

大規模震災火災の延焼シミュレーションに関する研究

Study on simulation model of large fires spread caused by Kobe Earthquake

矢野 公一* 松井 武史** 高井 広行*** 坊池 道昭**** 上村 雄二*****
By Koichi YANO, Takeshi MATSUI, Hiroyuki TAKAI, Michiaki BOUIKE, Yuji UEMURA

1. はじめに

これまで、市街地の大規模火災の発生と延焼に関する研究は多くなされてきているが、実際の市街地大火の事例が少ないことが大きな障害となっていた。しかし、先の兵庫県南部地震では、焼損延べ面積が10,000㎡を越える大規模な火災が11件も発生し、大きな教訓とともに、貴重なデータが得られた。

ここでは、兵庫県南部地震による大規模火災のデータを基にして、建物1棟毎の着火→燃焼→伝播という詳細な延焼過程に主眼をおいた、ミクロな延焼シミュレーションモデルを構築し、実際の火災の延焼動態との比較検討を行った。

2. 延焼モデル

延焼モデルは、個々の地域の詳細な建物状況、特性や、建物の倒壊等による影響が陽に反映されるように、建物一棟ごとに延焼を拡大させるモデルとした。例えば、建物の倒壊は、建物高さの低下、隣接距離の減少、着火条件の変化等としてモデルに反映される。

このモデルでは火災の延焼過程を、建物の燃焼過程、隣接建物等との関係で定まる伝播過程、および着火過程に分けて捉えた。

延焼モデル：

(燃焼状態) × (隣接状態) × (着火のしやすさ)

延焼シミュレーションモデルの概略フロー図を図1に示す。

出火および飛火は、出火イベントとして条件として与える。

(1) 建物の燃焼過程

燃焼過程では、建物の燃焼状態を延焼力の観点からモデル化を行った。

延焼力は、火炎高さ、建物規模で定義した。

火炎高さは、建物高さと同時間面積当りの燃焼重量で表現し、建物の燃焼重量は建物の火災荷重と延べ床面積の積とした。

$$FH = W \times \Delta P$$

FH：火炎高さ

W：建物の燃焼重量

$$W = Q \times A f$$

Q：建物の火災荷重

(基準火災荷重 120kg/㎡)

A f：建物延べ床面積

(基準延べ床面積 100㎡)

ΔP ：単位時間での燃焼比率の差

($P(t) - P(t-1)$)

P(t)：着火からt時間後の燃焼比率

また、建物の着火からの燃焼状態は、燃焼比率を着火からの時間のロジスティック型関数で近似し、燃え落ちるまでの時間は風速の関数とした。

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

c：50%燃える(燃焼最盛期)までの時間比率(0.4)

a：傾きのパラメータ(7.8)

$$t_p = \frac{t}{T}$$

t：着火からの時間

T：建物が燃え落ちるまでの時間

キーワード 防災計画

* 正会員 応用技術株式会社解析事業部

(〒530 大阪市北区紅梅町6-18)

TEL:06-354-5430 FAX:06-354-5433

** 非会員 応用技術株式会社解析事業部

*** 正会員 近畿大学工学部

(〒739-21 東広島市高屋うめの辺1番)

TEL:0824-34-7000 FAX:0824-34-7011

**** 非会員 神戸市消防局予防部予防課

(〒650 神戸市中央区加納町6丁目6番1号)

TEL:078-325-8511 FAX:078-325-8529

***** 正会員 神戸市消防局予防部予防課

$$T = T_0 \times \left(\frac{V}{V_0} \right)^\alpha$$

T_0 : $V = 2\text{m/s}$ の場合の燃え落ち時間
 木造:50分、防火:80分、耐火:120分
 V : 風速 但し 2m/s 以下の場合は 2m/s
 V_0 : 基準風速 (2m/s)
 α : -0.43

建物規模は、建物一階床面積に比例するとし、建物が出火あるいは着火してから窓から炎が噴出し始めるまでの時間を5分間として、それまでの時間は延焼力はないものとした。

以上より、延焼力は以下の式で表される。

$$\begin{aligned}
 \text{延焼力} &= F H \times A_1 \\
 A_1 &: \text{建物規模 建物1F面積} \\
 &\quad (\text{基準面積}100\text{m}^2)
 \end{aligned}$$

