

大震時同時多発型火災を対象とした消防防災拠点の最適配置に関する研究*

A Study on Optimal Allocation of Fire Department against Fires in
Many Places Caused by A Strong Earthquake *

高山純一**、木村裕蔵 ***

By Jun-ichi TAKAYAMA** and Yuzo KIMURA ***

1. はじめに

平成7年1月17日未明に起こった阪神・淡路大震災は、大都市地域を襲った直下型地震としては関東大震災以来の大規模なものであり、5000人を超える犠牲者と20万人を超える人達に避難所生活を強いる非常に悲惨な災害となってしまった。このたくさんの犠牲者の中には、家屋が倒壊し、その下敷きとなって即死した人も多いと考えられるが、同時多発的に発生した火災により命を落とした人や混乱する救出活動の遅れにより息絶えた人も多いと予想される。

このように非常に悲惨な災害が発生した現在においても、わが国は木造住宅に対する嗜好が強いために、地震時の火災は依然として大きな脅威である。特に、消防力の極度の低下や火災の同時多発性を考えると、これまでの地区単位の防災計画では十分とはいえず、都市構造そのものの防災性を強化する広域的視点に立った「防災都市づくり」の計画立案が必要である^{1)~3)}。木俣らが提案する「防災緑地網整備計画」は、公園緑地、都市河川、道路、耐火建物群等を地域特性に応じて有効に組み合わせることにより、火災の延焼拡大を阻止する防災空間を整備することを目的とするものであり、従来の防災計画の考え方にはない新しい計画構想といえる。

* キーワズ:同時多発型火災、消防力低下地区

** 正会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科
(〒920 金沢市小立野2丁目40番20号)

Tel. (0762) 34-4650、Fax. (0762) 34-4644

** 株式会社玉野総合コンサルト
(〒453 名古屋市中村区竹橋4-5)

Tel. (052) 452-1301、

2. 従来の研究

従来より火災延焼シミュレーション・システムに関しては、藤田⁴⁾や佐々木ら⁵⁾などにより研究が行われているが、実火災の酒田大火や福光大火を再現し、計画評価に利用しているのは木俣ら^{1)~3)}のみである。このように火災ならびに消火に関する研究はこれまでも数多くなされているが、消防力低下地域の予測⁶⁾に関しては、これまでほとんど研究がなされていない。

地震時の出火確率については様々な研究がなされているが、ここではそれらを応用して発展させることを考えている。なお、消防アクセス道路の走行性評価については、連結性評価として小林⁷⁾、飯田・若林ら⁸⁾の研究があるが、2点間信頼度の計算法の提案であり、防災拠点の計画評価に必要なSAT、全点間信頼度の計算法については、ほとんど研究されていないようである。

3. 研究の全体構成

この防災緑地網構想を実現するためには、次の3つのシステム開発が必要である。1つは、(1)地震時災害を考慮した同時多発型の火災延焼シミュレーション・システムの開発であり、2つ目は(2)広域的視点に立った防災拠点の最適配置計画手法の開発である。また、3つ目は(3)防災緑地網整備の基本計画と実地計画の作成・評価を支援する計画支援システムの開発である。

最初の同時多発型の火災延焼シミュレーション・システム^{2), 3)}は、①消防力低下地域の予測システム⁶⁾と②出火点予測システム、さらに③これら2つのシステムをサブシステムとする火災延焼シミュレ

ーション・システムの3つのシステムより構成される。今回は特にこの消防力低下地域の予測システムの開発を目指すものであり、以下の考え方により消防力の低下が予想される地域を特定化する。

