

◆ 防災特集 ◆

震災時における河川水の消防利用に関するシミュレーション検討

館健一郎* 倪 广恒** 金木 誠*** 吉谷純一****

1. はじめに

平成7年に発生した阪神・淡路大震災では、同時に多発火災が発生し、消防水利の不足が大問題となつた。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靭さが示され、その活用の重要性が再認識された。しかし、取水可能な地点が少ない等、自然水利の利用にあたつての問題点も明らかとなった。

現状の都市河川等は、自然水利としての潜在能力が存分に活用できるとは言い難い¹⁾。その理由として、限られた空間で効率的に治水効果を得るために、取水が困難となる構造の河川改修が行われてきたこと等が挙げられる(写真-1、図-1)。このような問題の解決策には、取水ピット、水面へのアプローチ施設の設置等の対策がある。

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し、有効な活用方策を提示していくことが必要である。そこで、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延焼シミュレーションモデルを用いて、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。

2. 延焼シミュレーション・システムの構築

2.1 モデルの検討対象

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(巨大水利)としての利用が考えられる。初期対応のための水利は、各所で発生する火災をカバーするために、震災時も利用可能な水源を広く分布させる必要がある。河川については、延長が長いためにこの面

での効用は大きいが、この効果の及ぶ範囲は河川沿いに限られる。一方、豊富な水量という河川の最大の利点を生かし、延焼拡大区域の集中的防御に必要な水利として利用できる効果も大きい。例えば、阪神・淡路大震災でみられたように、河川で取水した水をタンク車でピストン輸送したり、ポンプ車を連結して長距離の送水を行ったりすることによる効果である。

ここでは、震災時の火災に対する初期対応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鎮火火災数や延焼面積に及ぼす影響を検討する。

2.2 モデルの概要

延焼シミュレーションとは、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



写真-1 取水が困難な都市河川の例

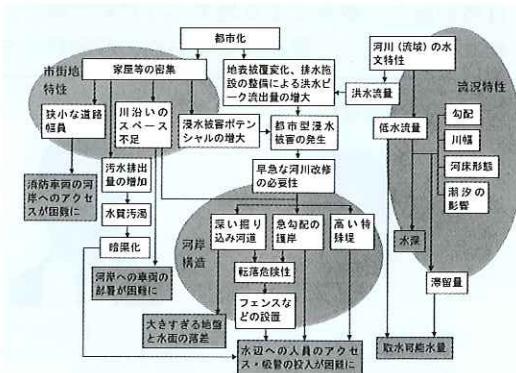


図-1 河川からの取水阻害の因果関係

件等を想定し、焼失面積、焼失範囲の算定を行うものである²⁾。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 97³⁾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。それをもとに、延焼面積及び火面周長(延焼領域の周囲の長さ)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。消防力運用モデルの概略を図-2に示す。

消防隊及び消防団は、火災までの距離や火災の延焼危険性、予め設定してある配車シナリオに基づいて対処する火災を選定し、通行可能道路のネットワーク解析(Warshall-Floyd 法)で求めたルートを通って火災へと移動する。道路通行の可否は、道路リンクの幅員に応じた閉塞率に応じて設定する。

その後、水利の優先順位設定に基づいて水利を選択、放水する。水利が使用できない場合や放水により使用中の水利の水が尽きた場合は、他の水利に移動する。また、放水により鎮火した場合は、他の火災へと転戦する。放水による延焼抑止効果は、ホースの担当火面長(1 口が注水して防御できる火面の長さ)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⁴⁾又は放水量⁵⁾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。

2.3 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に、システム化を行った。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[®](米国 Microsoft 社)を行った。