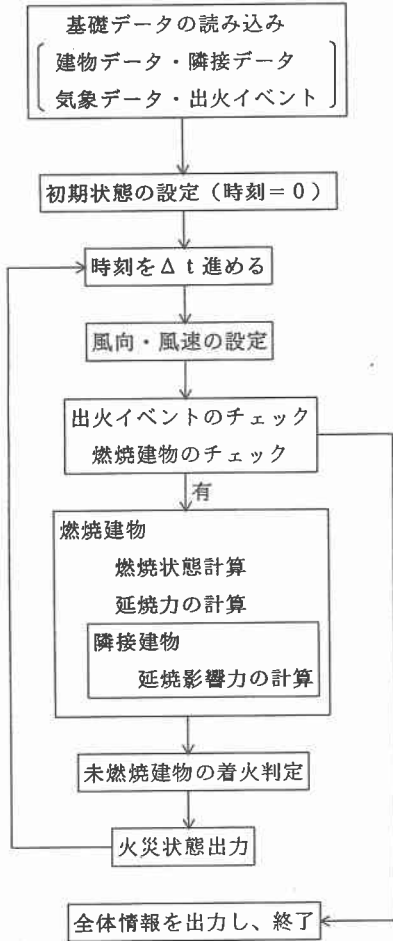


図1 延焼シミュレーションフロー図

なお、以上の式において算定の基準条件として、火災荷重 $150\text{kg}/\text{m}^2$ の 100m^2 の木造一階建ての建物が、風速 2m/s で燃える状態を想定し、パラメータは無次元量で表した。

(2) 伝播過程

伝播過程の要因を伝播係数で表し、伝播係数を二つの建物の隣接状態、建物高さや風向、風速の関数で定義した。

隣接建物間の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をとった。

風向、風速影響項は、見通し角と風向の最小角度と風速の関数で表した。

図2に建物1から建物2を見たときの見通し角及び風向角を示す。なお、風向が見通し角の中に入る場合、風向角は0とする。

伝播係数を算定する際の基準条件としては、 10m 角 (100m^2)の一階建物が 1m の間隔で面している状態とし、風速を 2m/s とした。

$$\text{伝播係数} = r_p \times \frac{H_p}{D^2} \times \frac{1}{(1 - b \times \cos \theta)}$$

$$r_p = \frac{r}{r_0} : \text{見通し角}$$

r_0 : 基準条件の見通し角 (2.94 ラジアン)
 r : 見通し角の大きさ (ラジアン)

D : 建物間の最短距離

$$H_p = \frac{H}{H_0} : \text{隣接建物高さ}$$

H_0 : 基準建物高さ (1 階 3m)
 H : 隣接建物高さ

$1 - b \times \cos \theta$: 風向・風速影響項
 θ : 見通し角と風向の最小角度

$$b = 1 - \left(\frac{V}{V_0} \right)^\alpha$$

$b = 1 - V^\alpha$
 α : -0.43

V : 風速 (2m/s 以下の時 2m/s)

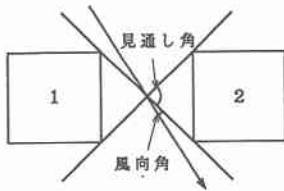


図2 見通し角と風向角

(3) 着火過程

着火過程は、未燃焼隣接建物の着火判定で捉えた。

建物の着火状態を判定する変数としては、その建物に対する累積延焼影響量、単位時間延焼影響量、単位時間最大延焼影響量の3種のパラメータを求め、これらのうちのいずれか1つでも基準値を超えたときに、出火するものとした。

また、建物の着火のし易さの要因は、建物構造（木造、防火、耐火）とした。

3. シミュレーション事例

(1) 対象地域

今回の震災火災のなかでも大規模な火災のひとつである長田区海運町周辺地区（焼損面積 8.9万㎡、焼損棟数約1000棟）をシミュレーション事例の対象地域とした。

建物の位置、配置は1/500の地図よりデジタイザにより読取り作成し、建物構造・延べ床面積・建物階数等の属性は、神戸市消防局によるものを用いた。なお、当該地区の棟数は約1000棟であるが、モデル化の段階でマンション等の集合住宅は1棟として処理するため、予測対象となる家屋数は約700棟となっている。また、建物の倒壊については考慮していない。

気象データについては、神戸海洋気象台のデータを須磨測定局との相関により補正したものを用いた。

対象地域では、17日5時50分頃に火災現場の南東部から出火し、同日17時00分頃にかけて西方向へ延焼拡大し、18日0時00分に鎮圧状態となった。当地区では出火直後1時間の延焼速度は100m/hと大きかったが、その後、10時までは30～50m/h、風の弱まった10時～13時の間には5～10m/h、13時～15時までの間は再び30～50m/hとなり、その後は消火活動の影響もあり、5～10m/hの延焼速度となっていた。

(2) 結果

焼損家屋数と時刻の関係は図1に示すとおりである。焼損家屋数のみについてみると、シミュレーションでは焼損家屋数が時間にほぼ比例して増加し、14時頃に延焼が終了するのに対して、実際の火災においては、11時～13時の弱風時にはほぼ横這いとなり、その後再び焼損域が増加し、17時過ぎに延焼が終了する。

図2～3に10時及び13時における実際の延焼動態図と延焼シミュレーション結果を示す。

延焼動態についてみると、震災発生と同時に地区南東部から出火し、北方向に急激に燃え広がり、7時には153棟が焼損している。その後、火災は西方向に拡大し、10時には481棟が焼損している。11時～13時までの間は、若干火勢が弱まるが、13時以降再び延焼が拡大し、最終的には684棟の建物が焼損した。

