

地震火災危険分析システムの適用に関する研究*

A Study on The Application of The Fire Risk Analysis System under A Great Earthquake*

二神 透**, 和田 修司***

by Tohru FUTAGAMI, Shuji WADA

1. はじめに

地震大国であり、また、依然として木造住宅が密集する我が国における地震火災の危険性は、大きな脅威である。過去の事例より、地震規模が大きい場合、木造建物の倒壊等に起因する同時多発火災の危険性が指摘されている。さらに、倒壊建物による道路閉塞や、消火栓、消防水利の破損による消防力の低下や、強風等の悪条件が火災の延焼危険性を大きく助長している。この典型的な事例は、1923年の関東大震災に見られ、東京旧5区で130件の火災が発生し、60の合流火災となり、10万人が焼死した。戦後の都市直下型地震に着目すると、1948年の福井地震では、市内の建物の全壊率は80%に及び、2,000軒以上の建物が焼失した。また、1995年の阪神・淡路大震災では、風速が比較的小さかったにも関わらず、消防力の低下により、100件以上の同時炎上火災が発生し、7,000軒もの建物が焼失している。これらの事実は、大震時には、日本の都市が同時多発火災の危険性を依然として内在していることを強烈に示している。この同時多発火災の特徴は、上述したように出火点が複数であり、それらが木造密集市街地で発生すれば、火災が拡大して合流火災となり、消防力の対応を阻害すると同時に、避難路の確保が困難となるため、人的・物的被害を拡大する点にある。

これらの火災による被害を軽減するための対策としては、1) 大震時の出火を抑制する。2) 消防力により延焼火災を制圧する。3) 具体的な延焼被害

の算定と対応策の検討、の3つのフェーズによる総合的対策が有効であり、これらに関する研究は、従来より幅広く行われている。

1) について、水野らは、早くから過去の大地震の出火、建物被害等の調査報告等を整理し、出火の性質を明らかにし、地震時の出火回帰式を提案している¹⁾。しかし、近年、都市の多様化に伴い建物構造や、出火源の様相も大きく変化しており、阪神・淡路大震災でも従来からは予想されない出火源も報告されている²⁾。2) について、保野らは、現状の消防力の基で、建物火災と有効消火注水量についての検討を行っている³⁾。3) について、種々の延焼速度式、シミュレーション・モデルが提案され被害想定に基づく対策が提案されている^{4),5)}。しかし、操作性、視覚性を具備したダイナミックなシミュレーション・システムを用いたアプローチはほとんど見られない。

本研究では、都市の耐火構造に着目し、例え同時多発による延焼火災が発生しても、ブロック内で延焼をくい止め、他のブロックへの拡大を阻止するブロック化計画を取り上げ⁶⁾、著者らが開発を行っている火災延焼シミュレーション・システムを基礎とした、地震火災危険分析システムの構成^{6),7),8)}と防災計画への適用についての検討を試みる。そのために、広域市街地の地震火災の危険性を視覚的に提示可能な火災延焼シミュレーション・システムを構成することを考える。具体的には、地震規模と地盤、建物の密集度を説明変数とする出火件数算定モデルを基礎とした、メッシュの出火点設定モデル⁶⁾を用いて、地震火災危険分析システムを構成する。ただし、大地震時の消防力については、阪神・淡路大震災事例でも見られたように十分には期待できないと仮定して考慮していない。つぎに、本システムを用いて、金沢市への適用を試み、地震火災に対する脆弱

* キーワーズ：防災計画、計画情報、シミュレーション

** 正会員、学博、愛媛大学工学部環境建設工学科

(〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番、

TEL089-927-9837、FAX089-927-9837)

*** 学生員、愛媛大学大学院理工学研究科土木海洋工学専攻

(同上)

