

延焼シミュレーションによる河川水の消防利用効果の検討

Study on the Effect of River Water Usage for Fire Fighting by means of Fire Spread Simulation

館健一郎*・倪广恒**・吉谷純一***・金木誠****

By Kenichiro TACHI*, Guangheng NI**, Junichi YOSHITANI***, Makoto KANEKI****

1. はじめに

阪神・淡路大震災の同時多発火災では、消防水利の不足が大問題となった。地震で消火栓が断水し、学校のプール、防火水槽の水が利用されたが、それらも使い尽くされたため、河川水、海水等が利用された。河川等の自然水利の震災に対する強靱さが示され、その活用の重要性が再認識された。

今後、都市河川等の水の防災利用を推進していくためには、活用により生じる効果を的確に評価するとともに、理想的な活用方策を提示をしていくことが必要である。そこで、延焼シミュレーションモデルを用いた検討を行い、震災時に都市河川等を消防水利として利用する効果を定量的に評価することを試みた。シミュレーションモデルは、市街地における震災時の出火及び延焼、それに対する消防力の運用、水利の利用効果を組み込んだものである。

河川の利用効果には、出火後の個別火災の初期対応（一次運用）の水利としての利用と、延焼拡大後の重点・拠点防御（二次運用）の水利（巨大大水利）としての利用が考えられる。今回は、初期対応の水利としての河川利用を対象として、河川からの取水並びに消防力の条件の違いが及ぼす影響を検討した。

2. 延焼シミュレーション・システムの構築

(1) モデルの概要

キーワード：防災計画、河川計画

*正員、工修、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室（茨城県つくば市旭1 Tel.0298-64-2211 Fax.0298-64-0598）

**正員、工博、日本工営株式会社河川・水工部

***正員、工修、独立行政法人土木研究所水工研究グループ（水理水文）

****正員、工学、国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室

延焼シミュレーションは、市街地の建物構造比率、建坪率等の特性をもとに、出火点、気象条件等を想定し、焼失面積、消失範囲の算定を行うものである。本検討では、河川等の水源の利用効果を検討するため、市街地特性から計算される延焼動態に加え、消防力の運用、水利の使用を考慮した延焼シミュレーションモデルを構築した。

延焼速度式として東消式97②を使用したマクロモデルを用いて延焼の拡大過程を表現しており、建物構造別の構成比率等の市街地データ、風速等の条件から、任意時間の延焼速度が算定できる。延焼速度式より風上・風横・風下の延焼距離をもとめ、楕円近似により、延焼面積及び火面周長を求めている。

消防力として、消防隊（ポンプ車）及び消防団（可搬式ポンプ）を考慮している。通行可能道路ネットワークデータを用いてネットワーク解析（Warshall-Floyd法による最短距離検索）を行って走行ルートを設定し、予め与えた消防運用シナリオに基づいて火災に対処（対処する火災の選定、使用水利の選定、放水）するようモデル化している。また、水利が利用できない場合や放水により水が尽きた場合の水利の移動、鎮火後の転戦も考慮している。

放水による延焼抑止効果は、ホースの担当火面長を設定し、火面の包囲率に応じて延焼速度を低下させることで考慮した。鎮火は火面包囲後の放水継続時間^③又は放水量^④で判定することとした。

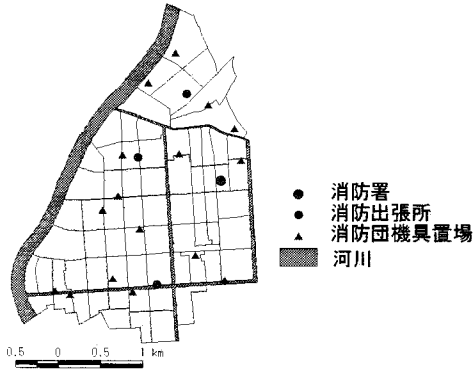
上記の消防力運用モデルで用いる各種パラメータについては、既存の検討結果や、阪神・淡路大震災等の実績に基づいて設定する。

