

火災延焼シミュレーション・システムによる オープンスペースの評価に関する研究

A Study about the Evaluation of Open Space by Fire Spreading Simulation System

二神 透*, 木俣 昇**

Toru FUTAGAMI*, Noboru KIMATA**

1. まえがき

1995年1月の阪神・淡路大震災は、改めて日本の市街地の地震に対する脆弱性を示す結果となった。特に、木造密集市街地を抱える長田区では、同時多発火災が発生し、水利網・道路網の遮断のため延焼拡大し甚大な被害となった。しかし、風速が2m/sec以下と小さかったために、僅かな公園・緑地などのオープンスペースが焼け止まり線として有効に機能したことが報告されている¹⁾。関東大震災以降の主要な10件の大火事例の焼け止まりの分析研究によると、消火活動等の人的要因以外の緑のオープンスペースの焼け止まり効果は31.5%である²⁾。さらに、熱海大火（昭和25年）以降の19の大火事例分析研究によると、延焼速度に寄与する要因は、第一位が耐火建物混在率、続いて隣棟間隔である³⁾。同研究による延焼阻害要因の分析では、耐火建物・空地・河川が有効であり、広幅員道路は延焼速度を遅くする点で有効であると報告されている。

著者らは、メッシュ型火災延焼シミュレーション・システムの開発を試み、風下・風横側における緑地の防火効果の拡張システムの開発を行い、本システムを都市防災計画のための計画情報に関する活用研究を行っている⁴⁾。木造建物を主とする可燃メッシュ間の延焼については、延焼速度式を採用している。一方、緑地の延焼の可否については、防火樹木の耐放射熱に着目し、放射熱計算モデルによる判定を行っている⁴⁾。

著者らは、このシステムを用いて、単位メッシュ・サイズを30～50mにとり、市街地レベルでの耐火性やブロック化の効果の検討を行ってきた。

本研究では、メッシュ・サイズを20m程度に精緻化して、広幅員道路や、小規模な緑地等をメッシュ属性に顕在化し、よりミクロなシミュレーションの実行を考える。この場合、オープンスペースの効果が過小評価となる。それは、このシステムでは緑地の防火効果に関しては改善したが、オープンスペースの下方への延焼については、延焼限界距離を用いていることによる。そこで、本研究では、①緑地判定と同様に、放射熱モデル方式による下方への判定モデルを開発し、②従来の延焼限界距離方式との基本特性の比較を行うとともに、③、①のシミュレーション・システムへの組み入れを行う。

2. メッシュ・サイズと延焼限界距離の基本特性

(1) 延焼限界距離と隣棟間隔

我々のシミュレーション・システムは、メッシュ・モデルを採用している。すなわち、空地を挟んだ木造建物を主とする可燃メッシュ間の風下二次近傍への延焼の可否は、図1、式(1)に示すメッシュ間隣棟間隔 $d_{ij}(m)$ と延焼限界距離 $D(m)$ との関係を用いて判定している。この従来の延焼限界距離 $D(m)$ は、図-2に示すように、風速 $W(m/sec)$ と出火経過時間 $t(min)$ の関数で与えられる。図-1の風下二次近傍可燃メッシュの延焼の判定は、当該時刻の延焼限界距離 $D(t)(m)$ と隣棟間隔 $d_{ij}(m)$ を比較して、 $D(t) > d_{ij}$ の関係を満足すれば、当該可燃メッシュは延焼可能と判定し、延焼可能時間 $T(min)$ と単位時間 $\Delta t(min)$

キーワード：防災計画、計画情報

*正会員 学博 愛媛大学講師 工学部環境建設工学科
(〒790 松山市文京町 3)