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

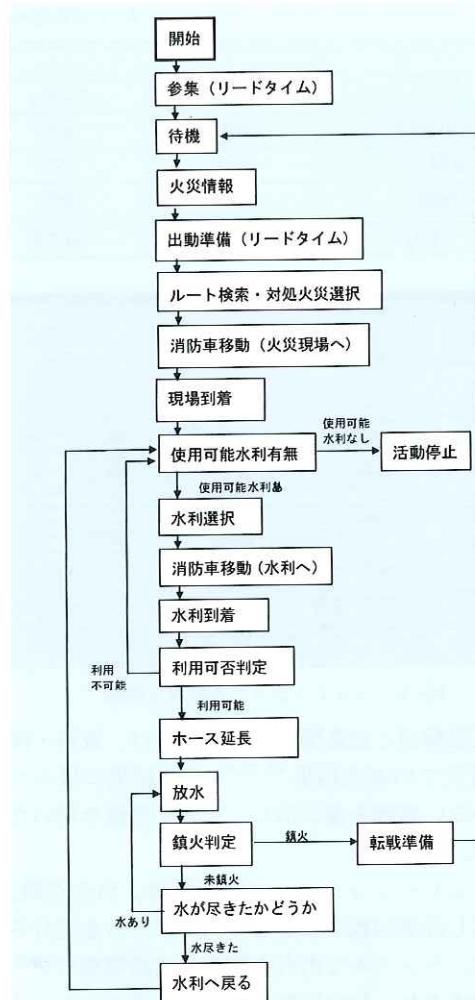


図-2 消防運用(消防車・可搬式ポンプ)のフローの概略なら、出火点を予測することは不可能である。今回の検討では、出火点位置により延焼速度や水利の存在条件が異なるため、出火点数、出火箇所の設定によって、結果が大きく変わってくる。そこで、シミュレーション・システムでは、出火点数を任意に設定できるようにし、市街地毎の出火危険度を考慮しながらランダムに出火点を配置できるようにした。

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

表-1 道路幅員と道路閉鎖率の関係

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



図-3 シミュレーション条件設定画面

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^{6),7),8)}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てプログラムを実行されば、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。システムの条件設定画面の例を図-3に示す。

3. シミュレーション検討の実施

3.1 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-4にA消防署及び出張所、河川の位置を示す。

延焼速度に関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



図-4 検討対象区域

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。

3.2 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。出火は発災と同時とし、消火栓は全て使用不可とした。ここでは、消防隊の1次的運用が終了し、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。これらは、震災時の部隊運用計画等を参考に設定した。

表-3に検討ケース一覧を示す。CASE-Aは現

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 2.5 t/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 5.0 t/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 10.0 t/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 15.0 t/min に

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(約 50m 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。

3.3 消防力及び取水箇所数に関する検討結果

CASE-A～CASE-D を対象として、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のが図-5 である。同様に、図-6 には出火点数と延焼面積(発災 3 時間後)の関係を示している。

図-5 中の CASE-A (現況)の結果をみると、出火点数 5 点程度までは出火点が増加するに伴い鎮火件数も増加している。出火点数 5 件程度までは、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 点を越え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。この結果は、消防の初動時においては、最低限の消防水利が確保されれば、出動必要火災数と出動可能能力のバランスが被害様相を規定するという既往の指摘⁹⁾に符合するものと考えられる。

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 点を越えると鎮火件数が減少に転じるが、

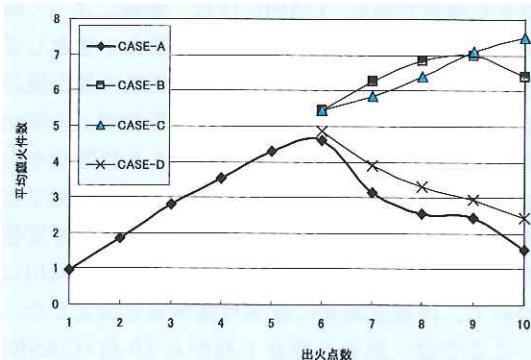


図-5 出火点数と平均鎮火件数の関係(発災3時間後)