な地域を検討し、河川・道路・緑地・鉄道等の都市の持つ地理的延焼阻害要因を分析する。そして、これらの結果に基づくブロック化計画を策定し、焼失面積を特性値として、火災延焼シミュレーション・システムによる計画の評価を試みるとともに、住民の防災意識が初期消火率の向上につながると仮定し、ブロック化と初期消火率の相互効果についても検討を行う。

2. 地震火災危険分析システムの構成

本研究では、図1に示す地震火災危険分析システムを構成した。このシステムの入力系としては、航空写真からのメッシュ・マップ作成システム、地震規模、地盤種別、木造建物数による出火地点の設定システム、初期消火率、風向・風速の設定システムがこれにあたり、出力系としては、地震火災危険提示システムがあたる。

まず、メッシュ・マップ作成システムについて説明する。基本的には、対象とする地域の航空写真を用いて、ドット・カウンター法により都市構造データとなるメッシュ・マップ・データを作成する。その際、メッシュ・マップの属性は、都市構造物の占有率に応じて、可燃メッシュ、耐火造メッシュ、緑地メッシュ、空地メッシュの4種類に分類する。可

燃メッシュについては、建ぺい率、建物種別の混成比等のデータを入力する。

一方、緑地メッシュについては、樹木高さや樹木密度のデータを入力する。この緑地メッシュは、緑地の構成（配置密度、緑地高さ）とダイナミックに延焼する火炎領域との物理的位置関係、輻射受熱量によって阻害要因または、可燃要因と評価が分かれる。本システムでは、緑地防火効果をモデル化し、シミュレーション・システムに拡張化して、それらの防火効果の有無をダイナミックに判定可能なシステムを構成している。

つぎに、出火地点の設定システムについて説明する。基本となる地震時出火炎上モデルは、地震の規模、地盤の種別、木造建物数をパラメータとしている。地震動の強さについては、地震の規模を想定すればよい。地盤の種別については、対象地域の地盤地図を基に、堅い地盤、中間の地盤、軟弱地盤の3種類に分類する。そして、これらのデータを都市構造メッシュ・マップと同様に、地盤メッシュ・データとして採取する。これらのパラメータを用いて、地震規模と地盤、建物の密集度を考慮した出火地点メッシュの算定が可能となる。

最後に、初期消火率の取り扱いについて述べる。初期消火率と震度の関係については、震度7以上では、24%弱であることが知られている⁴⁾。本研究では、初期消火率は、防災啓蒙の普及と消防力の整備によって向上すると仮定し、外生的に与えることとする。本地震火災危険分析システムの特徴は、上述したように、さまざまなシナリオを想定した延焼危険性を視覚的に提示可能である点である。また、マルチウィンドウを用いた計画支援型の情報システムを構築していることもあげられる。例えば、対象地域の航空写真や地盤図の表示、都市構造メッシュ・データの数値情報をシミュレーション画面と同時に提示可能な構成としている。これらの情報は、具体的なブロック化計画を策定する際に有用であり、また、基本計画の定量的な評価と迅速なフィードバックを可能とする。