Tel 089-927-9837 Fax 089-927-9844

**正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科
Tel 0762-34-4914 Fax 0762-34-4915

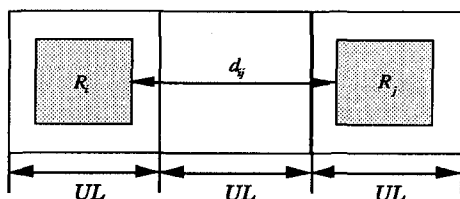


図-1 メッシュ間隣棟間隔

$$d_{ij} = UL \left(2 - \frac{\sqrt{R_i} + \sqrt{R_j}}{2} \right) \quad (1)$$

を用いてシミュレーションを進行する。

ちなみに、昭和51年の山形県酒田大火時の風速：W(12m/sec)を想定すると、この時の延焼限界距離D(m)は、図-2より63.3m(出火後60分以上)となる。ここで、建ぺい率60%の市街地を想定すると、単位メッシュ長ULが30~50mでは、空気を挟む隣棟間隔は36.8~66.8mとなり、ほとんどの風下二次近傍の可燃メッシュの防火効果は認められないことになる。すなわち、単位メッシュ長ULを30~50mと想定した場合、従来の延焼限界距離D(m)を用いたシミュレーションでは、風下のほとんどの空地は延焼阻害要因として評価されていないことが分かる。

つぎに、単位メッシュ長ULを20mにとり、建ぺい率を同様に60%と仮定する。この場合、隣棟間隔は24.5mとなり、全ての二次近傍の可燃メッシュが延焼することになり、同様にオープンスペースの効果が認められない結果となる。

上述した例では、風速：Wを大きく想定しているため、延焼限界距離がかなり大きくなる。その結果、オープンスペースの効果が過小評価となっている可能性が考えられる。これに対して、輻射熱モデルは、火災領域からの輻射受熱量を用いて延焼の判定を行う方式である。このため、ある程度ブロック化された市街地や、耐火建物・空地等の割合が大きく混在する市街地の小さなオープンスペースの効果を反映することが可能であると考えられる。

(2) 輻射熱計算による延焼限界距離の算定

文献「5」によれば、輻射熱計算による大火時の空地による焼け止まり効果の判定モデルが提案され

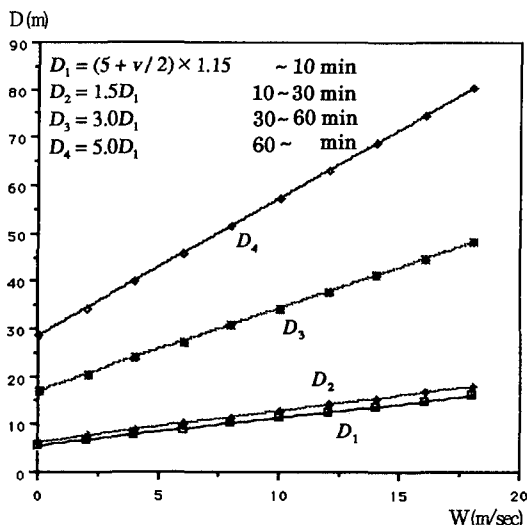


図-2 風速と延焼限界距離

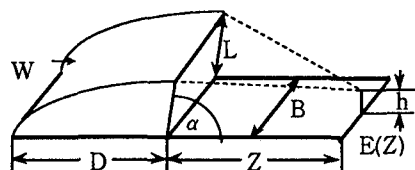


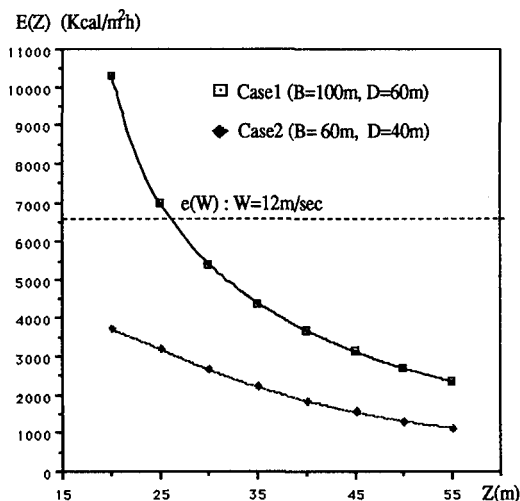
図-3 風下側の輻射熱計算モデル

ている。このモデルの基礎となる考え方は、火災の領域を矩形モデルで近似し、図-3の同時炎上領域(幅：B(m)、奥行き：D(m))より決定される火炎面(幅：B(m)、長さ：L(m))と火炎面傾き α (度)からZ(m)離れた木造建物(高さ：h(m)の位置)の輻射受熱量E(Z)：kcal/m²hの算定が基本となる。ちなみに、E(Z)は式(2)で与えられる。この、焼け止まり判定基準は、式(3)の風速W：(m/sec)をパラメータとする耐火受熱量e(W)：(kcal/m²h)で与