(2) シミュレーション・システム化

シミュレーションの条件設定および実行を容易にし、解析結果をビジュアルに表示出来るようにするため、シミュレーション・システム化を行った。

表－１ 道路幅員と道路閉塞率の関係

エリア名	道 路 幅 員				
	4～6m	6～8m	8～10m	10～12m	12m～
六甲道 ^{5), 6)}	65%	56%	2%	2%	0%
長田 ^{5), 6)}	23%	25%	8%	8%	5%
東灘区 ⁷⁾	27%	26%	9%	7%	0%
平均	38.3%	35.7%	6.3%	5.6%	1.7%



図－１ 検討対象区域

計算部分のプログラミングはfortran、ユーザーインターフェース部分の開発はVisual Basicで行った。

震災時の出火については、過去にも、様々なモデルに基づく出火危険度判定、出火件数の推定などが行われている。しかし、確率事象であることから、出火点を予測することは不可能である。今回の検討では、出火点位置により延焼速度や水利の存在条件が異なるため、出火点数、出火箇所の設定によって、結果が大きく変わってくる。そこで、シミュレーション・システムでは、出火点数を任意に設定できるようにし、市街地毎の出火危険度を考慮しながらランダムに出火点を配置できるようにした。

また、道路閉塞も確率事象であり、閉塞パターンにより結果が変わってくる。そこで、道路閉塞パターンも、幅員毎の閉塞確率に基づきランダムに設定できるようにした。道路閉塞による消防活動阻害の影響を考慮するため、乱数により道路リンクを確率的に閉塞させる。閉塞した道路を道路ネットワークから除外して、ネットワーク解析による経路検索を行う。本シミュレーションで採用する道路幅員と道路閉塞率の関係には、阪神・淡路大震災での調査結果^{5), 6), 7)}より結果にばらつきの少ない事例を選び出し、その平均値を用いた（表－１）。

シミュレーション・システムでは、出火点数、

繰り返し計算回数を設定し、その後、プログラムを実行させれば、ランダムな出火点配置、道路閉塞パターンが生成され、指定回数の計算が実施される。

３．シミュレーション検討の実施

（１）検討対象区域

ここでは、構築したシミュレーションモデルを用いて、東京都のA消防署を対象として検討した結果を報告する。河川からの取水条件、さらには比較のために消防力の条件を仮想的に変化させ、震災時の延焼拡大への影響を検討した。図－１にA消防署及び出張所、河川の位置を示す。

延焼速度に関係する市街地の特性は、東京都が東京直下型地震被害想定調査を行った際に東京消防庁が整理したデータを用いた。道路ネットワークデータは、「東京都都市計画地図情報システム」の道路中心線データから、道路ノードの位置と道路リンクの起点・終点ノードを求めて作成した。リンクの幅員は、道路ポリゴン面積を道路中心線の長さで割ることで求めた。消防署・出張所位置、消防車台数、配置消防署及び出張所、消防水利データは、東京消防庁から入手した。

検討対象としたA消防署の管轄区には、A消防署の他に３つの出張所が配置されている。管轄区内の消防車ポンプ車は計７台（A消防署及び２つの出張所に２台ずつ、残りの出張所に１台）であり、その他に予備車両が２台ある。また、域内には、運河状の河川がいくつか存在しており、低平なため常時湛水している。消防水利としての河川水の利用可能性が高い地域であると考えられる。

（２）検討の条件設定及びケース

計算の設定条件を表－２に示す。出火は発災と同時にし、ここでは、消防隊の１次運用が終了し、鎮火の成否が明らかとなる発災３時間後の延焼状況

表－２ 計算条件

風速	5.0(m/s)
湿度	60.0(%)
鎮火判定	炎上中床面積当たり 0.5(m ³ /m ²) の放水で鎮火
ホース1口の担当火面長	10(m)
消防隊の放水口数	3口
可搬式ポンプの放水口数	2口
1口あたりの放水量	0.6(m ³ /min)
発災後市民消火開始まで	180(min)
市民消火担当火面長	135(m)
消防隊参集時間	0(min)
消防隊出動準備時間	1(min)
消防隊火災覚知時間	5(min)
消防隊放水準備時間	1(min)
消防団参集時間	10(min)
消防団出動準備時間	1(min)
消防団火災覚知時間	40(min)
消防団放水準備時間	1(min)

