

大規模火災の延焼シミュレーション開発に関する一考察
One consideration on the construction of simulation system
of large fires spread by Kobe Earthquake

服部佳明*・松井武史*・高井広行**・上村雄二***
by Yoshiaki HATTORI*, Takeshi MATSUI*
Hiroyuki TAKAI** and Yuji UEMURA***

We constructed practical simulation system of fires spread based on the detailed simulation model and GIS. The system supports creation of data of digital base map, weather conditions, attribution of constructions, location of firefighting equipments, etc. in selected area and houses in it in data base.

Further displays on the map the process of fires spread of each constructions according to the results of calculation.

In this paper we mainly described the functions of the system and the properties of the model concerned with combustion and spread.

Keywords : The Great Hanshin Awaji Earthquake, fires spread, simulation, GIS

1. はじめに

震災以降、地震や大規模火災への対策や地域の防災計画を検討するにあたって有用な延焼シミュレーションシステムの開発が求められている。

従来のマクロモデルでは、風向・風速等の気象条件から延焼速度式を導き延焼を再現するもの、市街地をメッシュで区切り延焼過程を要素火面と火流線により動的に記述したもの、道路、河川、鉄道等の線的不燃領域で囲まれた街区を延焼計算の単位として再現したもの等がある。しかし建物1棟毎に延焼を拡大させていないため、建物の隣接関係、構造などが反映させにくい。

それに対して本シミュレーションモデルでは、様々なパラメータや建物属性を考慮に入れてシミュレーションを行うことができる。本論では、データ及びパラメータを扱う機能と延焼過程の計算モデルの各パラメータ、建物属性、気象条件を変化させ、モデル構造の特性について述べる。

2. 延焼シミュレーションシステムの理論と構築

本システムに用いた延焼モデルの最大の特徴は、従来の延焼速度に基づくマクロなモデルとは異なり、建物一棟毎に延焼を拡大させるモデルであり、延焼過程を出火、燃焼、伝播、着火過程に分けて捉えている点である。また、これによって対象地域の実際の建物配置、施設の特性や地震による建物崩壊の影響、消火活動による延焼阻止効果等の詳細な情報をモデルに反映させることが可能となっている。しかし、この特徴を生かしたモデルとするためには正確で詳細なデータが必要となるため、本シミュレーションモデルでは、今回の震災火災による被災地区の建物（位置、属性）、気象

キーワード：防災計画

* 正員 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

** 正員 工博 近畿大学工学部建築学科 教授
(〒739-21 東広島市高屋うめの辺1番)

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

***正員 神戸市消防局予防部予防課
(〒650 神戸市中央区加納町 6-5-1)

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

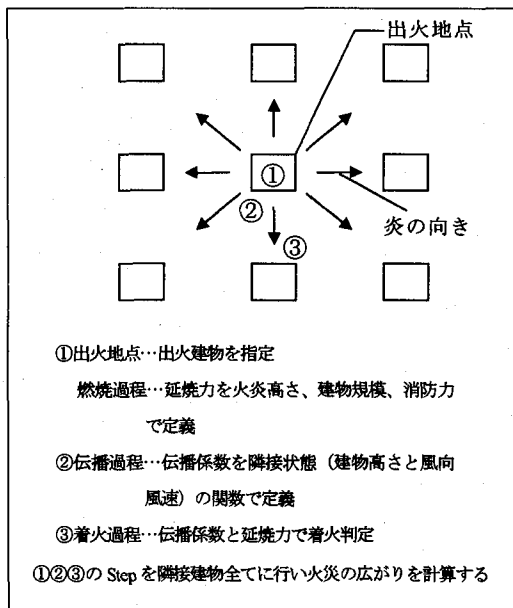


図 1 本モデルで用いる延焼拡大の方法

などのデータを使用した。

本シミュレーションシステムは、データ作成支援機能、延焼シミュレーション機能、結果表示機能から構成されている。データ作成機能には、建物、気象、消防施設データベースを作成し、地図上に反映させる機能がある。ここでは、地区内の各建物面積や建物構造等の建物属性を含めたシミュレーションの下地となる重要なデータが作成できる。データは、Windows 上で簡単に入力する事ができ、GIS 上でデータベース化するため視覚的にわかりやすく、データを計算結果に反映できる実用的なシステムとなっている。

