



密集市街地における延焼リスク評価手法に関する研究：阪神・淡路大震災時の神戸市長田区周辺地域における評価を通して

黒田, 良
北後, 明彦
樋本, 圭介
田中, 孝義
秋元, 康男

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 14:83-88

(Issue Date)

2010-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD01)

<https://doi.org/10.24546/81011314>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011314>



密集市街地における延焼リスク評価手法に関する研究

—阪神・淡路大震災時の神戸市長田区周辺地域における評価を通して—

A Study on Evaluation Method for Fire-Spread Risk in Densely Built-up Urban Areas:
A Case Study in Nagata Ward in Kobe City before the Hanshin Awaji Great Earthquake

黒田 良¹⁾

Ryo KURODA

北後 明彦²⁾

Akihiko HOKUGO

樋本 圭介³⁾

Keisuke HIMOTO

田中 喺義⁴⁾

Takeyoshi TANAKA

秋元 康男⁵⁾

Yasuo AKIMOTO

概要：1995年に発生した阪神・淡路大震災においては、約300件の火災が発生し、7,500棟を上回る建物が焼損、500名以上の焼死者を出した。そして、その被害は木造密集市街地に集中している。密集市街地は全国に未だ数多く存在するため、今後、阪神・淡路大震災と同様、あるいはそれ以上の規模の都市直下型地震、または、東南海・南海地震などのプレート型地震の被害が考えられるわが国においては、地震に伴い発生するであろう大規模な市街地火災に対する対策を講じることは極めて重要な課題だと考えられる。密集市街地への対策を講じるにあたっては、市街地火災による被害を予測し、対策の有効性を定量的に評価する手法の整備が必要となる。このうち、市街地火災の燃え広がり方を時系列に予測する計算モデルは延焼モデルと呼ばれ、これまでも数多く開発されてきた。しかし、火災の中でも特にその拡大危険性が高いとされる地震時の火災については、延焼性状に大きな影響を及ぼす地震動による建物構造被害を反映した延焼モデルは少ない。また、開発されたモデルにおいても延焼リスクの評価が十分に行われているとは言えないと考えられる。そこで本研究では、地震による建物構造被害を考慮した延焼モデルを用いることで、市街地に対するリスク評価を、震災時の実状に近い形で行うことを第1の目的とする。さらにその目的において、阪神・淡路大震災によって多くの建物被害と延焼火災による被害を受けた神戸市の市街地を評価し、実際に起こった市街地火災が、市街地の危険性の評価と比較してどの程度の規模であったかを論じ、より正確な密集市街地の危険性把握につなげることを第2の目的とする。

火災現象は、気象条件や出火条件など多様な要因によってその状況が大きく変化するものである。そこで本研究では、リスクの概念に基づき、出火条件、地震による建物の被害条件や気象条件を不確定なパラメータとし、複数回の予測計算を行うことで、最終的な損失期待値（火災拡大による焼失棟数など）、すなわち火災リスクを求める。リスク評価には、上記の通り阪神・淡路大震災被災当時である1995年の兵庫県神戸市長田区周辺地域を選定、作成した市街地データを用いることとした。そして、リスク評価の結果、及び阪神・淡路大震災における実火災範囲との比較により、長田区周辺地域の脆弱性を評価した。その中で、条件の違いによってはより大きな延焼被害が生じていたと考えられること、倒壊率の低く設定された地域内で発生した火災でも市街地構造・属性によっては多大な焼失棟数を算出したこと、火災リスクが全体的に見て小さめに算出されている範囲においてもその焼失棟数は高く、木造密集市街地である地域全体が高い延焼リスクを持っていることが今回のシミュレーションを通して定量的に評価できた。

キーワード：密集市街地、延焼モデル、延焼リスク、防災性

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

1995年に発生した阪神・淡路大震災においては、約300件の火災が発生し、7,500棟を上回る建物が焼損、500名以上の焼死者を出した。そして、その被害は木造密集市街地に集中している。密集市街地は全国に未だ数多く存在するため、今後、阪神・淡路大震災と同様、あるいはそれ以上の規模の都市直下型地震、または、東南海・南海地震などのプレート型地震の被害が考えられるわが国においては、地震に伴い発生するであろう大規模な市街地火災に対する対策を講じることは極めて重要な課題である。密集市街地への対策を講じるにあたっては、市街地火災による被害を予測し、対策の有効性を定量的に評価する手法の整備が必要となる。このうち、市街地火災の燃え広がり方を時系列に予測する計算モデルは延焼モデルと呼ばれ、これまでも数多く開発されてきた。しかし、火災の中でも特にその