1つは、(1)消化活動に必要な水利用被害面からのアプローチであり、もう1つは(2)消防アクセス道路の走行障害面からのアプローチである。前者のアプローチは地震動による地盤内応力やひずみ（特に、地盤液化化時に起きる永久変形）が大きい場合に、水道管が破損したり、結合部の引き抜き現象が生じたりすることを事前に予測することにより、消化栓などの水圧低下や水量不足を招く水利用被害地域を特定化するものである。また、後者のアプローチ⁶⁾は消防アクセス道路の走行障害面から消火活動が極度に低下する地域を特定化するものであり、具体的には道路の破損状況や落下物の数、放置自動車数などを予測し、道路走行の障害程度を評価することにより、通行可能性に対する信頼性および走行所要時間に対する時間信頼性の両側面からアプローチするものである。

したがって、これら一連のシステムができれば、地震時同時多発型火災に対応した消防力低下地域の予測と都市全体の救急・救援活動の拠点となる消防防災拠点の最適配置計画の検討が可能となり、これからの都市防災計画の立案・評価に大いに役立つものといえる。

4. 消防アクセス道路の走行信頼性評価システム

地震時緊急路網（消防アクセス道路）の整備計画を作成するためには、防災拠点となる緊急車両基地と各地域との間の機能的連結性を評価し、消防力が著しく低下する地域がないように、緊急路網の整備計画を作成する必要がある。

緊急路網の整備度を示す指標としては、(1)緊急車両基地と各地域との間の2点間信頼度を用いる場合（出火場所からみた場合の消防力低下地域の評価）と、(2)緊急車両基地（ソース）からのすべての地域（ターミナル）への到達可能性を示すS A T信頼度（Source to All Terminal Reliability）を用いる場合（防災拠点からみて消防力低下地域を評価する場合）があるので、ここでは上記2つの方法（2点間

信頼度、S A T信頼度）により評価する。ただし、S A T信頼度の計算はかなり面倒であるので、ここではS A T信頼度の代わりに、実際には全点間信頼度を用いて評価することにする。

（1）個別道路の走行性信頼度の評価

消防自動車等緊急車両が火災現場へ向かい、消化活動を開始するために必要となる機能は、「各防災拠点より責任エリア内のすべての地点へ到達可能であること」といえる。しかし、前述したように地震時などの災害時においては、火災発生現場までの自動車ルートが遮断され、通交が不能となる場合が発生する。したがって、通行不能（到達不能）となる地域、すなわち消防力が著しく低下する地域がないように、緊急路網の整備計画を作成することが重要である。この消防アクセス道路の整備計画を作成するためには、緊急車両基地（防災拠点）と各地域との間の機能的連結性を評価する必要があり、そのためには、個別道路の通行信頼度（走行性信頼度）を求め、道路網全体としての連結信頼度を計算する必要がある。

そこで、本研究では個別道路の走行性信頼度を木俣の方法（ソフト・システム・アプローチ）¹⁾により、三群判別関数を用いて算出し、それをもとにして道路網全体の連結信頼度を計算する。ただし、道路網が複雑となり、対象エリアのリンク数が多くなると、そのままでは道路網の連結信頼度（2点間信頼度、全点間信頼度）を計算することが困難となるので、ここではトポロジー変換法を用いた方法ならびに遺伝的アルゴリズム（GA）を応用した部分グラフ集約化による方法⁹⁾を用いて計算することにする。

（2）個別道路の走行性規定要因

個別道路の走行性規定要因には、道路本体の物理的破壊のみならず、道路上を走行する自動車車両や落下物の数、あるいは沿道危険物の数や周辺の状況など多くの要因によって規定される。ここでは、客観的に観測される次の7つの要因（採用した各要因と数値が小さいほど走行性が相対的に高いことを示すランク値を表-1¹⁾に示す）により個別道路の走行性信頼度を評価する。具体的には、代表的なサンプル道路（15本～20本）を抽出し、V I S M S

