

(62) 電子住宅地図を用いた大規模な地震時火災延焼解析に用いるブロック分割化法の提案

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、大規模な領域を一括して解析するのは、コンピュータのメモリや計算時間の関係で限界がある。

本研究では、電子住宅地図を利用して延焼解析を行う方法において、解析対象領域をブロックに分割し、それぞれのブロックの延焼解析結果を統合する方法を提案し、地震火災のリスク評価に応用した結果を示す。

Key Words : spreading fire, simulation, block division, Petri-net

1. はじめに

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。

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。辻原ら³⁾は、対象領域におけるすべての建物を火元とした延焼解析を行い、延焼到達時間に基づいて地震火災危険度の評価法を提案している。

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⁴⁾が用いられてきた。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）⁵⁾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）⁶⁾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^{5,7,8,9)}。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^{10,11)}。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^{12,13)}。

このような市街地における1棟ごとの延焼解析において、大規模な領域を一括して解析するのは、コンピュータのメモリや計算時間の関係で限界がある。そこで、対象領域をいくつのブロックに分割して計算することになる。このとき問題になるのが、隣接するブロックからの延焼であり、例えば地震火災のリスク評価に適用する場合、これを無視するとリスクを過小評価してしまう。

本研究では、電子住宅地図を利用して地震火災延焼解析を行う方法¹²⁾において、解析対象領域をブロックに分割し、それぞれのブロックの延焼解析結果を統合する方法を提案し、地震火災のリスク評価に応用した結果を示す。

2. ブロック間の影響を考慮した 延焼解析法

図-1 に示す 2 つの計算ブロックからなる建物群において、それぞれのブロック内については延焼解析が行われており、すべての建物を火元としたときの他のすべての建物への延焼到達時間が求められていることとする。いま、ブロック b の建物 j からブロック a の建物 i への延焼を考えたとき、図-2 に示すように $j \sim r \rightarrow s \sim i$ 、 $j \sim u \rightarrow z \sim i$ と $j \sim v \rightarrow z \sim i$ の 3 ルートが考えられる。図において例えば $T(b, b, j, r)$ は、ブロック b の建物 j から同ブロック b の建物 r への延焼到達時間を表している。 $T(b, b, j, r)$ 、 $T(b, b, j, u)$ 、 $T(b, b, j, v)$ 、 $T(a, a, s, i)$ および $T(a, a, z, i)$ はブロック内の延焼到達時間であり、予め求められているため、ブロック間 $T(b, a, r, s)$ および $T(b, a, u, z)$ を別途与えることができる。この場合は、3 つの延焼ルートのうち、延焼到達時間が最短のものの採用することになる。

このような考え方で求められるブロック b の建物 j からブロック a の建物 i への延焼到達時間

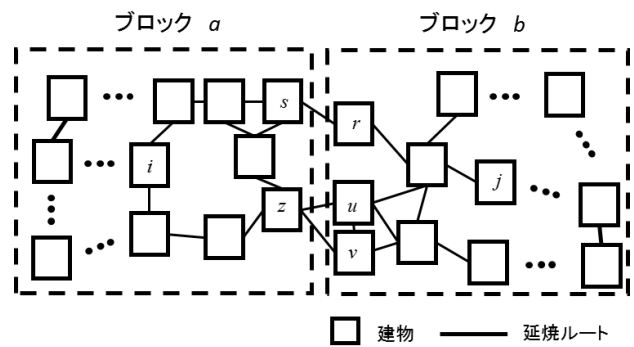


図-1 計算ブロック内の建物配置と延焼ルートの延焼時間

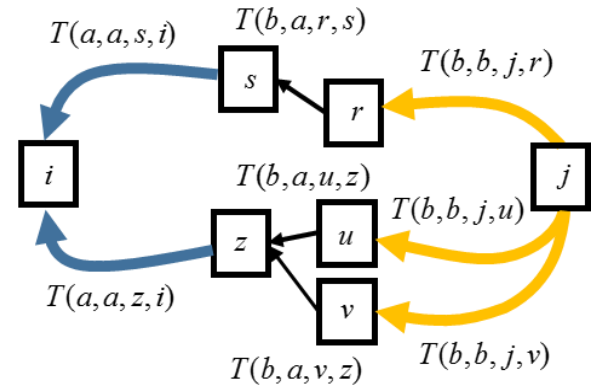


図-2 ブロック b から a への延焼

$T(b, a, j, i)$ は次式で表される。

$$T(b, a, j, i) = \min(T(b, b, j, r) + T(a, a, s, i) + T(b, a, r, s), T(b, b, j, u) + T(a, a, z, i) + T(b, a, u, z), T(b, b, j, v) + T(a, a, z, i) + T(b, a, v, z)) \quad (1)$$

ここに、 $\min(\cdot, \cdot, \cdot, \dots)$ は括弧内の数値の最小値を表す。

3. 地震火災リスクの評価式

本研究では、延焼所要時間の時間枠ごとに重みを付け、次式を地震火災リスクの評価式として用いることとする³⁾。

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

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

時間枠とは、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。

4. 電子住宅地図を利用した延焼解析と地震火災リスク評価への応用

延焼解析は、ペトリネットによる方法¹²⁾によった。電子住宅地図としてゼンリンの ZMAP-TOWN II、地図表示エンジンとしてカーネルの ActiveMap is を用いている。例として、図-3 に示すブロック 1 と 2 を合わせた領域を対象とした計算について以下に示す。

図-3 のブロック 3 はブロック 1 と 2 の境界部分の領域で、ブロック間で直接延焼する可能性がある建物を含むように適当に範囲指定する。

ブロック 1 と 2 については、それぞれの範囲内で延焼解析が行われているものとする。その過程で作成されるデータとして、ブロック内で 1 から通し番号で自動的に割り振られる建物番号、建物種別、レベル、階数、家枠頂点数とその番号およびリンクコードがあり、これらは建物属性ファイルとして保存

