

シミュレーション手法による地震時の火災被害 および人的被害予測システム —(1)シミュレーションモデルの開発—

1. はじめに
2. 出火・延焼・広域避難モデルの構築
3. 適用例—千葉県市川市—
4. まとめ

小坂俊吉*

要 約

本研究の目的は、地震火災による建物被害や人的被害の予測システムの開発である。本論の前半は、火災の発生を確率的に取り扱う出火モデル、既往の研究成果を取り入れ楕円関数で表現した延焼モデルおよび関東大震災の東京下町の群集避難から求めた広域避難モデルについて概説し、後半は実市街地に適用して、その有用性の一端を示している。

1. はじめに

日本の都市構造の特徴の一つに高密度な木造建物市街地が挙げられる。このような都市にあっては、地震直後に火災が多発すると大被害を被る可能性は高く、人命の確保や避難誘導といった広域避難に関する応急対策が企画立案されなければならない。この応急対策を策定するためには、火災に囲まれ逃げ場を失い、やがて焼死する人数や避難路における群集の混雑程度の推定が基礎資料となることは言うまでもない。これらの推定には、火災の出火点数や出火位置の不確実性とともに対象地域が広領域になることを考えれば、コンピューター支援の火災・広域避難シミュレーション手法を用いた被害推定が有効な一手法である。

行政が火災・広域避難シミュレーション手法を

用いて人的被害予測をおこなったものとして、これまでに国土庁¹⁾・東京都²⁾による被害報告がある。だが、これらの方法に二つの課題が残されている。第一に、地域の平均的延焼性状による人的被害が求められているにもかかわらず、特定の火災延焼パターンによる人的被害が算定されているにすぎない。第二に、入力データの作成に多額の調査費用を要するため、数百万規模の都市でしか実施されておらず、それ以下の都市規模では地震大火が危惧されているにもかかわらず、予算上の制約から人的被害算定の実施は困難である。

本研究の目的は、上述の課題を達成する新たな火災・広域避難シミュレーション手法を開発することにある。具体的には、1)火災の平均的延焼性状による人的被害を捉えるために、出火モデルは出火現象を確率的に取り扱えること、2)入力データは行政がこれまで蓄積してきたデータを活用す

*東京都立大学工学部

ること、3)パソコンを利用して操作を簡便にすること、ができる手法の開発である。

本論は、出火確率を考慮した出火モデル、既往の災害事例研究を拡張した延焼モデル、関東大震災の住民行動から求めた広域避難モデルについて述べ、これらのモデルを内包するシミュレーション手法を実市街地に適用して、その有用性の一端を示したものである。

2. 出火・延焼・広域避難モデルの構築

2. 1 出火モデル

出火現象は多くの変動要因から構成されているため、出火点を決定論的に表現することは難しい。ここでは、出火現象を確率的に取扱って出火点の位置を決定する方法を提案する。

火災はすべてメッシュの交点から発生するものとし、以下のように簡略化をおこなう。メッシュの相対的な出火危険を表す指標（出火危険値）を

仮定し、各メッシュ交点の出火危険は、その周辺4メッシュの出火危険の代表値（4メッシュの出火危険の平均値）として表現する。対象領域の出火危険の総和を出火確率1と置き換えれば、メッシュ交点にその出火危険に応じた出火確率が与えられる。出火点の位置は一様乱数を発生させるモンテカルロ法³⁾を用い、出火点数に応じて決定される。

2. 2 延焼モデル

風下・風側・風上の延焼速度は、風向・風速・木造建物の建て込みを示す市街地状況を考慮した濱田の延焼速度式⁴⁾を準用する。また延焼が拡大するとその形状は卵型になることから、風下側・風上側をそれぞれ楕円方程式で表現した延焼モデルを構築する。

延焼モデルはまず、風向・風速および市街地の延焼速度比・平均建蔽率・平均家屋幅のデータを用いて、出火モデルによって確定した出火メッシュ交点から周辺の8メッシュ交点への延焼時刻