延焼シミュレーション機能は、本システム中の核をなす部分で、延焼計算を実行する機能である。また計算条件の設定機能を用いると、データ作成機能で作成された各データを延焼計算に反映させる事ができ、パラメータ等のシミュレーション条件をデータベース化し管理する事ができる。

結果表示機能は、地図データ上に時間経過に伴う延焼計算結果を表示する機能である。

本システムの概要を図 2 に示す。

3. 延焼シミュレーションシステムの機能

ここでは、本シミュレーションシステムの機能と特性について、各種データの作成、延焼計算過程（出火、燃焼、伝播、着火）、結果表示という一連の流れに沿って紹介する。

(1) データの作成

(a) ベース地図データの作成

作成方法は、神戸市デジタルマッピングデータを変換し、ベース地図データを作成する方法と、都市計画白地図をスキャナにより取り込んだラスターデータからベース地図データを作成する方法がある。なお、白地図からデータを作成した場合には建物座標データが無い場合、画面上で座標を入力し、ポリゴンデータとして登録を行う必要がある。

(b) 建物属性データ作成

災害弱者、病院等の災害重要施設を含む建物の属性データ（建物構造、種類、床面積、延焼面積、階数、用途、焼損程度、火災荷重等）をデータベースに登録するとともに、地図データ上の建物ポリゴンとの関連付けを行う機能である。これらの属性データの内容は地図画面上でポリゴンをマウスクリックすることにより参照可能であるとともに画面上での編集、印刷が可能である。（図 3）

(c) 気象データの登録

気象データ（観測局名、風向、風速の 1 時間値等）をデータベースに登録するとともにデータの編集、印刷を行う。（図 4）

(d) 消防施設データの作成

消火栓、防火水槽及び指定水利の消防施設を地図上にシンボルマークとして定義するとともに、その属性データ（名称、容量、能力等）をデータベースに登録し、地図データ上のシンボルマークとの関連付けを行う。これらの属性データの内容は地図画面上でシンボルマークをマウスクリックすることにより参照可能であるとともに画面上での編集、印刷が可能である。（図 3）

(e) 建物隣接関係データの作成

延焼計算を行うにあたり、対象地区内の建物相互の位置関係を隣接関係データとして計算し、デ

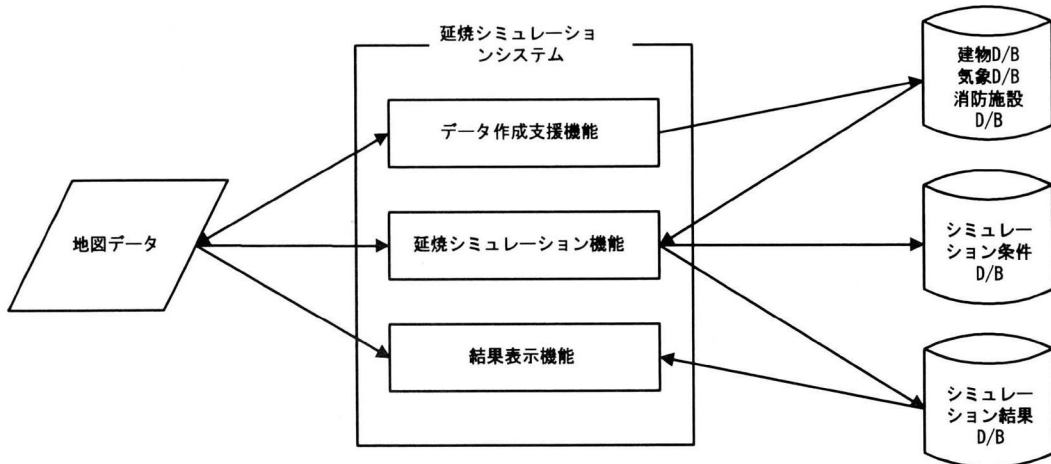


図2 延焼シミュレーションシステムの概要

データベースに登録する。隣接関係データは隣接する建物ID、最短距離及び見通し角（始まり、終わり）であり、建物の位置座標データより計算する。なお、建物の隣接関係データについては地図画面上で識別表示するとともに、参照、変更が可能である。

(2)延焼過程

(a)出火過程

作成した地図データ上で、延焼シミュレーション対象地区の設定を行い、火災出火地点を設定する(図5)。出火点の他に、飛び火を設定することも可能で、複数の出火点、飛び火を設定することができる。