表-1 走行性信頼度の規定要因とそのランク値¹⁾

規定要因	基 準	ランク
道路幅員	14.0 m	1
	10.5 m	2
	7.0 m	3
	7.0 m	4
12時間 交通量	10,001台	1
	15,001台	2
	20,001台	3
	20,001台	4
路側面の 落下危険 構造物数	ほとんどなし	1
	落下危険構造物数	2
	落下危険構造物数	3
	落下危険構造物数	4
道路強度 (アスファ ルト厚)	15 cm	1
	10 cm	2
	7 cm	3
	7 cm	4
橋梁強度	橋梁がない	1
	橋梁強度	2
	橋梁強度	3
	橋梁強度	4
地盤の タイプ	I 種	1
	II 種	2
	III 種	3
	IV 種	4
沿道出火 危険物数	ほとんどなし	1
	出火危険物数	2
	出火危険物数	3
	出火危険物数	4

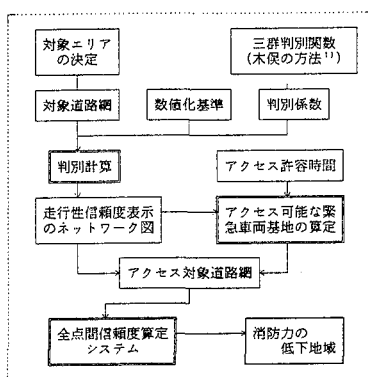


図-1 消防アクセス道路の走行性信頼度からみた消防力低下地域の予測システム

を用いて一対比較することにより、走行性順位図の作成と3グループへの三群判別関数の決定を行う必要があるが、ここでは簡単のために木俣の作成した三群判別関数（判別係数¹⁾）をそのまま用いて対象道路の走行性信頼度を算定することにする。

そして、その算定結果をもとに緊急車両基地と各地域間の2点間信頼度ならびに全点間信頼度を計算し、それにより消火活動が低下する地域の特定化を行う。ただし、一定規模以上の都市においては、一般に複数の緊急車両基地があるので、各車両基地からのアクセス所要時間を考慮してアクセス可能な道路網の選定を行うものとする（図-1）。

(3) アクセス可能道路網の選定

一般に、平常時においても出火場所によって、緊急車両の到着時刻が異なっている。そこで、ここでは道路の走行性（時間信頼性）を考慮して、許容時間内にアクセス可能な車両基地を算定し、その結果をもとにアクセス可能な道路網の選定を行う。具体的には、アクセス許容時間を約5分と設定した。これは、事前に行った金沢市消防署へのヒアリング調査にもとづくものであり、一般に火災が発生した場合、消防自動車（ポンプ車）は少なくとも5分以内に火災現場へ到着しなければならないといわれているからである。

したがって、対象とする道路網の作成にあたっては、防災拠点（実際には消防署あるいは消防分団）を中心として、半径約2 kmの円を描き、その中に含まれる道路をアクセス道路網として評価する。

5. 防災拠点の最適配置計画の検討

(1) 2点間信頼度による消防力低下地域の予測

前述の金沢市消防署へのヒアリング結果より「一般の建物火災の場合には、1つの火災現場に最低7台の消防自動車（ポンプ車）が到着できるようにする」ことが必要である。このことより、出火場所からみた場合、想定される出火地点を中心として半径約2 kmの円を描き、その中に含まれる道路をアクセス道路網として評価することになる。すなわち、その円内に存在する緊急車両基地と出火地点との間の2点間信頼度がある確率以上であることが必要であり、最低7台の消防自動車（ポンプ車）が火災現場へ到着できることが最低条件である。

図-2を用いて説明する。たとえば、出火場所Aについては、半径2 kmの円内に消防署（ポンプ車

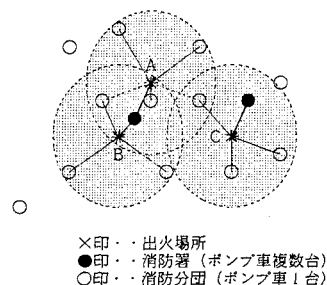


図-2 出火場所からみた場合の消防力低下地域

が2台以上)が1箇所と消防分団が5箇所含まれるので、出火地点との間の2点間信頼度がある確率以上であれば、消防力が確保されている地域とみなすことができる。しかし、出火場所Cのように、半径2kmの円内に消防署(ポンプ車が2台以上)が1箇所と消防分団が3箇所しか含まれないので、消防署に4台以上のポンプ車が配備されていなければ、消防力が低下している地域ということになる。