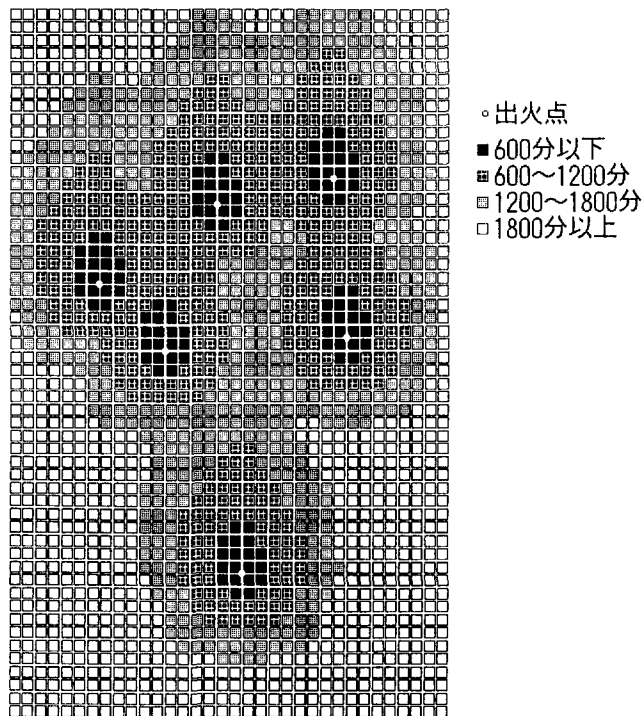


図1 延焼動態の一例

を算定する。以後、延焼したメッシュ交点から順次、同様な算定を行い、各メッシュ交点の延焼時刻を求める。このようにして得られたメッシュ交点の延焼時刻から、メッシュごとの燃えはじめる時刻（着火時刻）と焼失する時刻（焼失時刻）を求めていく。

延焼動態の一例を図1に示す。図は、建蔽率が50%である市街地に、6出火点・風速6 m・5°東より南風の条件を与えた場合である。10、20、30時間後の延焼範囲が示されている。

2. 3 広域避難行動モデル

広域避難行動モデルの入力データとして地形・人口・火災に関する情報を準備する。地形データとして、地形図から道路幅員・境界条件をメッシュごとに求める。境界条件は、周囲のメッシュと通行可能か否か、たとえば河川によって通行が分断されていれば通行不可となるような通行連続性を表現するものである。火災データは先述の延焼モデルの計算で求めた各メッシュの着火時刻と焼失時刻である。

地震火災時の広域避難行動モデル⁵⁾は、避難を開始する時期・避難方向・避難路上の歩行速度によって表現される。避難開始時期は、火災の接近によって広域避難を開始し、その開始人数(NPR)は時間に対して疑似的な正規分布形の分布（発生避難人口比）をとるものとする（図2）。人々は、最短距離にある避難場所へ最短経路を通過して避難する。すなわち、それぞれのメッシュの避難方向は、その時々の延焼動態と境界条件から最短距離にある避難場所へ向かうように決められる。これは、避難場所に最も近いメッシュから順次、避難場所へ向かうように方向を決定していくものである。避難歩行速度は図3のような群集密度の関数で表現する。

出力情報として各時刻の地点別焼死者数、避難場所に到達した避難完了人数や避難途上人数（避難をしている人数）の推移が得られる。

なお、プログラム言語は簡便な利用を考慮してMicrosoft Visual BasicのWindows版で作成する。

Rate of NPR (%)

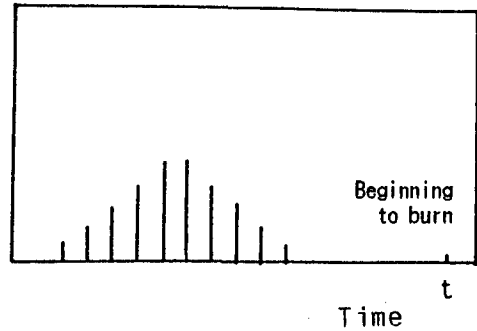
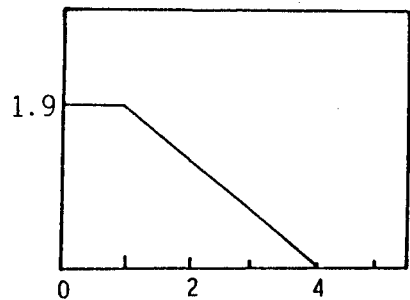


図2 避難開始人数の分布形

Walking speed (m/s)



Density of crowd (persons/m²)

図3 群集密度による歩行速度の表現

3. 適用例—千葉県市川市—

対象地域の市川市は江戸川を挟んで東京都と隣接し、南は東京湾に面する面積56.39 km²、人口およそ430,000人の都市である。

3. 1 入力データ

地形データは、市川市の一万分一地形図を一辺250 mの正方形メッシュで分割し、各メッシュに道路幅員・境界条件を付与する（図4）。また各メッシュの避難すべき人数として、市人口統計からメッシュ別人口を割り当てる（図5）。