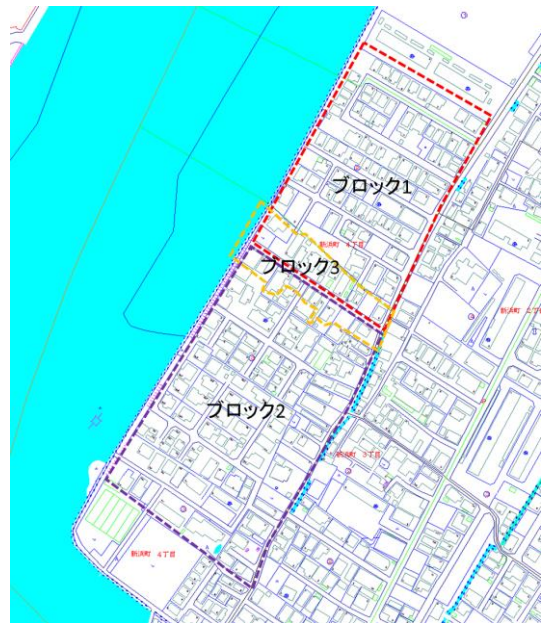


図-3 住宅地図におけるブロック分割

される。リンクコードとは、建物ごとに予め割り振られている固有のコードである。ブロック 3 についても、同様に建物属性ファイルが作成され、同時に棟内および棟間の家枠頂点間の延焼に要する時間（アークの重み）が保存されたファイルも作成される。これらのファイルを参照することで、図-4 に示すように、ブロック 1 と 2 で直接延焼する建物間の所要延焼時間が得られる。同じ建物の組み合わせであっても、火元側と延焼先が逆になれば、風向などの違いから建物間の延焼に要する時間は異なるため、それぞれ求められる。

このようにして得られたブロックを跨いで直接延焼する建物間の延焼所要時間と、ブロック 1 と 2 に

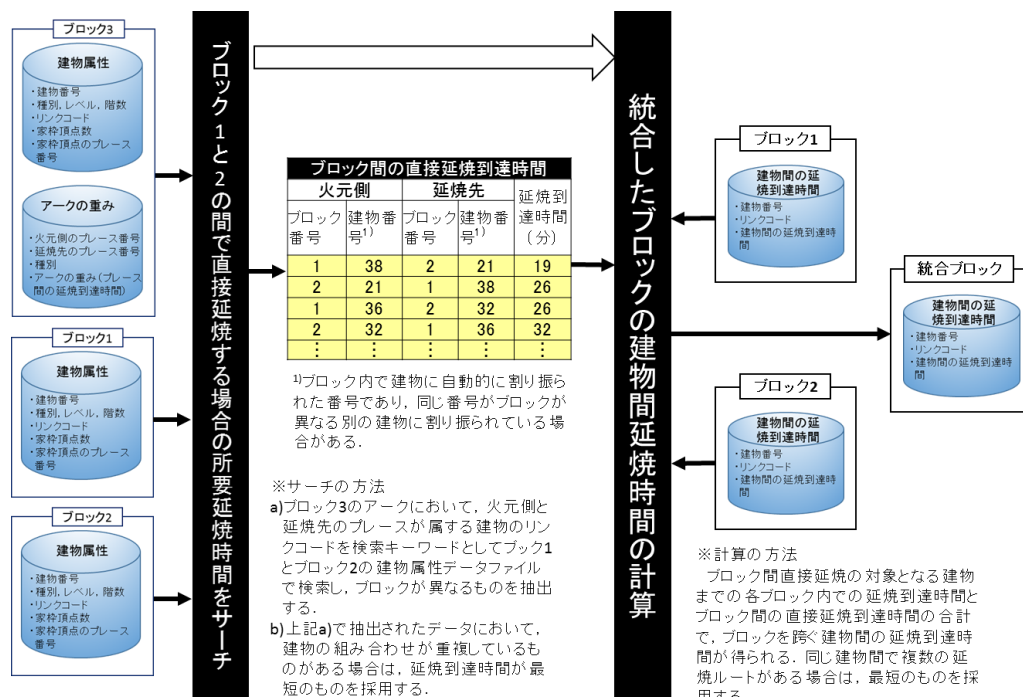


図-4 住宅地図を利用した統合ブロックの建物間延焼到達時間の計算方法



図-5 ブロック分割化法による地震火災リスクの評価結果

おけるそれぞれのブロック内の建物間延焼到達時間から、前述の方法によって、統合したブロックにおける建物間延焼到達時間を求めることができる。

図-5 は地震火災リスクの評価結果である。建物はすべて木造 2 階建て、震度 6 強、西からの風 4m の条件で計算している。図には、比較のためブロック間の延焼を考慮しなかった場合とブロックに分割せず一括して計算した場合の結果も示している。ブロック間の延焼を考慮しなかった場合は、リスクを低く評価していることがわかる。また、本研究で提案した手法を用いることで、ブロックに分割せず一括解析した方法とほぼ同じ結果が得られていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、広い領域を対象に建物1棟ごとの延焼解析を行う際に、領域をブロックに分割し、ブロック内の延焼解析の結果を統合する方法を提案した。

また、提案手法を地震火災リスクの評価の問題に適用し、妥当な結果が得られることを示すことができた。

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,亜力坤玉素甫,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) 辻原治, 岡本輝正：延焼の動的解析に基づく地震火災危険度評価法の提案, 土木学会論文集F3,Vol.73, No.2, pp. I _147- I _154, 2017.
- 4) 日本火災学会：火災便覧, 共立出版, 第3版, 1997.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 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.