

(89) 延焼の動的解析に基づく地震火災危険度 評価法の提案について

辻原 治¹・岡本 輝正²

¹正会員 和歌山高専教授 環境都市工学科 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)
E-mail: tsujihara@wakayama-nct.ac.jp

²正会員 岡山県庁 農林水産事業部 (〒708-8506 岡山県津山市山下53)
E-mail: h12b07k@yahoo.co.jp

大規模地震が発生するときには、同時多発的な火災を伴う場合が多い。地震による建物の倒壊、津波による浸水などと共に、火災によるリスクについて自治体や住民などが正しく理解し、火災発生時の住民による初期消火や避難行動、消防による対応、また防災まちづくりなどに役立たせることが重要である。

地震火災リスクの評価に延焼解析を用いることが考えられるが、解析の条件によって、延焼性状が大きく変化するため、解析結果の一般化には注意が必要である。

本研究では、対象とした地域において、すべての建物をそれぞれ火元として延焼解析を行い、延焼到達までの時間を考慮した新たな地震火災リスク評価の指標を提案する。

Key Words : spreading fire, simulation, risk communication, risk assessment, Petri-net

1. はじめに

わが国は世界でも有数の地震国であり、今後も南海トラフ地震、首都直下型地震といった大きな地震の発生が予想されている。大規模地震が発生するときには、火気器具・電熱器具からの出火や、電気機器・配線からの出火などによって火災を伴う場合が多い。そのような地震火災は多くの場合、同時多発的に特殊な状況下で発生するため、通常起こる火災時のように効率的な消火作業が行われることは期待できない。したがって、地域の耐火安全性を検討しておくことは重要である。また、検討結果を地域住民に公表することは地震火災に対する危機意識の啓発にも役立つことが考えられる。

内閣府中央防災会議は、南海トラフの巨大地震の被害想定の中で、地域ごとの焼失棟数を予想している¹⁾。被害想定には、延焼クラスターに基づく加藤らの方法²⁾を用いている。延焼クラスターとは、風速・風向および建物構造から延焼限界距離を求め、この距離内に連担する建物群を一体的に延焼する可能性がある塊とみなしたものである。この延焼クラスターと1棟あたりの火災発生確率などから、対象地域における焼失棟数の期待値を算定している。

しかし、建物の密度や配置によって延焼に要する時間は異なるため、最終的な焼失棟数のみで地域の

地震火災に対するリスクを評価することは必ずしも十分ではなく、延焼動態を考慮した評価も必要と考えられる。

延焼動態を考慮するためには、延焼解析が必要となる。延焼解析についてはさまざまな研究がなされている。地震時火災による延焼解析の研究は、延焼モデル構築の研究と、その市街地への適用法に関する研究に分けられる。

延焼モデルの構築については、棟内および棟間の延焼速度式を、物理的な根拠や市街地火災の被害調査に基づいて展開する研究などが行われている。延焼速度式として従来、浜田式³⁾がよく用いられてきた。この式はもともと純木造家屋への適応を基本としたものであるが、その後、防火木造や耐火造の延焼速度式も提案されている。また、1995年の阪神・淡路大震災の後、東京消防庁より新たな延焼速度式(東消式 97)⁴⁾が提案された。この式は、阪神・淡路大震災で同時多発した市街地火災の調査・検討より、建物の全半壊等による影響を考慮した延焼速度式である。さらに、地震被害を受けた準耐火・耐火造建物の延焼性状に関する検討が加えられ、新たな延焼速度式(東消式 2001)⁵⁾が構築されている。