拡大危険性が高いとされる地震時の火災については、延焼性状に大きな影響を及ぼす地震動による建物構造被害を反映した延焼モデルは少ない。また、開発されたモデルにおいても延焼リスクの評価が十分に行われているとは言えないと考えられる。

そこで本研究では、地震による建物構造被害を考慮した延焼モデルを用いることで、市街地に対するリスク評価を、震災時の実状に近い形で行うことを第1の目的とする。さらにその目的において、阪神・淡路大震災によって多くの建物被害と延焼火災による被害を受けた神戸市の市街地を評価し、実際に起こった市街地火災が、市街地の危険性の評価と比較してどの程度の規模であったかを論じ、より正確な密集市街地の危険性把握につなげることを第2の目的とする。

1.2 研究の方法

1.2.1 神戸市長田区周辺地域の市街地データ作成

地震被害を反映した延焼シミュレーションを行うにあたり、神戸市長田区周辺地域を評価対象地区として選定、市街地データ作成を行った。長田区周辺地域は、阪神・淡路大震災において大規模な市街地火災による被害を受けた地域である。また、地震動による建物被害も大きく、当時の調査による建物被害データが多く残されている。

1.2.2 神戸市長田区周辺地域におけるリスク評価

地震被害を反映した延焼シミュレーションによって市街地の火災に対する危険性を評価するため、本研究では、種本らによって開発された、地震動による建物構造被害と火災加熱による損傷の進行を考慮した地震火災延焼性状予測モデル[1]を用いる。火災現象は、気象条件や出火条件など多様な要因によってその状況が大きく変化するものである。そこで、リスクの概念に基づき、出火条件、地震による建物の被害条件や気象条件を不確定なパラメータとし、複数回の子測計算を行うことで、最終的な損失期待値（火災拡大による焼失棟数など）、すなわち火災リスクを求める。リスク評価の結果、及び阪神・淡路大震災における実火災範囲との比較により、長田区周辺地域の危険性を評価する。

2. 神戸市長田区周辺地域における延焼リスク評価

火災という現象は、気象条件や出火条件など多様な要因によってその状況が大きく変化するものである。そこで、リスクの概念に基づき、出火条件や気象条件等を不確定なパラメータとし、複数回の試行をモンテカルロシミュレーションとして実行することで、最終的な損失期待値（火災拡大による焼失棟数など）、すなわち火災リスクを求める。

2.1 火災リスクの定義

本研究では火災リスクの概念を導入し、市街地が有するさまざまな不確定要因を反映させて、対策の効果を評価する。一般に、火災リスク R は、損失の発生確率 P と損失 L の積、すなわち損失期待値として

$$R \equiv \sum_{i=1}^N (P_i L_i) \quad (1)$$

のように定義される。ここで、下付き文字 i は発生の想定される火災、 N は発生確率 P と損失 L の組み合わせ（火災シナリオ）の数を表している。

ここでは、損失 L の指標を、都市火災のスケールを考慮して出火から 24 時間後の焼失棟数とした。ただし、出火点は 1 回の計算につき 1 箇所を評価領域内でランダムに選定することとした。また、リスク評価の単位は町目毎とし、ある町目内で出火した火災によって焼失する全建物棟数をその町目の火災リスクとした。すなわち、この町目毎の火災リスクは以下のように表される。

$$R_R = \frac{\sum_{j=1}^{n_R} \sum_{i=1}^N (p_i L_i)}{n_R} \quad (2)$$

n_R は町目を構成する建物数、 p_i は町目内の建物が出火点に選ばれる確率、 L_i は焼失棟数（損失）、 N は想定する火災の数である。この指標を用いることにより、同一町目内だけでなく、周辺地域の延焼危険度を含めた総合的な評価を行うことができる。なお、モンテカルロシミュレーションの反復回数は 1,400 回である。

2.2 神戸市長田区周辺地域の概要

本研究におけるリスク評価の計算対象範囲は長田区および須磨区であり、長田区 46 町目、須磨区 34 町目、計 80 町目 24,728 棟を対象としている。今回の評価では、長田区 13 件・須磨区 4 件の合計 17 件の火災が発生した約 2.8 k m×2.5 k m の市街地範囲を選定し、市街地データの作成を行った。リスク評価の対象とする区域を図 1 に示す。点線枠が計算の範囲、黒実線枠が阪神・淡路大震災時に発生した、市街地火災の延焼被害範囲を表している。