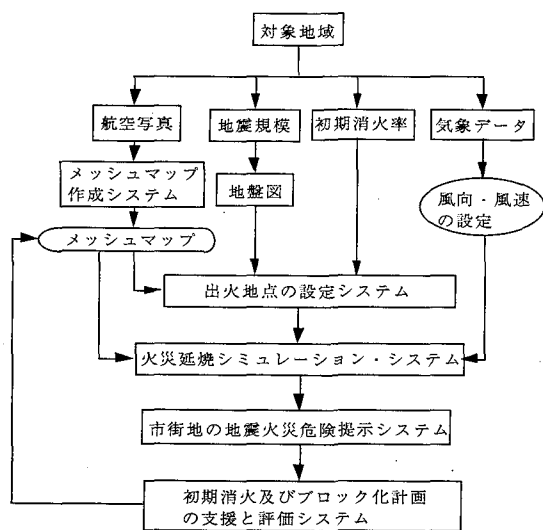


図1 地震火災危険分析システム

3. 金沢市への適用事例

(1) 金沢市の現況

金沢市は、日本海側に位置し1996年現在、人口458,000人の北陸地方の中核都市である。歴史的には、17世紀中頃に、城下町としての体裁が整い、現在でも細街路網の基本的な形の変化はない。既成市街地の地形は、卯辰山、小立野台地、寺町台地という3つの丘陵・台地と浅野川、犀川の2つの河川による起伏ある構成が大きな特徴である。これらの地形が、起伏に富む金沢固有の市街地環境と、水と緑豊かな景観を形成している。

金沢市は、1968年4月に、「金沢市伝統環境保存条例」を制定した。これは歴史的景観を持つ市町村が制定した独自の保存条例としては初めてのものである。1989年には、市民参加、総合的かつ計画的な景観づくりを目的として、「金沢市伝統環境保存条例」を継承・発展させた「都市環境条例」を制定し、新たに「近代的都市景観創出区域」を指定している。

金沢市の人口は、1970～1995年の25年間で362,000人から454,000人と、1.25倍に増えている。1975～1980年の年間増加率は、1.7%を記録しているが、1990～1995年の年間増加率は、0.5%と低い値となっている。一方、図2のDID面積の推移を見ると、1970年から25年間で25km²から56km²と2倍強も増加している。近年の傾向は、DIDの1990～1995年の伸び率が1.6%と比較的高い数値を示している。図3に、金沢都市圏のDIDの分布の面的推移を示す。この図より、金沢市では、年々DID地区が大きく増加しており、都心部を中心にして特に西・南部方面に増加していることが分かる。ちなみに、

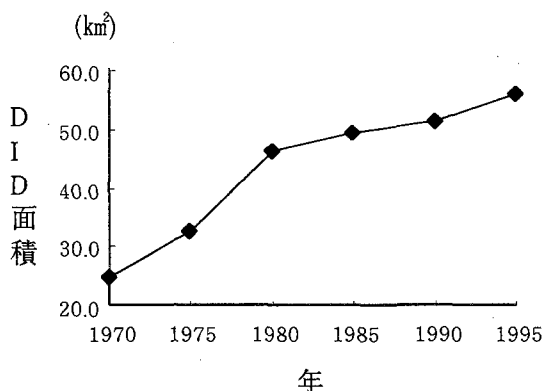


図2 金沢市におけるDID面積の推移

これらの地域は、沖積層の地盤の弱い地域であり、地震時には家屋の倒壊危険性が高いと予測される。

(2) 金沢市の地震火災分析

まず、対象地域となる金沢市のメッシュ・マップを作成する。そこで、金沢市中心部の航空写真上に4km四方を対象として、単位メッシュ長を50mとした80×80のメッシュを掛ける。そして、ドット・カウンター法により、メッシュ内の構造物の占有率を判定し、図1のサブシステムであるメッシュ・マップ作成システムを用いて当該地域のメッシュ・マップを作成する。

図4に、一連の手順によって作成された都市構造メッシュ・マップを示す。この図より、犀川・浅野川周辺に市街地が広がっていること、それらの西側は、比較的オープン・スペースの占有率が高いことが分かる。しかし、図3の金沢市のDID分布の推移で述べたように、これらの地域は人口増加傾向が見られ、将来的には建物が密集し、地震火災危険性が高くなると予測される。つぎに、地盤メッシュ・マップを作成するために、石川県の作成した地盤地図を使用して、地盤の強さを、堅い岩盤、中間の地盤、軟弱地盤の3種類に分類した。これらのデータを基に、図5に示す地盤メッシュ・マップを作成した。