一方、延焼モデルの市街地への適用については、従来より市街地のマクロ的な情報(建ぺい率、建物

構造比率等)から、メッシュ単位で延焼拡大をシミュレートすることはなされてきた。近年のGISの発展や延焼速度式の提案等によって、1棟ごとの延焼拡大の状況のミクロ的なシミュレーションも行われるようになった。矢野ら⁹⁾は、火災の延焼過程を、建物の延焼過程、隣接建物等の関係で定まる伝播過程、および着火過程に分けて捉え、独自の式を用いて神戸市の地震火災の動態をシミュレートした。東京消防庁でも、同庁が提案した延焼速度式を用いた1995年兵庫県南部地震における神戸市の延焼シミュレーションを行い、実際の延焼動態が推定できることを示している⁴⁾。関沢らは、解析モデルのデータ作成に電子住宅地図を用いて予め延焼経路データを作成し、地震発生後に得られる風向、風速、出火情報などの条件を入力して延焼シミュレーションを行うシステムを構築している⁷⁾。林らは、個別建物の火災成長過程、建物外部に対する熱源や熱量、出火と表面温度上昇などをモデル化した延焼シミュレーションの方法を提案している⁸⁾。また、辻原らは電子住宅地図を用いた簡便なデータ作成サブシステムを組み込んだ延焼シミュレーションシステムを提案し、延焼解析に最短経路探索を導入することで、延焼経路も含めて延焼動態をシステムの中で計算することを実現している^{9,10)}。さらに、辻原らは離散事象のモデル化の方法の一つであるペトリネット¹¹⁾で市街地をモデル化し、地震時火災の延焼を簡便にかつ、同時多発火災にも対応できるシステムを構築した¹²⁾。ペトリネットによる延焼解析法は、予め延焼経路を設定する必要がなく、同時多発火災にも対応でき、かつ一般には煩雑な解析モデルが市販の住宅地図を用いて簡便に行うことができる¹³⁾などの利点がある。

このように、延焼解析の方法については、これまでいくつか提案されており、1棟単位で延焼動態を計算できるようになってきた。しかし、このような延焼のシミュレーションは、解析の条件によって延焼性状が変化するため、解析結果の火災リスクへの一般化には注意が必要である。とくに、解析の際に設定した出火元の影響は大きい。

本研究では、延焼解析に基づき、延焼動態が考慮でき出火元の影響を直接受けない地震火災リスクの評価法を提案する。

2. 地震火災リスクの評価法

図-1 に示すように、建物配置の密度が異なる建物群において、それぞれ火災が発生した場合に、図-2 に示すように延焼棟数の時系列は異なる。建物の密度が高ければ、それだけ延焼が速い。どちらの

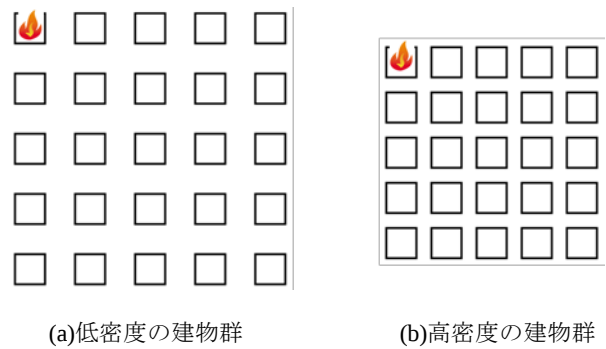


図-1 建物配置の密度が異なる建物群

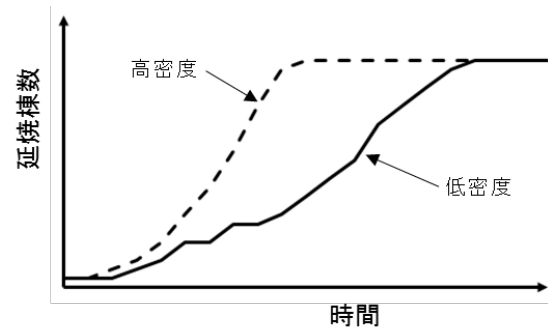


図-2 火災発生からの時間と延焼棟数の関係

建物群も最終的にすべての建物が延焼するとして、延焼棟数だけから建物群の地震火災に対するリスクを評価すれば、両建物群は同一のリスクになる。しかし、最終的な延焼棟数が同じであっても、初期消火や消防の活動を考慮すると、延焼の速さの違いはリスクを評価する上で無視できないと考えられる。