図-1 リスク評価の対象地域(神戸市長田区周辺地区)[2]

対象範囲内で発生した 17 件の火災を表 1 に示す。火災番号は図 1 の火災範囲に示した番号と一致している。

表-1 評価対象地域内の火災リスト[3][4]

番号	火災名	焼損棟数	焼失面積
①	梅ヶ香 2 丁目火災	10	1,891 m ²
②	菅原変電所周辺火災	751	54,900 m ²
③	御蔵通 5, 6 丁目火災	225	22,397 m ²
④	川西通 1 丁目火災	11	3,630 m ²
⑤	御船通 2, 3, 4 丁目火災	224	1,620 m ²
⑥	東尻池町 7 丁目火災	41	3,344 m ²
⑦	新長田南火災	434	39,570 m ²
⑧	高橋病院周辺火災	825	68,850 m ²
⑨	西代市場周辺火災	419	34,407 m ²
⑩	神戸デパート南火災	361	35,100 m ²
⑪	水笠公園周辺火災	1,164	106,241 m ²
⑫	日吉町 2 丁目火災	52	3,072 m ²
⑬	細田町 4 丁目火災	5	4,063 m ²
⑭	大田町 4 丁目火災	7	1,050 m ²
⑮	大田中学校北火災	51	4,557 m ²
⑯	大田中学校南火災	97	7,929 m ²
⑰	千歳町 4 丁目火災	3	1,592 m ²

2.3 計算条件

2.3.1 建物条件

計算に必要な建物形状に関する情報は、平成 2 年に発行された都市計画図（縮尺 2500 分の 1）から読み取った。都市計画図では、普通建物、堅牢建物、無壁舎の 3 種類に建物が分類されている。このうち、堅牢建物については、3 階建て以上の場合に階数の記載があったのでそれを採用し、それ以外は全て 2 階建てとした。ただし、いずれの種別についても各階の占有空間を 1 つの検査体積とみなした。建物高さに関しても、ここでは普通建物と無壁舎の階高を 3m、堅牢建物の階高を 4m と一律に設定した。開口形状については、次のように壁面積に対する開口部の面積比率 r_D を与えることとした。

$$r_D = \begin{cases} 0.3(L/L_0) & (L \leq L_0) \\ 0.3 & (L > L_0) \end{cases} \quad (3)$$

L は当該壁面と最も近接する壁面との距離、 L_0 は基準距離であり、ここでは5mとした。各建物の燃焼・熱伝達特性については、建物種別ごとに設定し、普通建物と無壁舎が防火木造建物、堅牢建物が耐火造建物とそれぞれ同程度の火災安全性能を有しているものと仮定した。

次に、地震動による建物構造被害レベルの振り分けについてであるが、データ入力に関しては、平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書[4]付属のCD-ROMに収録されている神戸大学のシステムによる建築物被災度集計結果を利用した。CD-ROMには神戸市内の町丁目ごとに低層・中高層・無壁・未調査の建物の全壊棟数・半壊棟数・一部損壊棟数・全焼棟数・無被害棟数・未調査棟数が入力されており、ここからリスク計算範囲内の町丁目のデータを取り出した。これらのデータから全壊率・半壊率・軽微被害率・無被害率が求められるが、本研究で用いるモデルの建物被害レベルの分類は、被害なし・軽微、小破、中破、大破、倒壊の5段階であるため、全壊率を2等分した割合を倒壊率および大破率、半壊率を中破率、軽微被害率を小破率として定義し、その数値を町丁目ごとの建物被害レベルとして入力した。ただし、火災被害によって建物が焼失した地区においてはこの計算方法では焼失を免れた建物の割合のみに影響を受けるため、町丁目内の火災による損傷建築物の全建築物に対する割合が5割以上の地区については、その丁目が属する町目全体の平均をその丁目の被害率として設定した。

2.3.2 出火・気象条件

出火条件に関しては、1回の試行につき1出火点および出火時刻をランダムに与えることとした。また気象条件は外気温と風向・風速を考慮することとし、拡張アメダスの標準年気象データを用いて、ランダムに選定した出火時刻にあわせて入力条件を発生させることとした。

2.4 計算結果と考察

モンテカルロシミュレーションによる火災リスクの計算結果を、図2に示す。町丁目の範囲で分析すれば、出火数の偏りが大きくなると考えられることから、評価範囲を町目80地区として評価・考察を行った。