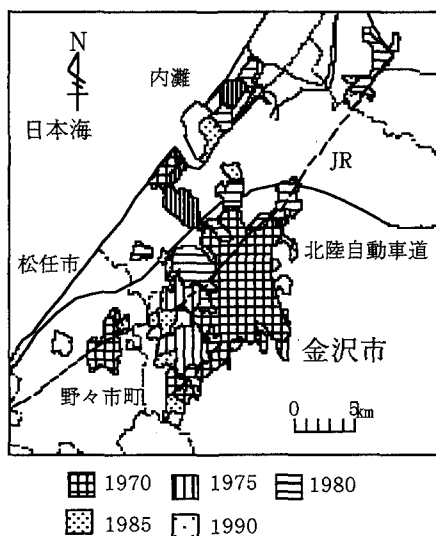


図3 金沢市におけるDID分布の推移

この地盤メッシュ・マップと図4の都市構造メッシュ・マップを比較すると、市街地中心部は中間あるいは、硬い地盤の上に立地しており、メッシュ・マップの南側の寺町から西側の増泉の地盤も比較的良好いことが分かる。一方、鉄道を挟んだ市街地西部の地盤や、浅野川、犀川沿いの地盤は軟弱であることが分かる。

気象データである風向・風速については、1995年の金沢地方気象台の統計データ⁹⁾を使用し、風向は、卓越する南西の風を設定した。風速については、日本海側特有のフェーン現象に代表される強風時を想定して10m/sを与える。そして、本適用事例では、地震規模を1948年に発生した福井地震のマグニチュード7.3を想定した。

出火点は、出火点設定システムによって、地震規模、地盤と木造建物の密集度をパラメータとして確率的に与えられるため、シミュレーションを実施するたびに、出火点の発生場所は異なる。そこで、一応、単位時間を5分とする100回の繰り返し実験を実施し、180分後の焼失面積を特性値とした。この一連のシミュレーション結果を分析した結果、最大焼失面積は135.5haとなり、この場合の出火点数は7箇所であった。それらの出火点箇所と地盤メッシュ・マップを対応させると、沖積層が2箇所、中間の地盤が4箇所、硬い地盤が1箇所となってい

る。地理的には、住宅が密集している犀川付近で4箇所、台地で2箇所、浅野川近辺で1箇所発生している。

図6、7に、シミュレーション実験の結果、最大焼失面積となった30分後、180分後のアウトプット・マップをそれぞれ示す。図6より、犀川周辺の木造密集市街地から複数の出火点が発生していることが分かる。これらの出火点は、30分後には南西の風方向にある程度の規模を持ち延焼拡大し、合流火災の様相を呈していることが分かる。図7の180分後のシミュレーション結果を見ると、これらの同時多発火災は合流し、4つの大規模な市街地火災になっていることが分かる。そして、このまま延焼が進行すると、これらの火災はさらに合流し、市街地の殆どが焼失することが予想される。ここで、実施した100回のシミュレーション実験結果の平均焼失面積を分析すると、180分後の平均焼失面積は36.9haとなり、平均出火点数は2.5箇所となった。出火点数は異なるが、昭和51年の山形県酒田大火と焼失面積を比較すると、酒田大火の焼失面積が、22.5haであることを考えると、かなりの規模の火災であることが推測されよう。