気象条件は風速3 mの北風とし、出火点数は秋の夕食時を想定して83出火点とする。出火危険を表す指標は人口分布に比例すると仮定し、各メッ

シユの出火確率を算出する。延焼にかかわる市街地情報は、課税台帳から算出する。

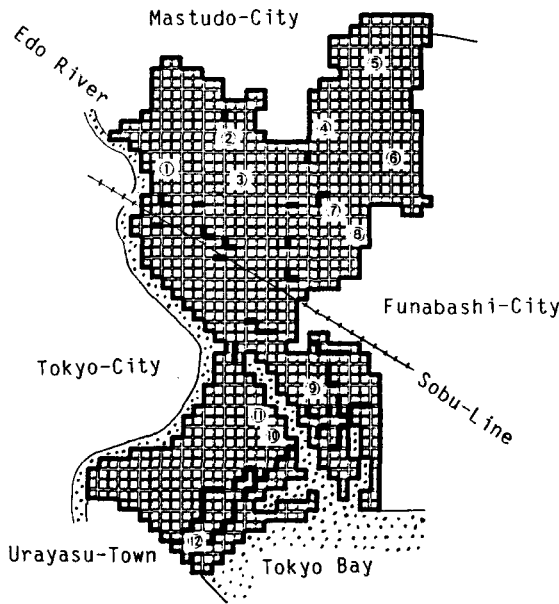


図4 対象地域および避難場所

避難行動は、関東大震災時の東京下町の行動パターン⁵⁾とする。広域避難場所として市内および市周辺にある20 ha以上の空地12箇所をあて、全ての居住者はいずれかの広域避難場所へ向かうものとする。火災が延焼拡大する状況における各地域の避難方向を図6に示す。

出火点の位置がランダムな出火延焼パターンを100通り作成し、それぞれの火災パターンによる避難状況を算定する。火災の延焼動態は分単位で求め、広域避難の計算は単位計算時間間隔を125 secとし、地震後10時間まで群集の挙動を追跡する。

3. 2 地域の焼失危険性

100個の火災パターンから火災被害の発生する確率(図7)を求める。

総武線沿線は古くからの東京の郊外型住宅地として発展してきたところであり、人口密度が高くしかも木造建物が比較的多い地域である。したがって、火災被害が顕著に発生する可能性が高い結果となっている。一方、江戸川に挟まれた南部