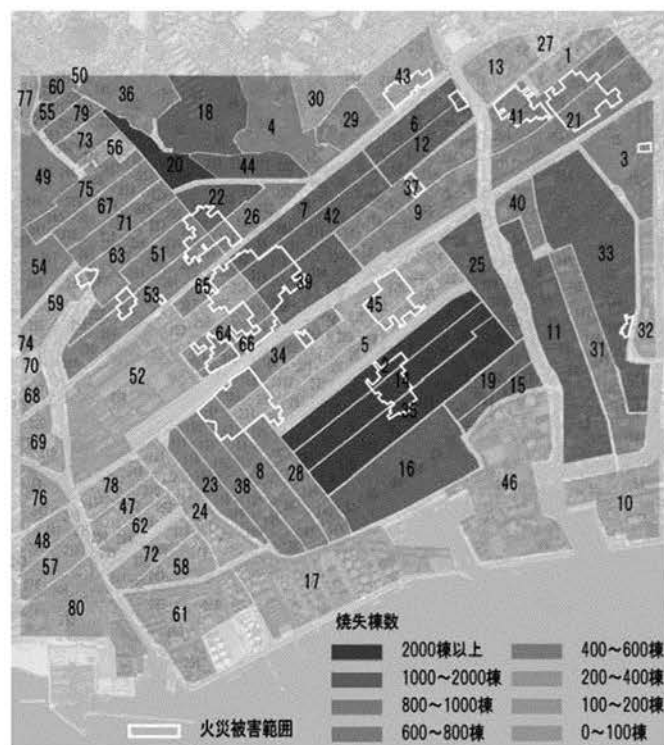


図-2 神戸市長田区周辺地域の火災リスク[2]

図2を見ると、焼失棟数が1,000を超える地域が18町目算出されている。阪神・淡路大震災において、計算範囲内で発生した最大の焼失面積を記録した火災は1,164棟を焼損した水笠公園周辺火災であるが、リスク評価の結果とほぼ一致している。しかしながら、消火活動等を考慮しなかった場合、同程度あるいはそれ以上の規模の市街地火災が発生した可能性が十分にあったといえる。

特に焼失棟数が大きいと算出された地域は、長田区腕塚町(図2中の2、以下町目番号を括弧書きで町目名の後ろにつける)、久保町(14)、庄山町(20)、二葉町(35)であった。庄山町を除く3町目の範囲では、震災時に神戸デパート南火災が発生しているが、延焼防止活動によって鎮圧されている。この効果的な活動がなければ、2,000棟を超える延焼被害を出した可能性があったということがいえる。特にこの地域は、木造の民家が集中していることもあり、南の駒ヶ林町を含め、多大な被害が発生してもおかしくなかった。庄山町については、計算上、内部で発生した火災が、北部や東部に延焼し焼失棟数を伸ばしていったと考えられる。北部の範囲が途中で切れているため、北部のデータを補完した場合さらに焼失棟数が伸びた可能性がある。ところで、庄山町付近は山間部に近い場所である

ため、揺れによる被害の差が、倒壊率が低く計算されている地域である。それにも関わらず、ひとたび火災が発生すれば多大な焼失棟数を数えたことになる。震災時には庄山町付近での大規模火災は発生していないが、火災リスクが高いこの地域で火災が発生しなかったことは幸いだったといえる。

範囲北東部、及び、南西部は河川や、高速神戸西宮線・JR山陽本線に囲まれていることもあり、ある程度閉じた領域内で延焼を完了していること、さらに南西部においては戦後の区画整理や、学校や公共施設への敷地の利用率が高いことから、焼失棟数が小さめに算出されていると考えられる。

火災リスクが全体的に見て小さめに算出された範囲においても、その焼失棟数は大きく、木造密集市街地であるこの地域全体が高い延焼リスクを持っていることが今回のシミュレーションを通して評価できた。しかしながら、今回1,400回のモンテカルロシミュレーションで全ての地区・建物において均等に出火点を与えられたわけではない。今後モンテカルロシミュレーションの数をより多く行い、結果を安定させていくことが必要である。

