

(59) 地震火災延焼解析に用いる ブロック分割化法の効率化

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 土木部 (〒717-8501 岡山県真庭市勝山591)
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。消防水利の欠如、交通渋滞や道路閉塞の中で平時の消防活動は期待できない。そこで、延焼解析による延焼動態予測やリスク評価は防災・減災において重要な役割を担う。

しかし、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。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ブロック分割化法が提案されているが、ブロックが増加すると多くの手順が必要となり、大変煩雑な処理を伴う。

本研究では、電子住宅地図を利用したブロック分割化法において、計算の手順を簡略化し、効率的に延焼解析が行えるよう改良した。

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

1. はじめに

地震火災は多くの場合、同時多発的に発生し、消防水利の欠如、交通渋滞や道路閉塞などの特殊な状況を伴うため、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、延焼解析による延焼動態の予測やリスク評価は防災・減災において重要な役割を担う。

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³⁾を提案している。

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、対象領域をいくつか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。辻原ら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⁴⁾において、解析対象領域をブロックに分割して、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⁵⁾。

本研究では、このブロック分割化法⁵⁾において、計算の手順を簡略化し、効率的に延焼解析が行えるシステムに改良することを目的とした。

2. ブロック間の影響を考慮した延焼解析の改良

(1) ブロック間の延焼の影響⁵⁾

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、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* ~

$r \rightarrow s \sim i$, $j \sim u \rightarrow z \sim i$ 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 $T(b, a, r, s)$, $T(b, a, u, z)$ および $T(b, a, v, z)$ を別途与えることで、ブロックを跨ぐ延焼の到達時間を求めることができる．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を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 $T(b, a, j, i)$ は次式で表される．

$$T(b, a, j, i) = \text{Min}(T(b, b, j, r) + T(a, a, s, i) + T(b, a, r, s), \\ T(b, b, j, u) + T(a, a, z, i) + T(b, a, u, z), \\ T(b, b, j, v) + T(a, a, z, i) + T(b, a, v, z))$$

(1)

ここに、 $\text{Min}(\cdot, \cdot, \cdot, \dots)$ は括弧内の数値の最小値を表す．

(2) 従来のシステム

従来のシステムによる計算においては、2 つのブロック a と b の境界をなす領域で、新たなブロック $a-b$ を設け、このブロックの延焼解析を行う必要がある．そして、ブロック $a-b$ の建物間延焼において、火元側と延焼先の建物が属するブロックを、建物のリンクコードを検索ワードとして、ブック a と b の建物属性データファイルと照合し、それぞれ属するブロックが異なる組み合わせを抽出する．これによって、ブロック a と b の間で直接延焼する建物の組み合わせとそれぞれの所要延焼時間がピックアップできる．最後に、隣接するブロック間で直接延焼する建物間の所要延焼時間を仲介として、各ブロック内の所要延焼到達時間の合計で、ブロックを跨ぐ建物間の延焼到達時間を求める．同じ建物間で複数の延焼ルートがある場合は、最短のものを採用する．

従来法の処理をまとめると以下ようになる．

- I) ブロック b 内の建物 j を火元とする (図-1 参照) 延焼解析
 - I-1) ブロックの範囲の選択
 - I-2) 建物の属性の入力
 - I-3) ペトリネットによるネットワークモデル⁴⁾の作成
 - I-4) アークの重みの計算
 - I-5) 延焼解析

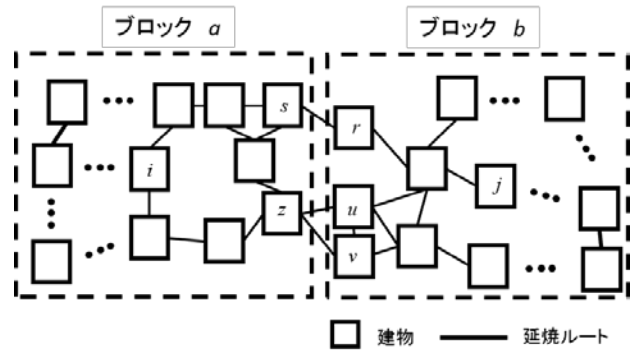


図-1 計算ブロック内の建物配置と延焼ルートの延焼時間

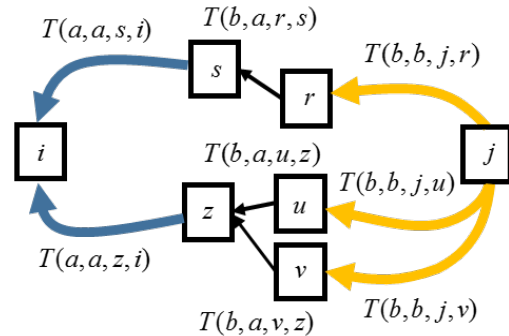


図-2 ブロック b から a への延焼

- II) 延焼の可能性のある境界ブロック内の延焼解析 I-1)~I-5)の手順を境界ブロックについて実行
- III) ブロック a 内において建物 s および z (図-1 参照) を火元とする延焼解析 I-1)~I-5)の手順をブロック a について実行
- IV) II) で作成されるデータファイルと、I) と III) で作成されるデータファイルを照合し、隣接するブロック間で直接延焼する可能性がある建物のブロック名とブロック内の建物番号および所要延焼時間を抽出し、ファイル出力する。
- V) IV) 作成されるファイルと、I) と III) で作成される各ブロック内の建物間延焼到達時間のファイルから、ブロック b における火元の建物からブロック a における延焼先の建物までの延焼到達時間を求める。