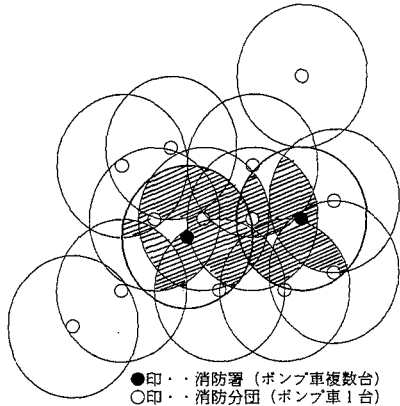


図-3 防災拠点からみた場合の消防力低下地域

(2) 全点間信頼度による消防力低下地域の予測

防災拠点からみて消防力低下地域を評価する場合には、防災拠点(実際には、消防署、あるいは消防分団)を中心として、半径約2kmの円を描き、その中に含まれる道路をアクセス道路網として全点間信頼度を評価すればよい。

図-3を用いて説明すると、円がいくつか重なっている部分(実際には、消防署、消防分団に配備されているポンプ車の台数が合計7台となる重なり部分)は消防力が確保されている地域であり、それ以外は消防力低下地域として算定された地域である。

(3) 最適配置の考え方

本研究は、防災拠点の最適配置計画の検討を目的としているが、現存する消防署の配置を早急に変更することは、事実上困難であると考えられるので、ここでは次に示す3つの考え方により最適配置計画を検討するものとする。

- ①既存の消防署の規模(ポンプ車の台数を増加する)を拡大する。
- ②新しく消防署、あるいは消防分団を増設する。
- ③消防分団の配置を変更する。

6. ケーススタディと今後の課題

金沢市を対象としてケーススタディを行う。金沢市には、防災拠点となるべき大きな消防署が4ヵ所ある。また、サブ的防災拠点と考えられる分署、出張所がそれぞれ2ヵ所、5ヵ所あるが、今回は人口の集中している市街地中心部を対象として消防力低下地域の算定を行った。詳しい解析結果については講演時にまとめて発表したい。

最後に、研究を進めるにあたり金沢大学工学部土木建設工学科教授川上光彦先生、ならびに木俣昇先生に貴重なコメントを頂いた。また、本研究は文部省科学研究費、重点領域研究(2)(代表 木俣昇)、同(代表 高山純一)により行われた研究成果の一部である。ここに記して感謝したい。

<参考文献>

- 1) 木俣 昇:「地震時緊急路網の整備計画に関する基礎的研究(ソフト・システム・アプローチ)」、土木計画学研究・論文集、No.7, pp.75~82、1989年
- 2) 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、No.449, pp.193~202、1992年
- 3) 二神 透、木俣 昇:「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.151~159、1989年
- 4) 藤田隆史:「大震災火災時における住民避難の最適化(火災延焼シミュレーション)」、計測自動制御学会論文集、Vol.11, No.5, pp.501~507、1975年
- 5) 佐々木弘明、神忠久:「都市火災の延焼確率とそのシミュレーション」、消防研究所報告、No.47, pp.9~27、1973年
- 6) 高山純一、木俣 昇、他1:「消防アクセス道路の通行信頼性からみた消防力低下地域の予測システム」、自然災害科学中部地区シンポジウム講演概要集、pp.14~15、1990年
- 7) 小林正美:「シミュレーションモデルによる都市の防災化の研究」、都市計画別冊、No.9, pp.97~102、1974年
- 8) 飯田恭敬、若林拓史:「ブール代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率の算出法」、土木学会論文集、No.395/IV-9, pp.75~84、1988年
- 9) 高山純一、石井信通:「GAによるグラフ分割を用いた部分グラフ集約化による全点間信頼度の近似計算法」、土木計画学研究・論文集、No.12, pp.295~304、1995年