(3) 金沢市のブロック化計画と評価

本節では(2)の金沢市の地震火災危険分析に基

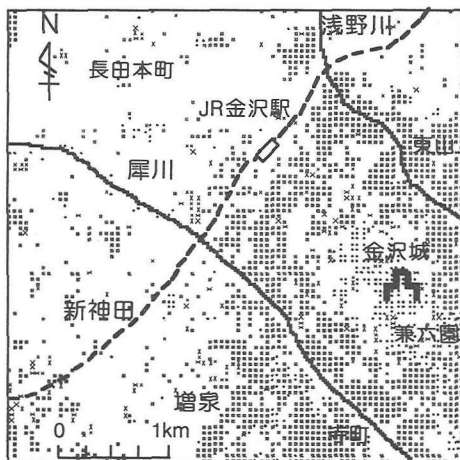


図4 都市構造メッシュ・マップ

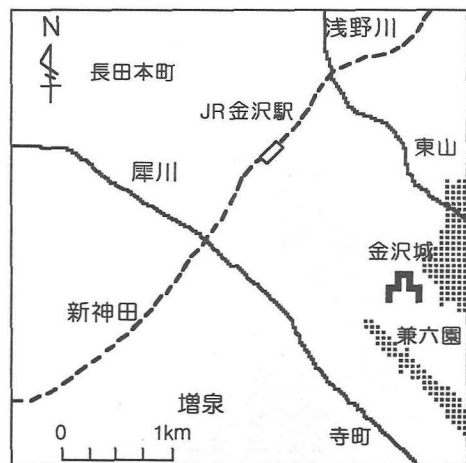
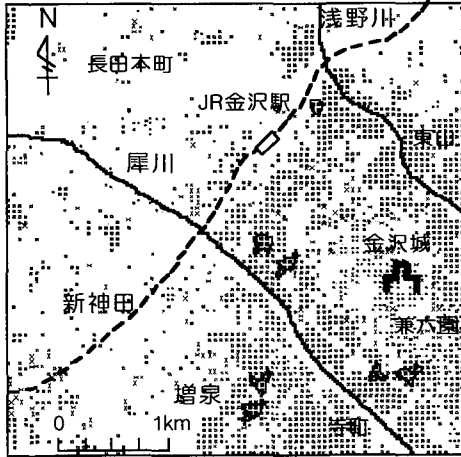


図5 地盤メッシュ・マップ

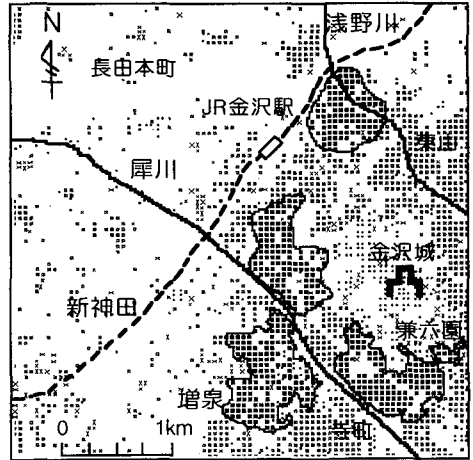
づいて、延焼阻害要因となる河川・鉄道・空地・緑地等を有機的に組み合わせることによる戦略的な市街地のブロック計画とその評価を試みる。そのために、シミュレーション実験結果を基に延焼拡大危険性の大きな箇所や火災が合流する箇所を詳細分析した。その結果、鉄道、犀川は延焼遮断効果が認められたが、浅野川では、鉄道と交差する地域から南側に

に100m下がった地域から浅野川を越えて東山側への延焼危険性があることが明らかになった。また、シミュレーション結果より、犀川・浅野川と鉄道で囲まれる金沢城を中心とする旧市街地の延焼危険性が特に高く、浅野川から東山、犀川から寺町、増泉にかけても同様に延焼危険性が高いことが明らかになった。一方、河川・鉄道以外の延焼阻害要因であ



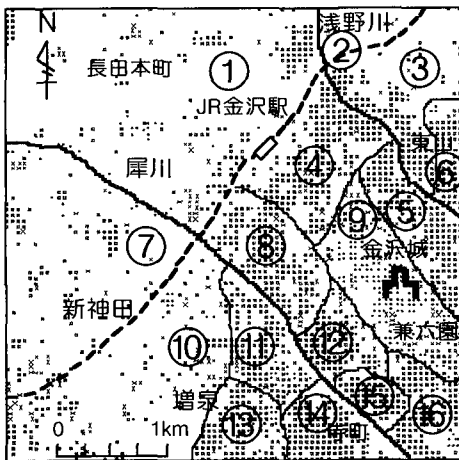
- 空地メッシュ
- ⊗ 耐火造メッシュ
- ▨ 可燃メッシュ
- 緑地メッシュ