表－３ 検討ケース一覧

	CASE-A（現況）との相違点
CASE-A	
CASE-B	消防車を各署・出張所に1台ずつ追加し、消防ポンプ車の総台数（予備車両含む）を9台から13台に
CASE-C	可搬式ポンプを全町丁目に配備し、可搬式ポンプの総台数を16台から85台に
CASE-D	河川からの取水可能地点を追加し、消火栓以外の水利箇所数（うち河川水利箇所数）を337（47）箇所から368（78）箇所に
CASE-E	中小河川からの取水可能水量（河道区間毎）を無限から2.5t/minに
CASE-F	中小河川からの取水可能水量（河道区間毎）を無限から5.0t/minに
CASE-G	中小河川からの取水可能水量（河道区間毎）を無限から10.0t/minに
CASE-H	中小河川からの取水可能水量（河道区間毎）を無限から15.0t/minに

をもとに結果の評価を行う。

消防隊の運用は、発災1時間後までは消防力の1次運用を想定し、2隊1組で火災に対処することとしている。また、発災1時間後には、予備車両2台がA消防署から出動することとしている。

表－３に検討ケース一覧を示す。CASE-Aは現況の水利・消防力条件である。A消防署は低地に位置しており、河川水は常に湛水している状態なので、現況では河川水量は無限としている。

CASE-B及びCASE-Cは消防力の増強を行った場合を想定しており、各署所に配備されている消防車台数を1台ずつ増やした場合がCASE-Bで、可搬式ポンプを全ての自主防災組織（町丁目）に配備した場合がCASE-Cである。

CASE-D～CASE-Hは河川の取水条件を変化させた場合である。CASE-Dは、整備によって河川からの取水可能地点を増やした場合を想定しており、現況

の河川水利が位置する間隔の最小値および河川形状を基準にして、ほぼ等間隔に河川水利が分布するように水利箇所を追加している。CASE-E～CASE-Hは、現況では無限としている中小河川からの取水可能量を変化させた場合である。検討対象区域内の中小河川について、河道区間毎に取水可能水量を設定した。

ここでは、出火点数を1点から10点（CASE-A以外は6点から10点）まで変化させて計算を行い、出火点の増加に伴う鎮火件数、放水量、延焼面積等の変化を検討した。それぞれのケースについて、出火点配置パターン及び道路閉塞パターンを変えた20回のシミュレーションを繰り返し、結果の平均を用いて評価を行った。

（３）検討結果

図－２には、出火点数と20回の繰り返し計算で得られた平均鎮火件数（発災3時間後）の関係を示している。

CASE-A（現況）の結果をみると、出火点数が1点から5点まで増加するに伴い、鎮火件数も増加している。出火件数5件までは、ほぼ全ての火災を鎮火できるといえる（ただし、出火点の位置によって鎮火できない場合もあるため、鎮火件数は出火点数よりやや少なくなっている）。ところが、出火点数が6点以上になると鎮火件数は徐々に減少している。これは、出火点数が増えると初動時の消防隊が対処できない火災が発生することによる。さらに、初動時に対処できない火災数が増えるほど、消防隊や消防団が分散されて配備されてしまい、火面を包囲して鎮火することが困難になる。その結果、出火点数が増加するほど、鎮火火災数が減少する結果となっている。

CASE-BをCASE-Aと比較すると、消防ポンプ車が4台追加配備されたことにより、鎮火件数が増加している。CASE-A（現況）では、出火点数が6点以上になると鎮火できない火災が生じるが、CASE-B（消防車追加）の場合、8件までの出火をほぼ鎮圧できる結果となっている。このことから、消防ポンプ車を追加配備することにより、鎮火可能な火災数が増加する効果があることが分かる。また、CASE-C（可搬式ポンプの配備）についても、消防力の増強による鎮火件数の増加がみられる。