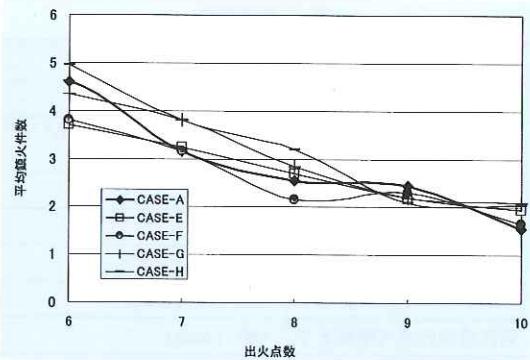


図-7 中小河川からの取水可能水量に応じた出火点数と平均鎮火件数の関係

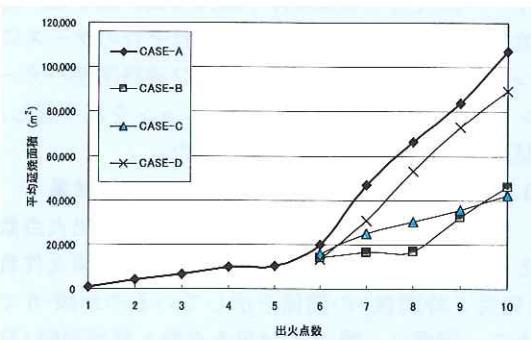


図-6 出火点数と延焼面積の関係(発災3時間後)

CASE-B (消防車追加) の場合、9 件までは鎮火件数が増加す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 件程度、鎮火件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。消防ポンプ車や可搬式ポンプを増加させる場合ほどの直接的な効果はみられないが、河川等からの取水地点整備によって延焼防止機能が強化されることが分かる。

図-6 の延焼面積をみると、鎮火件数が多いほど小さくなっていることが示されている。

3.4 河川水量に関する検討結果

図-7 には、CASE-A (現況) 及び CASE-E ~ CASE-H (中小河川の取水可能水量を変化) を対象として、出火点数と 20 回の繰り返し計算で得られ

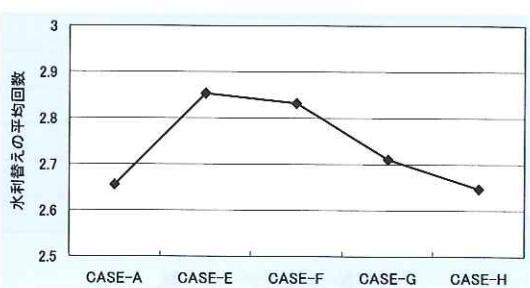


図-8 中小河川からの取水可能水量と消防車・可搬式ポンプの水利変更回数(出火点数 6~10 点の平均)

た平均鎮火件数(発災3時間後)の関係を示している。

図-7 に見られるように、中小河川からの取水可能水量が多くなるほど鎮火件数が多くなる傾向は顕著にはみられない。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から、直接は鎮火件数に影響を与えたことが原因と考えられる。

図-8 には、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 点の場合の平均)を示している。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間の移動が少なくなる効果がみられる。それによって、消防隊員の水利替えの労力及び時間を減少させることができ、消防活動に専念することができるようになる。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・システムを構築し、そ

れを用いて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、河川からの取水可能地点を増加させた場合、鎮火可能となる火災数が増加しており、河川からの取水地点整備の効果が示された。また、中小河川からの取水可能水量を増加させた場合にも、水利不足から消防隊・消防団が使用する水利を変更をする回数が減る効果がみられた。

消防力を強化する場合ほど直接的ではないものの、消防利用に配慮した河川整備により、震災時の火災被害軽減効果が得られることが示された。

今後は、ここで紹介したようなシミュレーションの活用を含め、防災利用に配慮した河川等の整備手法の検討を進めていく必要がある。

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) 館健一郎：都市・人、そして川(11)-河川水の消防利用-, 雨水技術資料, Vol.39, pp.39-48, 2000.12.
- 2) 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, 1997.5.
- 3) 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.
- 4) 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, 1989.3.
- 5) 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, 1999.1.
- 6) 塚口博司、戸谷哲男、中辻清恵：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, 1996.1.
- 7) 家田仁、上西周子、猪股隆行、鈴木忠徳：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械的障害とその影響, 土木学会論文集, No.576/IV-37, pp.69-82, 1997.10.
- 8) 小谷通泰、前野達也、伊藤美由紀：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, 1996.11.
- 9) 関沢愛：阪神・淡路大震災時における同時多発火災に対する消防活動について, 災害の研究, 第28巻, pp.192-203, 1997.3.

館健一郎*



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
研究官
Kenichiro TACHI

倪 广恒**



日本工営株式会社河川・
水工部(前 土木研究所
都市河川研究室交流研究員)
Guangheng NI

金木 誠***



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
長
Makoto KANEKI

吉谷純一****



独立行政法人土木研究所
水工研究グループ水理水
文チーム上席研究員
Junichi YOSHITANI