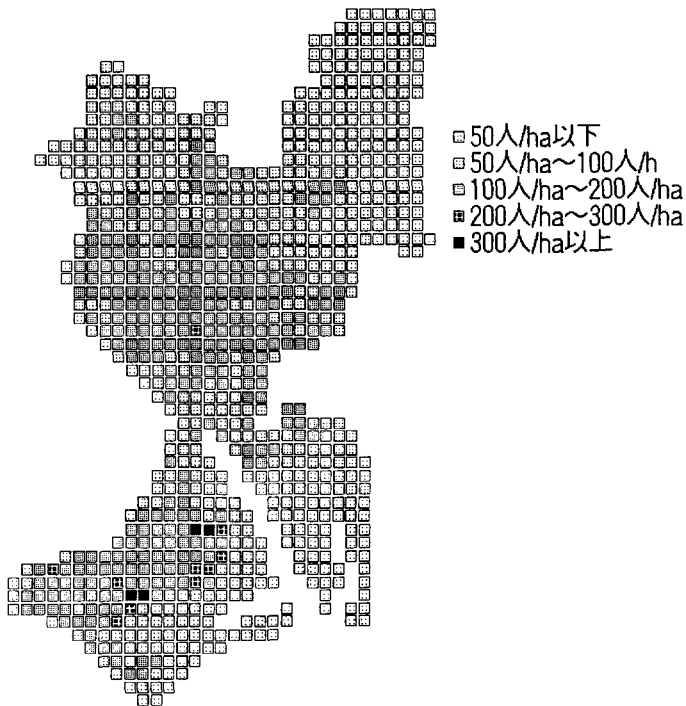


図5 人口密度分布

の地域は、同様に人口の密集している地域であるため火災発生の確率が高いが、近年の宅地開発による鉄筋コンクリート造集合住宅が多数存在し、

それによる延焼阻止効果が見られる。

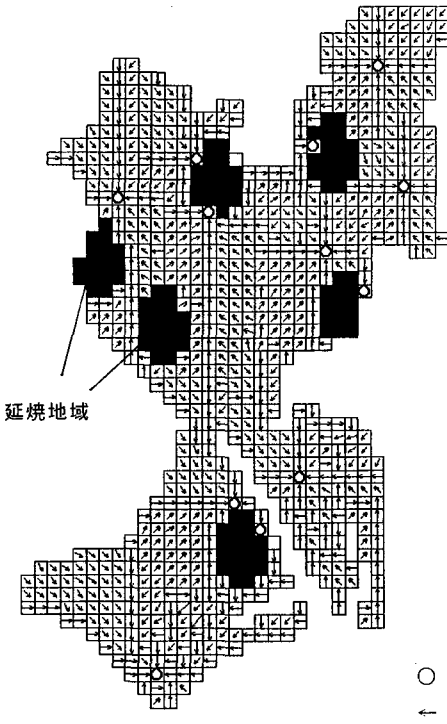


図6 延焼地域と避難方向

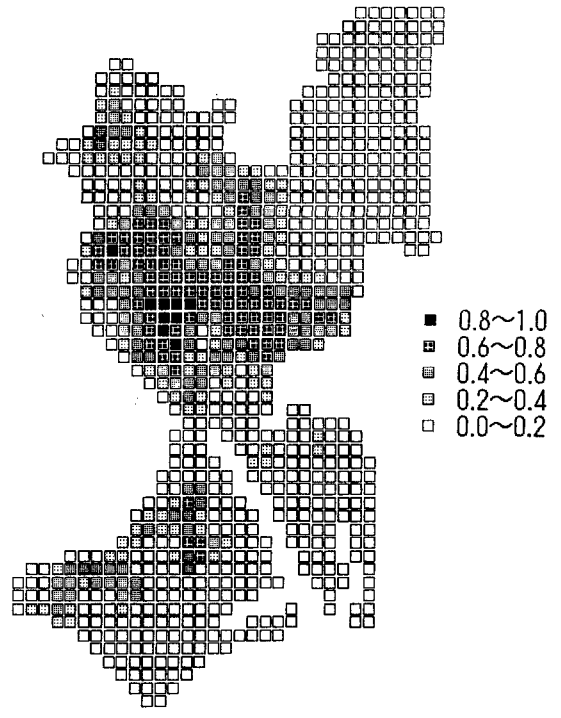


図7 火災による焼失確率

Completely taken refuge ($\times 10^4$ persons)