(b)建物の燃焼過程

燃焼過程では、建物の延焼力を火炎高さ、建物規模、消防力で定義している。ここで用いる火炎高さとは、建物高さと同時間面積あた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ている。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グ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と建物規模の関数を用いた。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は、延焼力はないものとした。延焼力算定の

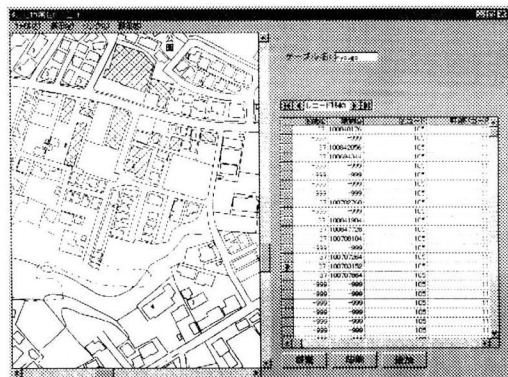


図3 建物属性登録画面

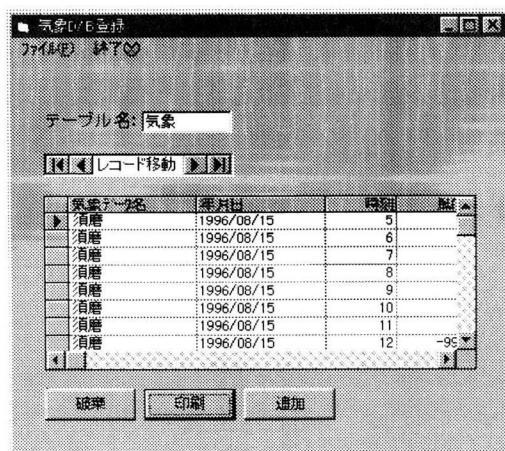


図4 気象データ登録画面

条件は、建物構造、建物面積(m^2)等がデータベースに登録されており、火災荷重(kg/m^2)、火炎吹き出し時間等を建物構造毎に、図 7 に示すパラメータ設定画面で設定できる。

(c)伝播過程

伝播過程では、要因を伝播係数で表し、伝播係数は二つの建物の隣接状態（建物高さと風向風速）の関数で定義した。隣接建物間の関係を表す項目としては、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現している。また、伝播係数を算定する際の基準条件としては、10m 角（100 m^2 ）の一階建物が 1m の間隔で面している状態とし、風速を 1m/s とした。伝播過程では、気象条件を設定できるほか、パラメータ設定画面で、風速補正係数等が設定できる。

(d)着火過程

着火過程では、未燃焼隣接建物の着火判定で捉えることとした。建物の着火状態を判定する変数に、その建物の累積延焼影響量、単位時間延焼影響量、単位時間最大延焼影響量を取り、建物の着火のしやすさの要因としては、建物構造（木造、防火、耐火）、全体の火災規模、消防力とした。着火過程では、パラメータ設定画面で着火係数、火災規模補正係数等が設定可能となっている。

(3)結果表示

以上の Step で行われた延焼計算は、計算ケースを指定すると地図上に表示される(図 8)。また計算結果に基づき、出火からの時間経過に伴う累積延焼面積及び延焼棟数の変化図を画面上に表示もしくはプリンタに出力する。

4. 延焼モデルの特性

ここでは本シミュレーションシステムの中心となる、延焼シミュレーション機能の延焼モデルの特性について述べる。モデル特性の表現方法は、対象のパラメータを変化させ、他のパラメータを固定することで、延焼力、伝播係数等に及ぼす影響を表現する。