3. まとめ

本研究では、地震による建物構造被害を考慮した延焼モデルを用いることで、市街地に対するリスク評価を震災時の実状に近い形で行い、さらに、阪神・淡路大震災によって多くの建物被害と延焼火災による被害を受けた当時の神戸市長田区周辺地域の市街地を評価、その結果を実際に起こった市街地火災と比較した。その中で、条件の違いによってはより大きな延焼被害が生じていたと考えられること、倒壊率の低く設定された地域内で発生した火災でも市街地構造・属性によっては多大な焼失棟数を算出したこと、火災リスクが全体的に見て小さめに算出されている範囲においてもその焼失棟数は大きく、木造密集市街地である地域全体が高い延焼リスクを持っていることが定量的に評価できた。

参考文献

- [1] 樋本圭佑・向坊恭介・秋元康男・黒田良・北後明彦・田中孝義：地震動による建物構造被害と火災加熱による損傷の進行を考慮した地震火災延焼性状予測モデル，2010（日本建築学会論文集投稿中）
- [2] 国土交通省 国土画像情報（カラー空中写真），国土情報ウェブマッピングシステム
<http://w3land.mlit.go.jp/WebGIS/>
- [3] 清水健太：震災時の市街地火災における消防水利システムに関する研究－阪神・淡路大震災時の大規模火災を教訓として－，2003
- [4] 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書 第I編 中間報告書以降の調査分析結果，1996

著者：1）黒田良，神戸大学工学研究科，大学院生；2）北後明彦，都市安全研究センター，教授；3）樋本圭佑，京都大学次世代開拓研究ユニット，助教；4）田中孝義，京都大学防災研究所，教授；5）秋元康男，三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社

A Study on Evaluation Method for Fire-Spread Risk in Densely Built-up Urban Areas:
A Case Study in Nagata Ward in Kobe City before the Hanshin Awaji Great Earthquake

Ryo KURODA
Akihiko HOKUGO
Keisuke HIMOTO
Takeyoshi TANAKA
Yasuo AKIMOTO

Abstract: In the Hanshin Awaji Great Earthquake in 1995, approximately 300 fires broke out and over 7,500 buildings were destroyed with over 500 dead by fire. Such damage was concentrated in urban areas with densely-built wooden buildings. Many densely-built urban areas are still seen throughout Japan and it is predicted that inland local earthquakes in urban areas or plate-type earthquakes in the Tonankai or Nankai regions, which can cause damage as severe as or more severe than the Hanshin Awaji Great Earthquake, will occur. It is, therefore, extremely important to have measures against a catastrophic fire which may break out after an earthquake. To plan such a measure for a densely-built area, it is necessary to estimate the damage by fires and to have a method to quantitatively assess the effectivity of the measure. A calculation model to simulate fire spread in urban areas through time is called a fire-spread model and it has been developed in various ways. There have been, however, only a few models developed for post-earthquake fires of especially high risk of spreading, reflecting the influence of buildings damaged in the seismic motion on the condition of fire spread. Also fire spread does not appear to have been sufficiently assessed by one of the existing models. In this study, therefore, the primary purpose is to assess the post-earthquake risks in an urban area in a more realistic situation by using a fire-spread model which takes damaged buildings into consideration. The second purpose is, in relation with the primary purpose, to evaluate the fires that actually broke out in Kobe city where many buildings were damaged and fire spread caused serious damage at the time of Hanshin Awaji Great Earthquake, in order to compare the assessed risk with the evaluation, then to improve the accuracy of the assessment in evaluating the risk.

Fire situations can vary according to various factors such as weather and outbreak conditions. So in this study, based on the risk concept, conditions of fire outbreak, quake-damaged buildings and weather are set as uncertain parameters, then the final expected loss value (number of buildings lost in fire spread, etc.), that is the fire risk, is evaluated by multiple predictive calculations. In the assessment, as mentioned before, the data compiled from the area in and around Nagata-ward in 1995, during the post-Hanshin Awaji Earthquake period were used. Then the vulnerability of the Nagata area was evaluated based on the risk assessment and its comparison with the actual range of fires after the Hanshin-Awaji Great Earthquake. The simulation results indicated that the damage by fire spread could have been even greater if the conditions had been different, that even in a simulation set in an area with a low rate of building damage, the calculation resulted in a huge number of burnt buildings depending on the structure and attributes of the town, and that even in an area with fairly low-risk factors calculated as a whole, the number of burnt buildings was great. The simulation enabled us to quantitatively evaluate the areas crowded with wooden buildings to see if they are at high fire-spread risk as a whole.

Keywords: densely-built urban area, fire-spread model, fire-spread risk, disaster reduction performance