上述の問題を解決するためには、延焼の動態が評価できる延焼解析が必要となる。しかし、その場合、対象とする建物群において、出火元として設定する建物によって延焼動態が大きく異なるため、延焼解析結果を一般化し、どのようにリスク評価に結びつけるかが重要である。

いま、ある地区において、風速、風向や震度などの条件を与えて1棟単位の延焼解析を行い、建物*j*の出火によって別の建物*i*が延焼したものとする。このとき、建物*i*に延焼が到達するまでに他のいくつかの建物を経由して延焼したとしても、建物*j*の出火が原因で建物*i*が延焼する確率は、建物*j*の出火確率と同一とみなすことができる。同地区に*n*棟の建物がある場合、建物*j*以外の建物が出火元になった場合も同様に考えられるので、建物*i*が延焼する確率は次式で表される。

$$P(i) = \sum_{j=1}^n P_{origin}(j) \cdot \alpha(i, j) \quad (1)$$

ここに、

$P(i)$: 建物*i*が延焼する確率 [%]

n : 建物の総数

$P_{origin}(j)$: 建物 j の出火率[%]

$\alpha(j,i)$: 建物 j を火元として、延焼解析の結果、
建物 i に延焼した場合は 1.0、しない場合は 0.0 とする係数

式(1)は建物 i が最終的に延焼する確率を表す式である。対象地区のすべての建物を出火元として延焼解析を行い、出火した建物の出火率から、それぞれの建物の延焼の確率を計算しているため、出火元の設定による偏りを取り除くことはできる。しかし、それだけでは延焼の動態が考慮されていないことがわかる。

以下では、出火元の設定に影響を受けず、かつ延焼の動態が考慮できるリスク評価の方法について述べる。

(1) 評価式

本研究では、地震火災リスクの評価式として、次式を提案する。

$$P_{risk}(i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s W(k) \cdot P_{origin}(j) \cdot \beta(j,i,k) \quad (2)$$

$$P_{risk-area} = \sum_{i=1}^n P_{risk}(i) / 100 \quad (3)$$

ここに、

$P_{risk}(i)$: 建物 i の地震火災の危険度 [%]

n : 建物の総数

$W(k)$: 延焼に要する時間枠 k に対する重み係数

s : 延焼に要する時間枠の総数

$P_{origin}(j)$: 建物 j の出火率[%]

$\beta(j,i,k)$: 建物 j を火元として、建物 i への延焼に要する時間が時間枠 k に含まれる場合は 1.0、含まれない場合は 0.0 とする係数

$P_{risk-area}$: 延焼動態を考慮した対象地域の地震危険度指数

時間枠は、火災発生から対象とする建物への延焼到達までの時間帯を表し、例えば、0～1 時間、1～2 時間、…、 $s-2 \sim s-1$ 時間、 $s-1$ 時間以上といったものである。 $W(k)$ 、 $k=1,2,\dots,s$ の値を順に小さくすることで、延焼に要する時間を考慮したリスクの評価値が得られる。 $W(k)$ の値の合計は 1.0 となるように設定する。対象地域における最終的な焼失棟数の期待値は、 $s=1$ 、 $W(1)=1.0$ とし

て、時間枠を設定しない場合の $P_{risk-area}$ の値に相当する。また、それぞれの建物の焼失の可能性は、 $s=1$ 、 $W(1)=1.0$ としたときの $P_{risk}(i)$ に相当する。

(2) 出火率

内閣府中央防災会議が、南海トラフの巨大地震の被害想定において用いている出火率¹⁾を本研究でも用いることとした。出火要因の多くを占める火気器具、電気関係からの出火について、震度、地震発生の時期・時間帯、倒壊の有無、建物の用途による火気器具・電熱器具からの出火率、また電気機器・配線からの出火件数等が示されている。さらに、初期消火成功率、消防力による消火可能件数に関する資料も示されている。

(3) 延焼解析法

対象とする地域において、すべての建物をそれぞれ出火元として延焼解析を行い、その都度各建物への延焼到達時間を求める必要がある。本研究では、延焼シミュレーションに著者らが提案した、利便性を考慮した方法¹³⁾を用いることとした。延焼速度式は東京消防庁の提案式(東消式 2001)⁵⁾を用いている。建物 1 棟ごとのマイクロ延焼解析において、解析モデルの構築が必要であるが、同手法によれば、電子住宅地図を用いて簡便に構築できる。また、延焼解析のアルゴリズムにペトリネットを用いることで、計算速度にも配慮されている。