シミュレーション結果についてみると、火災発生後周辺部に徐々に拡大し、7時には79棟が焼損している。その後、東よりの風の中、火災は西方向へと拡大し、10時には374棟が焼損している。14時にはほぼ全域に火災が及んでいる。最終的には20時40分に683棟の建物が焼け落ちて、鎮火している。

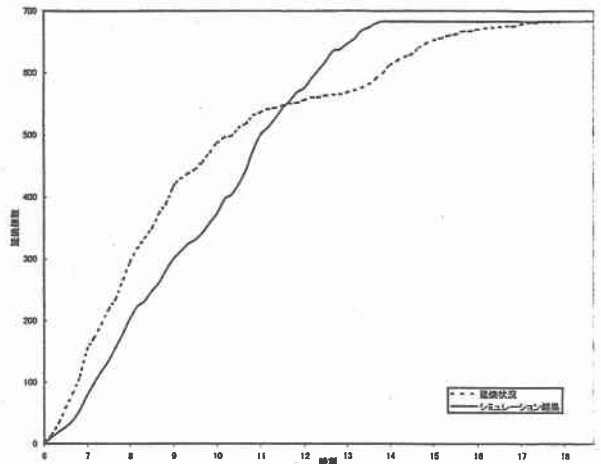


図1 延焼棟数の比較

4. まとめ

(1) シミュレーション結果

今回のシミュレーションの結果より、出火直後の北方向への急速な延焼過程及び弱風時の緩やかな延焼過程は再現されていないが、西方向への延焼パターン・

焼け止まり位置等は概ね再現されているといえる。

しかしながら、個々の過程のモデル化やパラメータ等でまだ検討が十分でないものが残されており、特に、風速に対するの感度が実際の火災よりもかなり鈍くなっている点については、今後検討を重ねる必要があると考えられる。

(2) 今後の課題

(1)でも述べたように本シミュレーションモデルは開発途上であり、パラメータ等は更に検討を加えなければならない。今後は他地区の事例研究等を行い、検討を重ねていきたいと考えている。

また、本研究では対象としなかった消防力の効果についても考え、将来的には、本シミュレーションモデルを消防隊の部隊訓練システムに利用したいと考えている。

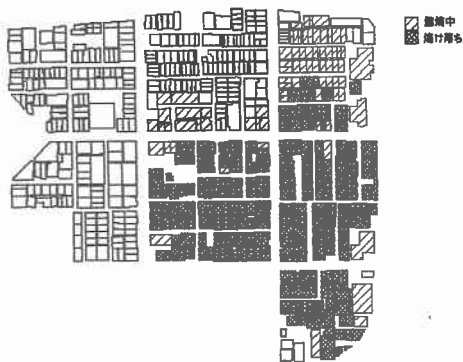


図 2 (1) 延焼シミュレーション結果 (10 時)

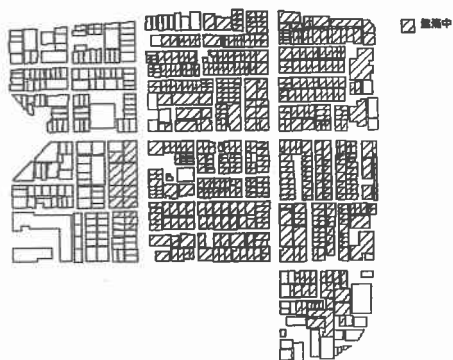


図 2 (2) 延焼動態図 (10 時)

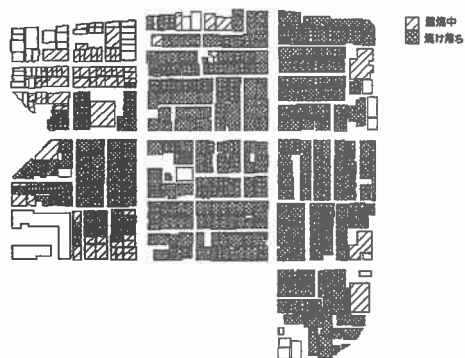


図 3 (1) 延焼シミュレーション結果 (13 時)

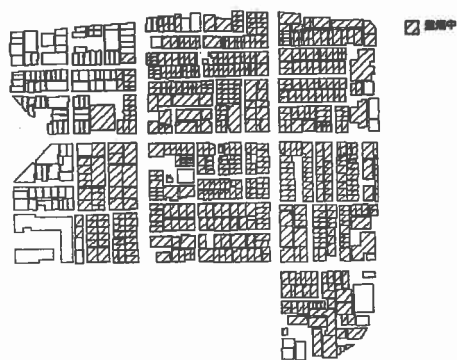


図 3 (2) 延焼動態図 (13 時)

参考文献

- 1) 坊池、上村、矢野、松井、高井：神戸市における震災火災の出火と延焼状態に関する一考察 土木学会震災シンポジウム、平成8年1月
- 2) 矢野、松井、高井：震災による大規模火災の延焼シミュレーション、神戸市消防局、平成8年3月