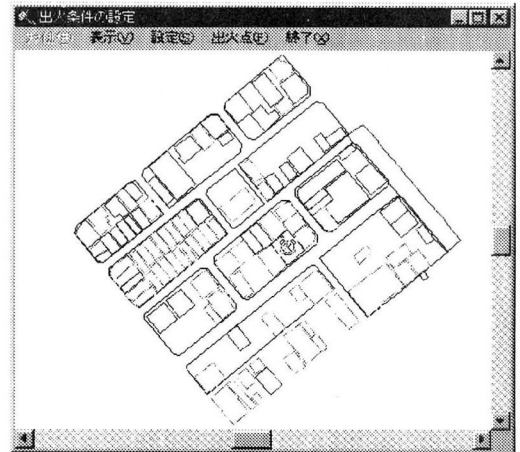


図 5 出火条件の設定画面

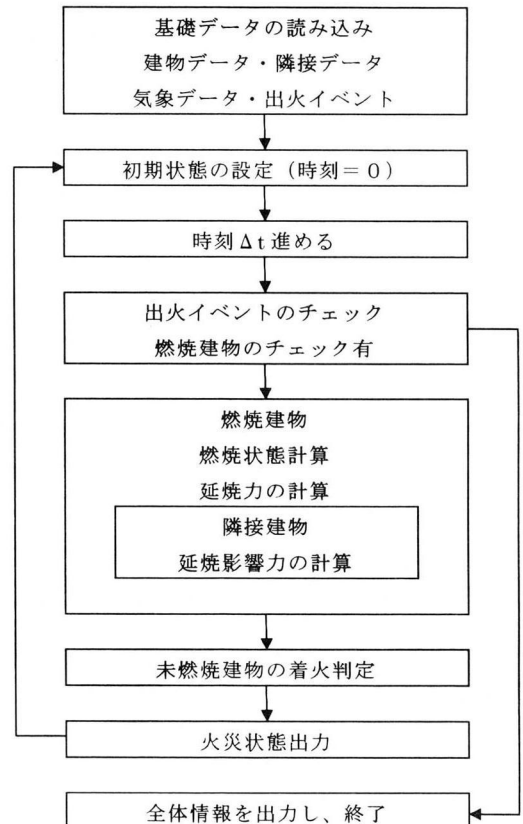


図 6 延焼シミュレーションフロー図

(1)建物規模

建物規模は、火災規模を決定する大きな要因の一つであるが、本モデルでは建物 1 階面積、建物延べ床面積を基準面積 100 m² で除することにより無次元化した値を用いて火災規模を反映させた。建物規模と燃焼力の関係は図 9 に示すとおりで、燃焼力は建物規模に比例するものとしている。

(2)風向、風速

火災拡大は風の影響も強く受ける事が分かっている。風向きは主な延焼方向を決定し、風速は延焼速度、延焼限界距離を変える。本シミュレーションでも、風の扱いについては様々な観点から分析を行い十分な検討の後、パラメータ、または式として与えている。

本シミュレーションで扱うような大規模火災で、風向、風速が延焼過程に影響するのは、燃焼、伝播過程だと考えられる。図 10 は、延焼力を着火からの時間経過と共に表したものであり、風速を 1m から 0.5m 刻みに 7m まで変化させている。ここでは風速以外のパラメータ（建物火災荷重、延べ床面積、建物規模）を固定し、風向は真正面としている。短時間では強風ほど延焼力が強くなり、着火時刻から時間が経つにつれて、弱風が延焼力を増大するような設定としている。また風速が強くなれば延焼力のピークは大きくなり、燃焼時間も早くなるが、ある程度、風速が強くなると、ピークの大きさに変化が見られないはずである。本モデルでも、風速が大きくなればなる程、燃焼力のピークは変化が少なくなっている。また、伝播係数は風速に比例して大きくなるが、建物高さの影響も強いという傾向も表現している(図 11)。延焼力と伝播係数を掛けた延焼影響量でも、延焼力と同じく、風速との関係を表現できている(図 12)。

(3)建物間距離

建物と建物が近ければ、当然、火災が燃え移りやすい。本モデルでも建物間の距離を伝播係数の中で表現し、反映させている(図 13)。

図 7 パラメータの設定画面

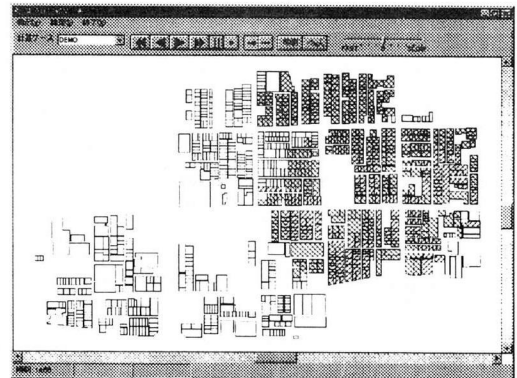


図 8 延焼計算の結果表示

延焼力

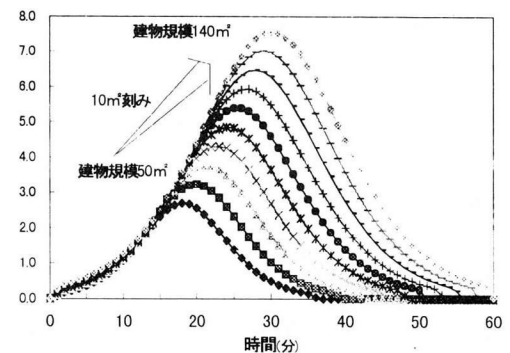


図 9 建物規模の変化に対する延焼力の変化

延焼力

(建物構造: 木造)