3. 数値計算例

地震火災リスクの評価対象とした地区を図-3に示す。建物総数は475棟で、冬の18時に震度7の地震が発生し、東からの風8m/sの条件で計算した。建物はすべて木造と仮定している。ここでは、延焼限界距



図-3 地震火災リスク評価の対象地区



図-4 対象地区における建物の危険度



図-5 対象地区における建物の焼失可能性

離を8mとし、また消防力による消火活動はないものとしている。式(2)における時間枠 $W(k)$ は7として0～1時間、…、6時間以上とし、重み係数は順に1.0:0.8:0.6:0.4:0.2:0.1:0.05の割合とした。なお、対象とした地区以外からの延焼は考慮していない。

図-4には、対象地区における建物の危険度を色別に表示している。対象地区の危険度指数は8.6であった。図-5には対象地区における建物の焼失の可能性(%)を示す。全体の延焼予測棟数は58.3棟となった。危険度と焼失の可能性の最大値はそれぞれ4.1%と21.9%であった。図-4と図-5より、どちらも建物の集中度の高い西側で値が高くなっている。一方、両図を比較すると、延焼動態を考慮した図-4の危険度の方が、周辺の建物群において、リスクがより詳細に現れていることが見て取れる。

4. まとめ

本研究では、延焼動態を考慮した地震火災アセスメントの方法を提案した。

延焼動態を考慮することで、より詳細に危険度が評価できる可能性を示すことができた。

一方、建物ごとの危険度や地区全体の危険度指数について、それらの数値が持つ意味が解りにくいという課題が残り、今後検討する必要がある。

謝辞：本研究の一部は、公益社団法人JR西日本あんしん社会財団平成29年度研究助成（課題番号：17R009）によった。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要,中央防災会議第二次報告報道発表資料,2012.
- 2) 加藤孝明,程洪,垂力坤玉素甫,山口亮,名取晶子:建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築,地域安全学会論文集,No.8, pp.1-10, 2006.
- 3) 日本火災学会：火災便覧，共立出版，第3版，1997.
- 4) 火災予防審議会：直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策，1997.
- 5) 火災予防審議会：地震火災に関する地域の防災性能計画手法の開発と活用方策，2001.
- 6) 矢野公一，松井武史，高井広行，坊池道昭，上村雄二：大規模地震火災の延焼シミュレーションに関する研究，土木計画学研究・講演集，No.19(2)，pp.39-42, 1996.
- 7) 関沢愛，高梨健一，遠藤真，座間信作，山瀬敏郎，篠原秀明，佐々木克憲：リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム，地域安全学会梗概集，No.11，2001.
- 8) 林吉彦，平澤一浩，岩見達也，大宮喜文：市街地火災の延焼シミュレーション（その1）モデルの概要について，日本建築学会大会学術講演概要集，pp.329-330，2004.
- 9) 辻原治，伏見悠生，久堀貴史，澤田勉：電子住宅地図を用いた簡便な地震時火災延焼シミュレーションシステムの構築，土木情報利用技術論文集，Vol.12，pp.237-244，2003.
- 10) 久堀貴史，伏見悠生，辻原治：電子住宅地図を用いたネットワーク理論に基づく地震火災延焼シミュレーションシステムの開発，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，I-55，2003.
- 11) 例えば，森下信：セルオートマトン，養賢堂，2003.
- 12) 辻原治，寺田和啓，澤田勉：ペトリネットを導入した地震時同時多発火災に対する延焼シミュレーションシステムの構築，土木情報利用技術論文集，Vol.14，pp.129-136，2005.
- 13) 辻原治，寺田和啓，澤田勉：地震時市街地火災延焼シミュレーションのための解析モデル自動生成システムの開発，土木情報利用技術論文集，Vol.15，pp.17-27，2006.