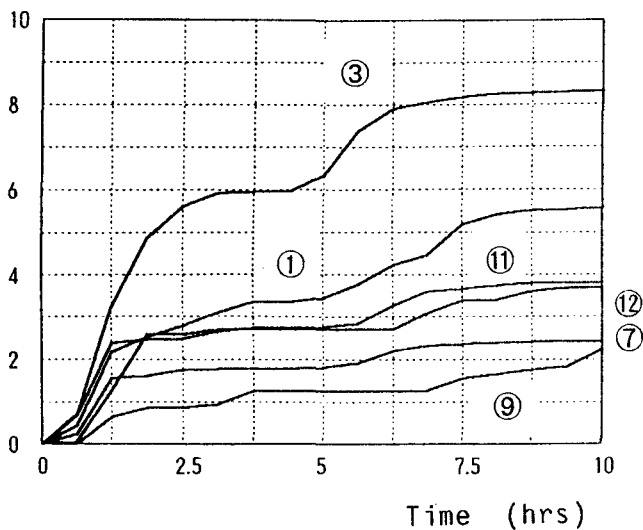


図8 広域避難場所への避難状況

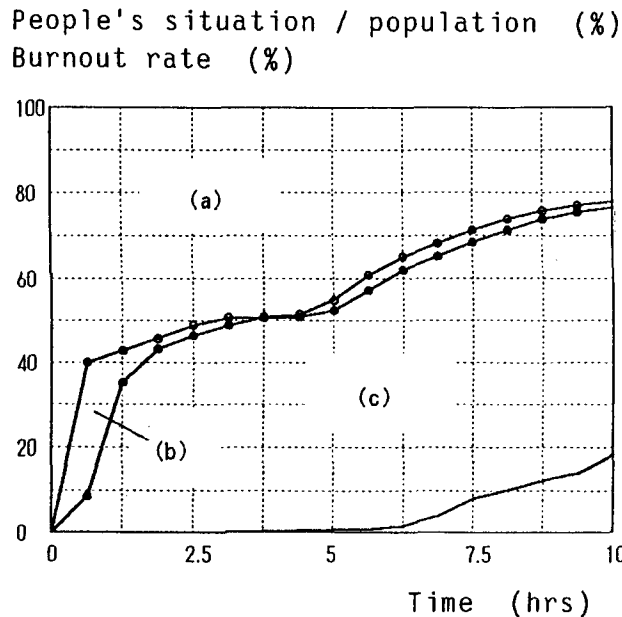


図9 平均的避難状況と焼失率の推移

3. 3 避難状況

ある火災パターンにおける広域避難場所への避難状況(図8)をみると、広域避難場所3、1、11、12、7、9の順に多数の住民が避難する。とくに広域避難場所3は、人口密度が比較的高く、しかも初期の焼失地域に近接するため、地震発生1時間前後には急激に避難群集が増加し、10時間後には約8万人の群集が避難する。ここへ至る避難経路の防火対策と避難警備対策の優先的検討が求められよう。

全ての火災パターンによる避難状況と焼失率(図9)の期待値を算出すると、避難途上人数の全人口比の推移は、地震発生後1時間過ぎには3割に達する。これは、避難警備上、最も注意しなければならない時間帯であることを示す。これらの避難に係わる人数の推移は、おもに出火点数に依存し、同一の出火点数であれば、いかなる火災パターンであってもそれほど大きな違いにならない。

3. 4 火災による推定死者数

火災に囲まれ逃げ遅れて生ずる死者は、地震後

7時間以降に発生することが多く、その死者数は10時間後までに最小234人、最大7027人、平均して1782人と推定される。最小の死者が発生する延焼パターン(図10-a)では、火災の延焼が市街地の中心部から外へひろがる様子が見てとれ、住民にとって避難場所への到達が用意であることが推察できる。一方、最大の死者が発生する延焼パターン(図10-b)では、大火災に囲まれる地域(図中のA・B)で大量死者が発生することが予想される。これらの10時間後の焼失率はともに20%前後とそれほど変わらず、死者発生数が火災パターンによって大きく変動することを可視化する。

火災による死者発生を未然に防ぐには、死者発生時期と避難状況(図9)からみて、遅くとも3~5時間までに避難勧告を火災の周辺住民に周知する必要があることを示唆している。

4. まとめ

メッシュ分割による地震時の火災・避難シミュレーション・モデルを提案し、この手法を実市街地に適用して、火災被害・人的被害の推定に有用な資料を提供できることを示した。この特徴は以