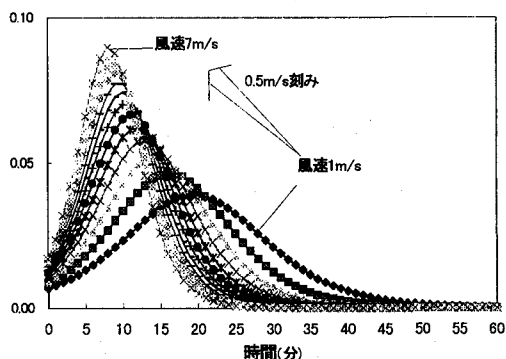


図 10 風速の違いに対する延焼力の変化

伝播係数

(基準建物高さ: 1階3m)

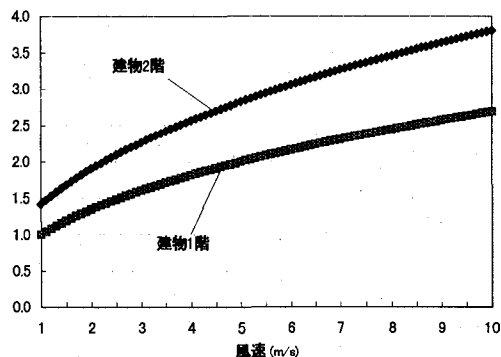


図 11 風速と伝播係数の関係

5. おわりに

本延焼シミュレーションモデルは、現在もモデル式、パラメータを改良中である。また、本システムは今後、神戸市消防局において運用実証が行われ、システムの操作性や有用性、延焼モデルの妥当性等について詳細な評価、検討が行われる予定である。これらの結果をもとにシステムのより一層の充実を目指していきたいと考えている。

なお、本システムの開発は(財)阪神・淡路産業復興推進機構の震災地区産業高度化システム開発実証事業の一環として行われ、Microsoft「Visual Basic」を用いてシステム構築を行い、支援ライブラリとして(有)ドーンの「GeoBase」を用いた。

最後に本開発にあたり多大な協力を頂いた神戸市消防局の坊池道昭氏、木下茂信氏、元神戸市消防局の杉山宗義氏、応用技術株式会社の矢野公一氏、ならびに(有)ドーンの滝野秀一氏に感謝の意を表します。

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
 題目：神戸市における大規模火災に関する研究－延焼シミュレーションシステムの構築－
- 3) 日本火災学会：火災便覧、共立出版、1997.5

延焼力×伝播係数

(建物構造: 木造)

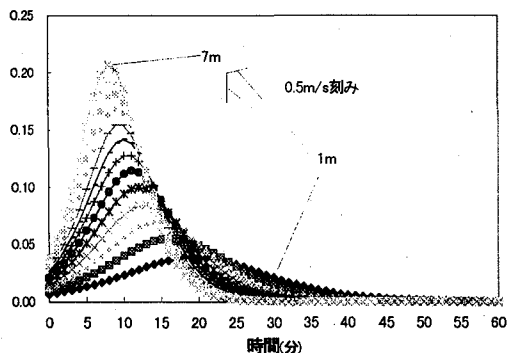


図 12 風速の違いに対する延焼影響量
(延焼力×伝播係数) の変化

伝播係数

隣接建物1F

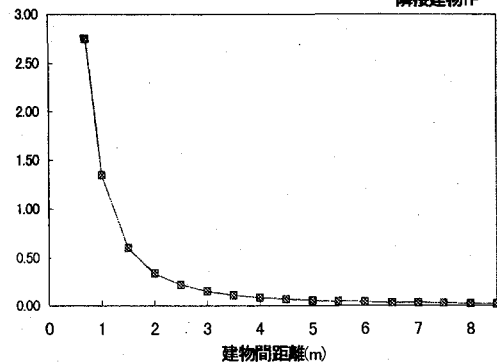


図 13 建物間距離と伝播係数