$$E(Z) = \lambda F \phi \quad (2)$$

ただし、
 λ : 炎輝面の放射輻射熱
 F : 輝面率
 ϕ : 形態係数

$$e(W) = 2600 + 291.64W + 4.1667W^2 \quad (3)$$



図一 4 火炎領域の規模と延焼限界距離

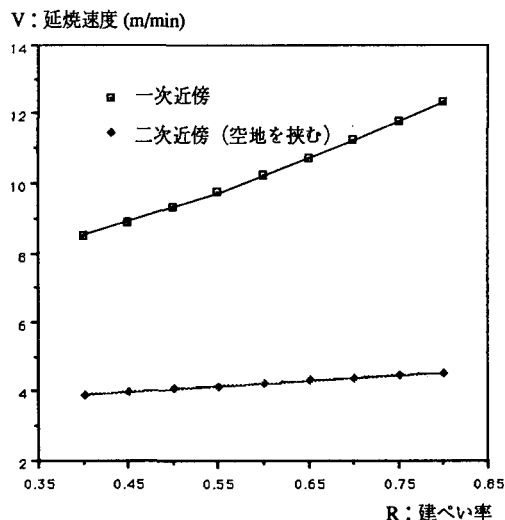
えられる。ここで、延焼限界距離 $D(m)$ との比較を行うために、平均建ぺい率 R を60%、風速 W を12m/secと仮定する。つぎに、同時炎上奥行き $D(m)$ 、同時炎上幅 $B(m)$ をケース1 ($B=100m, D=60m$)、ケース2 ($B=60m, D=40m$)を想定し、 Z_m 地点の輻射受熱量 $E(Z)$:(kcal/m²h)と耐火受熱量 $e(W)$:(kcal/m²h)を算定し、それらの関係を図一4に示す。ちなみに、延焼限界距離 D は63.3mである。

この図より、ケース2では、風下二次近傍の可燃メッシュの輻射受熱量 $E(Z)$ は、常に耐火受熱量 $e(W)$ より小さく、延焼阻止効果が認められる結果となっている。一方、火炎領域が大きいケース1の場合でも、隣棟間隔が27m以上であれば、オープンスペースの防火効果が認められることが分かる。

以上より、輻射受熱量モデル方式を採用することにより、よりミクロなオープンスペースの評価が可能となることが分かる。

(3) オープンスペースと延焼速度式

(2)で延焼可能と判定された二次近傍の可燃メッシュは、延焼速度式 $V(m/min)$ を用いて、延焼可能時間 $T(min)$ の算定を行っている。このとき、メッシュ間の隣棟間隔 d_{ij} は、延焼速度式 $V(m/min)$ のパラメータでもある。また、2節で述べたように、この



図一 5 延焼速度の低減効果

メッシュ間の隣棟間隔 d_{ij} は、建ぺい率 R と単位メッシュ長 $UL(m)$ の関係で現されるため、これらのパラメータの延焼速度式への影響を分析する。ただし、風速： W に関しては、これまでと同様に12m/secの値を想定する。

図一5に、建ぺい率： $R(\%)$ と延焼速度 $V(m/min)$ の関係を示す。この図より、建ぺい率が高くなるに従い、延焼速度が大きくなること、オープンスペースを挟む二次近傍への延焼速度は、一次近傍への延焼と比較して、大きく低減することがわかる。また、オープンスペースを挟む場合、建ぺい率に対する速度の変化率は小さいことが分かる。ちなみに、建ぺい率： $R(60\%)$ では、延焼速度： V は10.2m/minから4.1m/minと6m/minもの低減となる。ここで、単位メッシュ長を20mと想定した場合、2メッシュ間の延焼時間は、オープンスペース有りが9.8分、無しが3.9分となる。すなわち、この延焼時間差が、オープンスペースの延焼阻止力を示すことになる。