図6 シミュレーション結果 (30分)



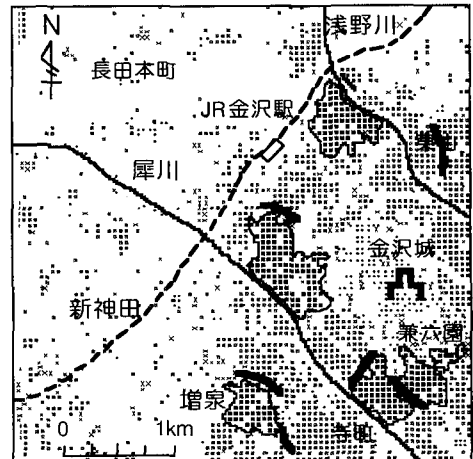
- 空地メッシュ
- ⊗ 耐火造メッシュ
- ▨ 可燃メッシュ
- 緑地メッシュ
- 焼失メッシュ

図7 シミュレーション結果 (180分)



- 空地メッシュ
- ⊗ 耐火造メッシュ
- ▨ 可燃メッシュ
- 緑地メッシュ

図8 ブロック化案



- 空地メッシュ
- ⊗ 耐火造メッシュ
- ▨ 可燃メッシュ
- 緑地メッシュ
- 焼失メッシュ
- ブロック化を行った箇所

図9 ブロック化の効果 (180分)

る空地・緑地によってブロック化されている地域も明らかになった。

以上の分析を基に、ブロック化の基本戦略を計画する。シミュレーション実験の結果、図8の、①、②、⑤、⑦、⑨、⑩の地域は、河川・鉄道・空地・緑地の阻害要因によってブロック化されていることが判明した。これら以外の地域については、航空写真や、都市構造メッシュ・マップの数値情報を表示し、隣接する都市構造物や地形に合わせて、道路幅員の拡大といったオープン・スペースや、耐火建物、緑地を配置させ、なるべく少ないメッシュ属性の変更で数多くのブロック化ができるように配慮した。その結果、図9の太線で示す箇所をブロック化対象として、全体で40メッシュ(10ha)の変更を行い、市街地を16のブロックに分割した。その内訳は、オープン・スペースが、15メッシュ(3.75ha)、耐火建物13メッシュ(3.25ha)、緑地が12メッシュ(3.0ha)である。なお、新たに配置した緑地メッシュの構成は、高さ6mの常緑広葉樹を密度60%で想定した。

つぎに、本ブロック化計画の効果を定量的に把握・検討するために、まず最大の焼失面積を与えたケースの出火点を想定して、シミュレーション実験を行った。その結果を図9に示す。図9より、ブロック後のシミュレーション結果を見ると、耐火建物、オープン・スペースによって、基本戦略によってブロック化された部分で焼け止まっていることが分かる。また、緑地メッシュに着目すると、詳細分析より、配置した緑地メッシュの全てが延焼阻害要因としての効果が認められた。これについては、本適用事例で用いた単位メッシュサイズが50mと大きいため、想定した50m四方の緑地は、このような大火でも十分に延焼阻害効果があると言える。しかし、実際、このような規模の緑地を市街地に多く配置することは困難であるため、緑地については詳細なメッシュ・データを用いて分析・検討する必要がある。このブロック化案の効果を具体的に見るため、図10にブロック化前後の焼失面積の推移を比較した。この図より、本ブロック化案では、焼失面積が時間の経過とともに大幅に減少しており、180分後では、135.5haから89.8haと約33.7%も減少していることが分かる。以上は、最も危険なシナリ