CASE-D（河川からの取水地点増加）の結果をみると、CASE-A（現況）に比べて1～2件程度、鎮火火災数が増加する結果となっている。河川からの取水地点が増加した結果、消防ポンプ車が迅速に取水することが可能となり、鎮火件数が増加したものと考えられる。

CASE-E～CASE-H（中小河川の取水可能水量を変化）をCASE-A（現況）と比較すると、中小河川からの取水可能水量が変化しても、鎮火件数にはさほど大きな変化はみられない結果となった。河川からの取水可能水量の変化が影響するのは、河川近くで出火した場合のみであることが原因と考えられる。ただし、図-3に示すように、取水可能水量が多くなる程、消防車・可搬式ポンプの水利変更回数が少なくなっており、水利不足による水利変更が少なくなる効果がみられる。鎮火件数等に現れる効果は小さいものの、川沿いにおける出火に対しては、取水可能水量の増加効果は大きいものと考えられる。

4. おわりに

延焼シミュレーションにより、河川水利や消防力の違いが延焼拡大に及ぼす影響を検討した。

シミュレーションの結果、消防力を強化することで鎮火火災数が増加しており、鎮火可能な火災数は、火災に対処できる消防隊数に依存するという結果が得られた。河川からの取水可能地点を増加させた場合も、鎮火可能となる火災数が増加する効果が得られた。しかし、中小河川からの取水可能水量を増加させた場合には、水利不足から消防車・可搬式ポンプが部署する水利を変更をする回数が減る効果がみられたものの、鎮火件数の減少としては顕著な効果はみられなかった。

謝辞

東京消防庁には、データ提供等の便宜を図って頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

1) 日本火災学会編：火災便覧 第3版，第二編 各種の火災の実態，8.3.3 延焼シミュレーションモデル，pp.540-545，1997。

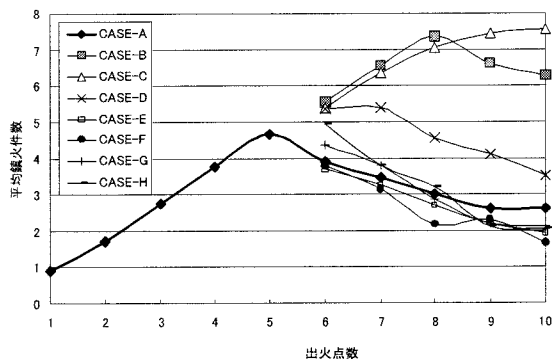


図-2 出火点数と平均鎮火件数の関係

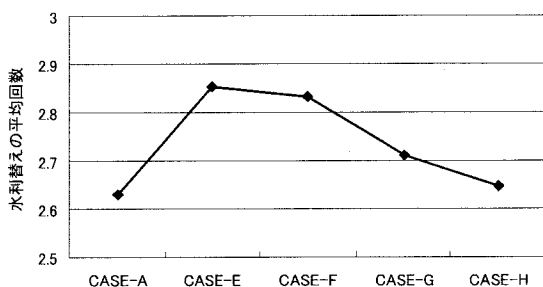


図-3 中小河川からの取水可能水量と消防車・可搬式ポンプの水利変更回数（出火点数 6～10 点の平均）

- 2) 火災予防審議会：直下地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策，東京消防庁，1997。
- 3) 国際航業株式会社：地震時の延焼シミュレーションシステムに関する調査研究 検討委員会報告，1989。
- 4) 中野孝雄：消防活動情報管理システムを活用した震災時利用可能水理の評価，筑波大学熊谷研究室修士論文，1999。
- 5) 塚口ら：空中写真を用いた震災直後の道路被害状況分析，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，pp.701-707，1996。
- 6) 家田ら：阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響，土木学会論文集，No.576/IV-37，pp.69-82，1997。
- 7) 小谷ら：震災による地区道路網の閉塞状況に関する分析，第16回交通工学研究発表会論文報告集，pp.89-92，1996。