3. シミュレーション・システムへの拡張化

図一6にシミュレーション・システムの拡張アルゴリズムを示す。従来のアルゴリズムでは、延焼可能メッシュ $S[I, J]$ の風下($S1=6$)、かつ空地

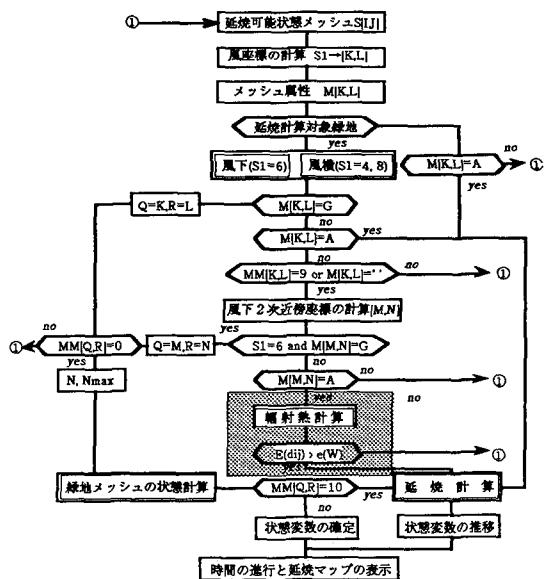


図-6 拡張アルゴリズム

($MM[K,L]=9$, or $MM[K,L]=\' \'$) を挟む二次近傍の可燃メッシュ($M[M,N]=A$)への延焼の可否を、延焼限界距離 $D(m)$ と隣棟間隔 $d_j(m)$ を用いて判定している。

一方、拡張アルゴリズムでは、図-6の中央部下の網掛け部分で示す放射熱計算モデルの組み込みを行っている。具体的には、緑地の防火効果の判定アルゴリズムと同様に、ダイナミックな延焼領域の同時炎上奥行き、同時炎上幅、火炎の傾き、炎上領域の建物混在率、平均建ぺい率等を算定する。これらの従属変数より算定される火炎面の熱量 $E(d_j)$ と、耐放射受熱量 $e(W)$ を比較することにより、延焼の判定を行う。これらの一連のアルゴリズムの論理的整合性については、シミュレーションを実行し確認している。

4. おわりに

本研究は、オープンスペースの防火効果に着目し、放射熱モデルによる風下側への二次近傍への延焼モデルをシミュレーション・システムへ拡張化することを試みた。

はじめに、従来の延焼限界距離モデルは、オープンスペースの延焼阻止効果を過小評価する可能性が

あることを示した。つぎに、放射熱計算モデルを用いた場合、ダイナミックに変化する火炎領域に対するオープンスペースの効果の取り扱いが可能であることを示唆することができた。さらに、本事例では延焼可能と判断された二次近傍の可燃メッシュの延焼速度は、オープンスペースが無い場合と比較して6m/minも低減することから、オープンスペースの延焼遅延効果を示すことができた。最後に、緑地防火効果モデルと同様に、放射熱モデルによる二次近傍可燃メッシュ延焼判定モデルをシミュレーション・システムに組み込みアルゴリズムの論理的整合性を確認した。

今後の課題としては、拡張システムを用いた再現実験による、オープンスペースの効果の評価が挙げられる。この点に関しては、昭和51年に発生した山形県酒田大火、昭和54年の富山県福光大火を事例として取り上げ、単位メッシュ長を20mにとりシミュレーション・システムの再現性実験を行い報告したいと考えている。

また、阪神・淡路大震災で報告されているように、耐火構造物の延焼モデルの取り込みや、確定的な延焼速度式そのものの見直しも必要であると考えている。例えば、放射熱モデルによる速度式の確立などが考えられよう。

参考文献

- 1) 中瀬 勲：公園・緑地計画からみた復興への課題，都市計画，Vol.45,pp.40-45,1996.
- 2) 岩河信文：火災と緑，都市計画，Vol.128,pp.34-42,1983.
- 3) 谷口仁士，飯田汲事：都市における地震時出火・拡大延焼に関する被害予測，日本建築学会計画系論文報告集，Vol.357, pp.52-61,1985.
- 4) 木俣 昇，二神 透：防災緑地網整備計画支援のための火災延焼シミュレーション・システムの開発，土木学会論文集，IV-17, pp.193-202, 1992.
- 5) 日本火災学会編：火災便覧，共立出版，1984.