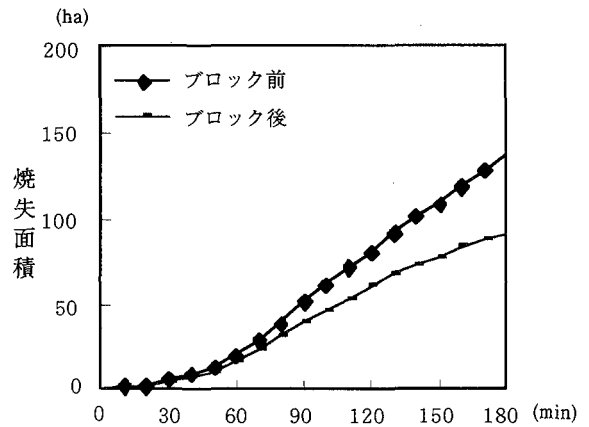


図10 焼失面積の比較

オを想定した場合の分析である。つぎに、本ブロック化案の効果の評価指標として平均焼失面積の比較を行った。その結果、180分後の平均焼失面積は、36.9haから16.6haと約55%も減少することが分かった。

今回の事例では、複数の代替案が想定されるブロック化計画案の一つについて、焼失面積を特性値とする分析・評価を行ったが、今後、計画のコスト制約など実行可能性の観点から複数の代替案についても評価・検討する必要があるだろう。

(4) 地震時における初期消火の効果分析

地震時の初期消火率は、地震の規模に因るものが大きい。住民の防災意識の向上や消防力の増強により、今後、初期消火率が大きく改善されると考えられる。本節では、初期消火力とブロック化の2つの戦略を組み合わせることによる都市の耐火性への効果について分析を試みる。まず、ブロック化の前後と初期消火率を10%、20%と変化させ、特性値を同じく180分の焼失面積とするシミュレーション実験を100回実行し、それらの平均焼失面積を算定した。それらの結果を、表1、2にまとめる。

まず、表1よりブロック化前では、消火率10%で平均焼失面積が36.9haから、31.2haと約15%減少し、消火率20%では、約23%も減少することが分かる。これより、消火率の向上に伴い、都市の耐火性は大きく向上する。一方、表2よりブロック化と初期消火率による焼失面積の相乗減少率の差に着目

表1 初期消火率と焼失面積
の関係（ブロック前）

消火率	平均焼失面積	減少率
0%	36.9ha	—
10%	31.2ha	15.4%
20%	28.6ha	22.5%

表2 初期消火率と焼失面積
の関係（ブロック後）

消火率	平均焼失面積	相乗減少率
0%	16.6ha	55.5%
10%	14.6ha	60.9%
20%	14.1ha	62.3%

すると、初期消火率10%では5.4%、20%では6.8%となっている。これらの数値は、ブロック前の初期消火率による減少率と比較すると、相対的に小さい値となっている。この理由としては、ブロック化前の市街地は、連続可燃領域が広範であるため、消火率の向上（出火点の減少）が延焼の拡大に大きく寄与する。一方、ブロック化後では、出火点が減少しても、ブロック内の延焼に留まるため、想定した消火率では大きな焼失面積の差となって表れてこない。このことは、逆に言えば、本事例で想定したブロック化の有効性がある程度示唆していると言える。

これらの結果より、少なくとも都市のブロック化と初期消火率の戦略を組み合わせることが、都市の耐火性の向上に寄与することを示唆することができた。すなわち、都市の耐火性を高めるためには、ブロック化地域レベルで具体的な地震火災対策を考えることが有効であると言える。ただし、本ブロック化案は、都市の耐火構造のみに着目しており、コスト制約や都市計画的な観点については考慮していない。今後、ブロック化計画の実行性を考える上で、これらの観点からの評価法についても検討を行う必要がある。