I) と III) において、ブロック内のすべての建物をそれぞれ火元とした場合の、ブロック内の他のすべての建物への延焼到達時間を求めておけば、火元が変わるたびに改めて計算する必要はない。

(3) 改良したシステム

全体の解析対象領域が広く、分割したブロックの数が増えた場合に、上記の I ~ V の処理をそれぞれに行い、結果を統合するのは大変煩雑となる．そこで、本研究では、ブロック統合の処理の大部分を自動化することとした．図-3 に改良したシステムにおけるブロック間統合の手順を示す．同図において、

ブロック *a* と *b* の建物属性、プレース、延焼到達時間は、それぞれのブロックの延焼解析によって出力されるファイルである。ブロック *a* と *b* の境界付近で直接延焼する建物の有無を自動で探索し、有る場合は予め設定されている風速、風向、震度などの情報から、それらの建物間の所要延焼時間を計算する。さらに、これを仲介として、ブロックを跨ぐ任意の建物間の延焼到達時間が計算される。

従来法では、境界付近のブロックの延焼解析、ブロック間で直接延焼する建物の探索、統合ブロックの建物間延焼到達時間の計算をそれぞれ行っていたが、改良したシステムにおいては、これらの処理を一気に行うことができる。

したがって、事前に必要な処理は分割された各ブロック内の延焼解析であり、従来法と比べて、計算の手順は大幅に簡素化された。

3. 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

本研究では、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⁾。

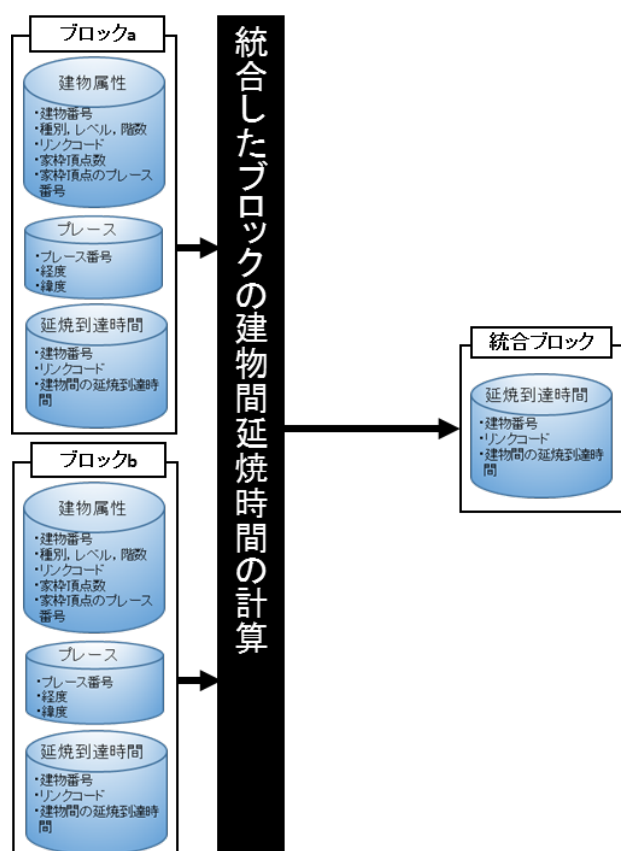


図-3 改良法によるブロック化された範囲の延焼解析結果の統合の手順

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

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

解析対象の領域を図-4 に示す。また、解析の条件を表-1 に示す。火災発生の時期・時間別および震度別の建物出火率、初期消火成功率などは、内閣府の資料¹⁾を参考に決定した。

リスク評価の結果を図-5 に示す。同図の(a)は、改良したシステムで計算した結果であり、(b)は従来のシステムにより計算した結果である。同一の結果を得ることができている。(c)は参考のため、ブロックに分割せず、一括して計算した場合の結果を示したものである。ブロックに分割して計算した(a)および(b)とほぼ同じ結果が得られているが、若干差異が見られる。これは、ブロック分割化法ではブロック間で直接延焼する建物の棟内延焼時間が考慮



図-4 ブロックに分割された解析対象領域

表-1 解析の条件

建物総数	247 棟
建物の構造	防火木造 2 階建て
震度	6 強
風速	4m/sec
出火の時期と時間帯	冬の 18 時



図-5 地震火災リスク評価結果の比較

されていないため、安全側に評価されるものの、この点については改善の余地がある。(d)は、ブロック間の延焼を無視した場合の計算結果であり、リスクが全体に過小に評価さ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、分割されたブロックの延焼解析の結果を統合する延焼解析システムにおいて、従来法の計算手順を単純化し、ブロックの数が増えても簡単に延焼解析が行えるようシステムを改良した。

以下に本研究の成果を要約する。

- 1) 従来、ブロック間の延焼を考慮した延焼解析を行うために、ブロック内の延焼解析を行った後、いくつかのプロセスを経てブロックの統合を行っていたが、ブロック内の延焼解析以外は一つのプロセスで実行できる。

- 2) 地震火災リスクの評価に応用したところ、従来法と同一の結果を得ることができた。

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) 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.
- 5) 辻原治, 岡本輝正：電子住宅地図を用いた大規模な地震時火災延焼解析用いるブロック分割化法の提案, 土木学会論文集F3,Vol.74, No.2, pp. I _12- I _19, 2018.