(t) - P(t - \angle t)$)

$P(t)$: 着火から t 分後の燃焼比率(全消失面積に対する燃焼割合)

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-7.8(t-0.4)}} \quad (2)$$

$$tr = \frac{1}{ts} \quad (tr: \text{燃焼時間比}) \quad (3)$$

t : 出火から現在までの時間

ts : 建物の燃焼を鎮圧させるまでの時間

$$ts = T_o \times V^{-0.43} \times \sqrt{A_f / A_o} \quad (4)$$

T_o : 風速 1m/s の場合の燃え落ち時間(基準燃え落ち時間 木造50分、防火造80分、耐火造120分(100m^2))

V : 風速(ただし、風速 1m 未満は $1\text{m}/\text{秒}$)

A_o : 基準床面積(100m^2)

ただし、延焼はフラッシュオーバー後に開始

(2) 伝播過程

ここでは伝播過程の要因を伝播係数(T_p)で表し、伝播係数を二つの建物の隣接状態、建物高さと風向・風速の関数で定義する。隣接関係を表す項目として、二つの建

物の最短距離及び見通し角の大きさ(γ)を用いている。
風向風速影響項は、見通し角と風向の最小角度(θ)と風速の関数で表している。

$$Tp = \frac{\gamma}{\gamma_0} \times \frac{Hp}{Ho} \times \frac{1}{d} \times \frac{1}{(1 - b \times \cos \theta)} \quad (5)$$

γ_0 : 基準条件の見通し角(2.94ラジアン)

Hp : 隣接建物高さ

Ho : 基準建物高さ(1階 3m)

d : 建物間の最短距離

b : 風係数 $b = 1 - V^{-0.43}$ (6)

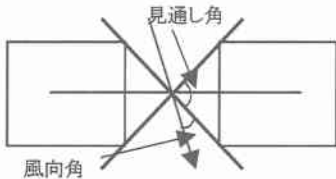


図1 見通し角と風向角

(3) 着火過程

着火は隣接建物からの延焼影響量(S_f)が一定の大きさを越える時に着火するとした。すなわち隣接建物 1棟から単位時間に受ける延焼影響量であり、その計算式は、以下に示す通りです。

$$S_f = B_p \times T_p \quad (7)$$

着火判定は、上式で求められた値が下記のいずれかの値を越えたときに着火すると判定する。

- ① 累積延焼影響量(全隣接建物から受けた総影響量)
- ② 単位時間延焼影響量(単位時間に全隣接建物から受けた総延焼影響量)
- ③ 単位時間最大延焼影響量(単位時間に各建物から受けた最大の延焼影響量)

(4) 消防力(S)

本モデルにおいて消防力は建物の燃焼重量を減少させ、伝播力を弱めるものとして表現する。

a. 燃焼重量の減少

燃焼重量の減少は、放水量1トンあたりで焼け残る火災重量(R)を設定し(ここでは60kg/tとした)、建物に対して投入されている放水量から焼け残り重量を計算する。

参考文献

- 1) 堀内三郎: 建築防火、p.175~p.209 朝倉書店
- 2) 高井広行、矢野公一、松井武史、坊池道昭、上村雄二: 神戸市における地震火災の出火と延焼動態に関する研究、日本建築学会論文集、No.508、1998.6
- 3) 神戸市消防局編集、阪神・淡路大震災における火災状況(神戸市域)、東京法令出版株式会社、1996.8
- 4) 矢野公一、松井武史、高井広行、上村雄二、坊池道昭: 大規模震災火災の延焼シミュレーションに関する研究、土木学会土木計画学研究発表会、1996.11

$$P(t) = \frac{1 - S}{1 + e^{-a(p-c)}} \quad (8)$$

$$S = (R \times N \times W_w) / W \quad (9)$$

N : 筒先の本数

W_w : 筒先からの単位時間あたりの放水量(t)

b. 伝播力に対する影響

$$\varepsilon = \frac{N1}{N2} \quad (10)$$

ε : 充足率 $N1$: 筒先投入本数

$N2$: 必要筒先投入本数

$$N2 = \frac{4.5 \times \sqrt{A1}}{10.0}$$

$A1$: 建物1F面積

τ : 消防による伝播抑制係数

$$\tau = 1.0 - 0.5 \sqrt{\varepsilon} \quad (11)$$

この τ を伝播係数にかけ、延焼影響力を算出する。

(5) 転戦判定・転戦先の決定方法

転戦は、消火活動中に周りの建物に着火し、燃焼建物に囲まれた場合に発生します。計算式は、「燃焼中の隣接建物の1階床面積合計」が「全隣接建物の1階床面積合計」の値が0.6を超えた時点で転戦する。転戦した筒先の再配置先は、延焼力の強さ、延焼建物の大きさ、隣接間隔、隣接建物で未着火の木造建物の総面積、転戦するまで居た位置からの距離、風向[4m以上吹いている場合、充足率から決定する。

4. 本シミュレーションの今後の課題

本システムは現在も汎用を目的とし、改良中である。今後は神戸市消防局をはじめ他の局においても運用され、システムの操作性や有用性、延焼モデルの妥当性等について評価、検討を行う予定である。これらの結果をもとにシステムのより一層の充実を目指していきたいと考えている。

最後に本システムの開発にあたり多大な協力をいただいた応用技術株式会社の矢野公一氏、伊藤秀昭氏、服部佳明氏、神戸市消防局木下茂信氏をはじめ株式会社ドーンの滝野秀一氏に感謝の意を表します。

- 5) 神戸市消防局編集、神戸市における地震火災の研究、東京法令出版株式会社、1996.11
- 6) 服部佳明、矢野公一、高井広行、坊池道昭: 神戸市における地震火災の研究(延焼シミュレーションの構築)、日本建築学会大会、1997.9
- 7) 服部佳明: 火災時の延焼シミュレーションシステムの構築、応用技術株式会社、OGIテクニカルレポート、Vol.8、1997.12
- 8) 服部佳明、高井広行、上村雄二: 延焼シミュレーション開発と利用についてー消防部隊訓練システムを例としてー、日本建築学会大会、1998.9