4. おわりに

本研究では、まず地震火災の危険性をできるだけ具体的に提示するために、地震規模、地盤特性、木

造建物の密集度を考慮した出火炎上モデルを基に、地震火災危険分析システムを構成した。そして、緑地、オープン・スペースといった延焼阻害効果モデルをシミュレーション・システムに拡張化し、都市のブロック化計画支援システムを構成した。そして、本システムを金沢市に適用した結果、地震火災の延焼拡大の危険性を時間の経過に従ってダイナミックかつ視覚的に提示できることや、ブロック化計画の策定・評価のフィードバックが容易に実行可能であることを提示することができた。最後に、初期消火力を考慮したシミュレーション実験を実施した結果、都市のブロック化と初期消火率を高めることが、都市の耐火性の向上に大きく寄与することを示唆することができた。

今後の課題としては、小規模な公園や緑地、オープン・スペースの配置といった詳細なブロック化を支援するシステムの開発を行う必要がある。そのためには、GISによるデジタル地図情報を用いたミクロ・シミュレーションへのシステムの拡張化が考えられる。また、GISを用いてシミュレーションの入力系である、都市構造データ、および地盤データの自動採取化を行い、情報の効率化・精緻化を計りたいと考えている。以上は、データ入出力系の課題であるが、多様化する出火点設定モデルや、今後増強が期待できる消防力モデル、混成市街地における延焼速度式モデルの整合性についても今後検討したいと考えている。

〈参考文献〉

- 1) 水野弘之、堀内三郎：地震時の出火率と住家全壊率の関係について、日本建築学会論文報告集、247, pp.101-110, 1976.
- 2) 平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）、建設省建築研究所、1995.
- 3) 難波義郎・保野健治郎・西谷忠彦・松岡秀男：地震時火災を考慮した消防計画、土木学会第51回年次学術講演会、pp.106-107, 1997.
- 4) 日本火災学会編：火災便覧、共立出版、1997.
- 5) C.Scawthorn、山田善一、家村浩和、小林正美：都市における地震火災危険度の予測に関する研究、日本建築学会論文報告集、313, pp.138-144, 1982.

- 6) 木俣 昇、二神 透：広域火災シミュレーション・システムによる地震火災危険の分析、土木学会電算機利用に関するシンポジウム [査読] 論文集 13, pp.131-138, 1988.
- 7) 二神 透、木俣 昇：防災緑地網整備計画のための火災延焼シミュレーション・システムの拡張化に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集、No.12, pp.151-158, 1995.
- 8) 二神 透、木俣 昇：シミュレーションによる地震時市街地火災の延焼阻害要因の分析、第1回都市直下型地震災害総合シンポジウム論文集、pp.261-264, 1996.
- 9) 金沢市統計書：金沢市都市政策部情報統計課編、1996.

地震火災危険分析システムの適用に関する研究

二神 透, 和田 修司

本研究では、地震時の同時多発火災に対する都市防災計画を推進するために、できるだけ具体的に地震火災の危険性を提示可能とするシミュレーション・システムの開発を行った。本システムを金沢市へ適用した結果、大規模地震時の同時多発火災の危険性を、時間の経過とともに、ダイナミックに提示することができた。この結果を踏まえて、耐火建物や緑地、オープン・スペースなどを有機的に構成し、延焼の拡大を阻害するブロック化計画を提案し、計画の有効性を視覚的かつ定量的に示した。さらに、ブロック化と初期消火率を組み合わせることによって、焼失被害が大きく低減することを示唆することができた。

A Study on The Application of The Fire Risk Analysis System under A Great Earthquake

by Tohru FUTAGAMI , Shuji WADA

As one of measures, a burning interception zoning plan with open spaces and green spaces is proposed. But, because of missing a system to support the concrete planning, the plan is not carried out. To solve such problem, manager, planner, citizen should recognize how dangerous is the earthquake in the region. For that purpose, we have developed a fire spreading simulation system with visual character, and applied the system to urban disaster preventive problem. In this paper, through a case study, we show the system is effective to recognize fire spreading risk, and is available to support the prevention of disaster planning.