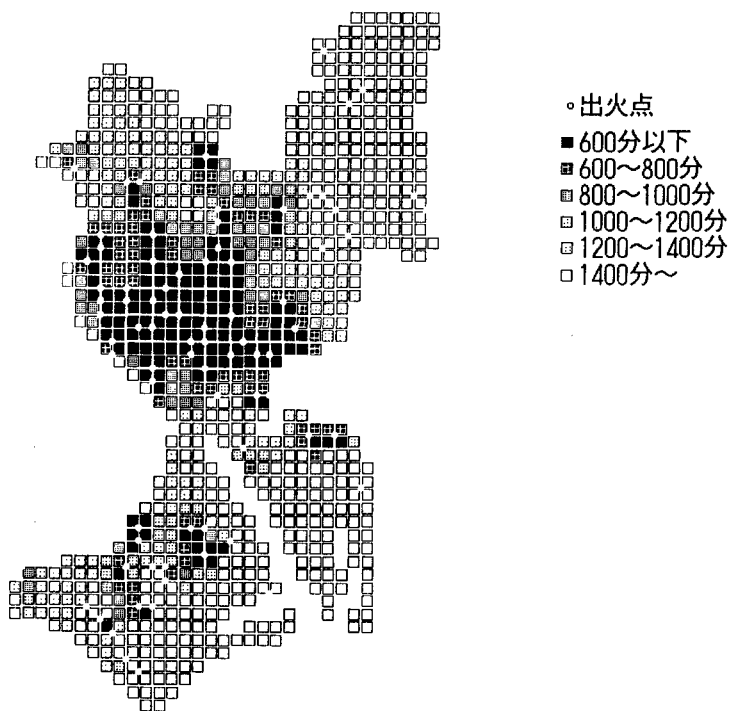


図10-a 発生死者数が最小である火災パターン

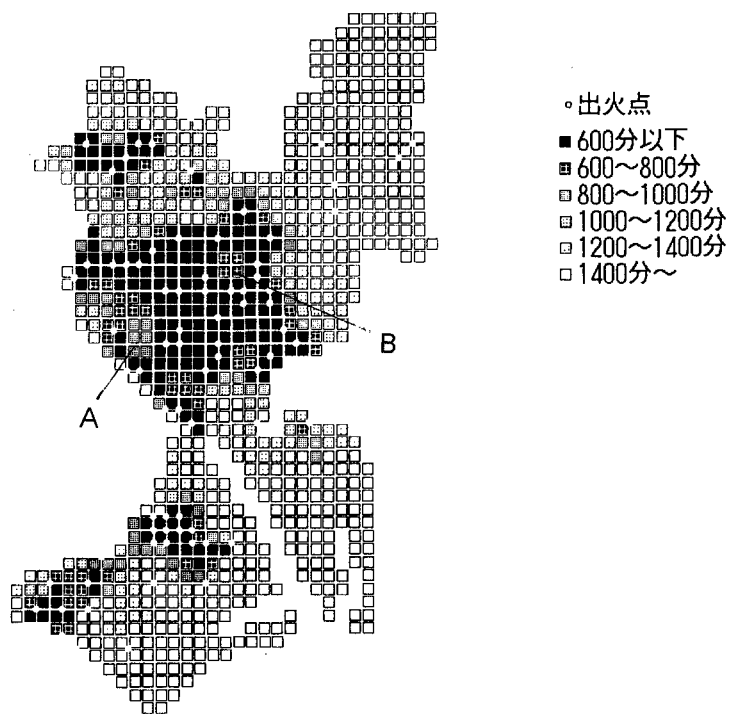


図10-b 発生死者数が最大である火災パターン

下の通りである。

- (1) 本手法は火災の出火現象を確率的に取り扱うため、地域の火災被害およびそれによる広域避難上で発生する人的被害を推定することができる。
- (2) 本手法はパソコンで簡便にデータ入力・操作することができ、入力データの大部分は既存の行政データベースの編集ですむ。つまり、数十万人程度の都市規模でも火災による建物被害と広域避難に係わる人的被害推定が可能になる。

本手法は、被害の発生過程を経時的に可視化する特徴をもつため、以下に記すような、緊急対応の資料を作成することができることは用意に推測できよう。

まず第一に、大群集が同時間帯に通過する可能性が高い橋梁地点や避難場所の入口付近では、群集の混乱（いわゆるパニック）による死傷者が発生する可能性があり、このような避難経路上での群集流動の粗密を本手法は把握することが可能である。

第二に、上記の算定結果から、被害が甚大となる火災パターンを取り出し、その場合の消火活動の優先順位の決定・避難道路の警備・誘導といっ

た応急対策を具体的にしかも事前に検討することが可能とする。

謝 辞

市川市の各種統計から作成する地域情報データベースは、東京大学工学部総合試験所の加藤孝明氏によるものであることを付記し感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 科学技術庁(1974)『大震時における総合的被害予測手法および災害要因摘出手法に関する総合研究(中間報告)』
- 2) 東京都防災懐疑(1991)『東京区部における地震被害の想定に関する報告書』
- 3) 宮武修・脇本和昌(1978)『乱数とモンテカルロ法』森北出版
- 4) 濱田稔(1951)『火災の延焼速度について、火災の研究』損害保険料率算定会編
- 5) 小坂俊吉・堀口孝男(1986)「広域避難シミュレーション手法による大地震火災時の群集行動解析」、『土木学会論文集』第365号

Key Words (キー・ワード)

Big Fires due to Earthquake (地震火災), Building Damage (建物被害),
Damage to Human Being (人的被害), Damage Prediction (被害予測)

Prediction System of Building Damage and Damage to Human Being due to Fires-Refuge Simulation Model on Earthquake Disaster :

(1) Development of Fires-Refuge Simulation Model

Shunkichi Kosaka*

*Faculty of Engineering, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No. 54, 1994, pp. 127—135

The objective of this study is to develop a simulation technique which can estimate the number of persons trapped and killed by big fires due to earthquakes. This technique is composed of three sub-models which are the fire break out sub-model which considers the occurrence probability of fires, the fire expansion sub-model which uses the elliptic equation and the wide area refuge sub-model which reproduces the actual state of past disasters. The first half of this paper explains the procedure of these sub-models, the latter half shows this technique as useful in application to Ichikawa city.