

風土に根ざした地震火災用消防水利システム

—京都市における疏水型開水路を活用した消防水利構築に関する研究報告—

大窪 健之¹・本田 剛久²・小林 正美³

¹正会員 工博 京都大学助手 工学研究科環境地球工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

² 工修 三井不動産株式会社 事業課 (〒103-0022 東京都中央区日本橋室町 2-1-1)

³正会員 工博 国際連合地域開発センター 防災計画兵庫事務所所長
(〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通 1-5-1 IHD センタービル 4階)

阪神・淡路大震災では、地震動による直接的な被害もさることながら、二次災害である地震火災による被害が都市全体に広がっていった。被害を拡大した要因の一つに、圧倒的な消防水利の不足があげられる。本研究報告は、近い将来京都市においても想定される地震火災時の消防水利不足を補う方法として、地震火災に有効な消防水利の条件を整理するとともに、風土に根ざした消防水利として、特に水量調節のなされている疏水型の開水路を活用する4つの方法を提案した。さらに、京都市におけるケーススタディとして、市内に存在する高瀬川、西高瀬川、堀川の3つの疏水型開水路を対象に、都市内の水辺空間と消防水利という複合機能を持たせるための整備計画の提案と、消防水利としての有効性の評価を試みた。

Key Words : open channel, earthquake fire, fire-fighting water, water front space

1. はじめに

(1) 研究報告の背景

神戸市消防局によると、阪神・淡路大震災後 10 日間で発生した火災は 175 件、焼失棟数は 7,386 棟、焼損延べ床面積は 819,108 m²であった¹⁾。これ程まで被害が拡大した大きな原因に「震災による公設消防力の低下」が挙げられる²⁾。神戸市における全消防水利に対する消火栓の利用の割合は、通常時約 76%であるのに対し、震災時は震動による破損で 0.7%にとどまり(表-1)、防火水槽も、破損漏水あるいは家屋の倒れ込み等で取水口が塞がれるなど、十分に使用できなかった⁴⁾。これによる初期消火の遅れは被害を拡大した最大の原因と言われており⁵⁾、初期消火体制が充実していれば、即ち火を消す水利が身近に十分な量として存在していれば、火災による被害はかなり抑えられたと考えられる⁶⁾。

この教訓は、フェイルセーフの考えからも、地震災害などの不測の事態を念頭に置いた、消火栓のみに依存しないことを前提とした、複数の系統による消防水利確保が必須であることを示している。

実際に阪神・淡路大震災において消火栓以外で活用された主な消防水利は、防火水槽、プール、河川等の水路、海であった。特に河川等は、常に自然水が供給されるため、水量により継続的な消火活動が

表-1 神戸市における消防水利の利用実態³⁾

	通常時		震災時	
	件数	割合	件数	割合
消火栓	1,083	76.1%	4	0.7%
防火水槽	18	1.3%	74	13.7%
河川	6	0.4%	55	10.1%
プール	1.6	0.1%	29	5.4%
その他	315	22.1%	380	70.1%

可能となり、防火水槽やプールのように、人為的に水を補給する必要もない。水質面でも、常時新鮮な状態を保つことができ、同じ水を長期間に渡り保持するものと異なり、衛生面での問題も少ないと考えられる。開水路を消防水利として整備することは、市民に日常的に認識され、初期消火にも有効な水利として構築できると同時に、都市内で荒廃しつつある水際環境の整備にも貢献できるものと考えられる。

元来我が国には、「山紫水明」と表現されるように美しい自然環境が存在し、都市は常に水とともに歴史を歩んできた。特に京都市は、世界に誇る木造文化都市として、私たちにあって地震火災等による焼失被害から守り、次世代に受け継いでいく責務がある都市であると同時に、美しい山々と共に鴨川や桂川、琵琶湖疏水などから豊かな水が豊富に供給されている。これらの水を復活し有効に活用することは、防災・環境の両面で重要な課題となっている。

(2) 研究報告の目的

本研究報告は、地震火災時の圧倒的な消防水利不足を補完する方法として、地震火災時に有効な消防水利の条件を整理し、京都市に存在する水のなかで、地震火災時にも消防水利として、最も有効かつ有益なものとして特に「疏水型開水路」に着目し、震災時の消防水利の確保と、日常時の水辺空間整備の提案を行うものである。

本研究報告中では「疏水型開水路」を、水量調節を含めて「目的的に開削」⁷⁾され、「上部が空気に解放された自然流下式の水の流路⁸⁾」と定義する。

具体的な目的は、以下の3点である。

- 阪神・淡路大震災の実態から、地震火災時に有効な消防水利の条件を整理する。
- 京都市における水の現状、消防水利の現状を把握し考察を行った後、地震火災時にも消防水利として活用可能と考えられる水のなかで、特に既存の疏水型開水路に着目し、それをういた消防水利確保の方法について提案を行う。
- 京都市内の疏水型開水路について、その現況や周辺環境から整備の必要な3つのタイプを選択し、ケーススタディとして都市内の水辺空間と消防水利の機能を複合化した水利整備の提案を行い、貯水部分の消防水利としての有効性についての評価を行う。

(3) 研究報告の位置付け

阪神・淡路大震災後、地震火災時の消防に関する研究報告は各方面からなされている。保野⁹⁾は、火災の発生・延焼データから必要消火水量を算定し、消防ポンプの能力を考慮することで、所要消防力や都市火災対策に対する提案を行っており、室崎¹⁰⁾は、実地調査やアンケートをもとに、震災時の公設消防や市民の消火活動を分析し、地震時における消防体制の提案を行っている。本研究報告も、貯水部分に関する消防水利としての評価方法の提案に際して、この分野の主に必要消火水量に関する研究成果を援用している。

一方、河川などの自然水利を地震防災に活用する研究については、河川を含む緑地帯を、防火帯として活用する計画方法に関する木俣・二神¹¹⁾の研究や、皇居の壊水を、災害時の建物機能維持に活用した場合の能力に関する澤田ら¹²⁾の研究などが挙げられるが、特に、金沢市を事例に用水等を利用した消火活動を想定し、取水可能地域の評価を通じて消防力低下地域の予測を試みた高山・飯坂¹³⁾の研究は、消火可能範囲の設定方法に関して、本研究報告が負うところは大きい。行政・自治体の取り組みに

についても各所で試みられつつあるが、特に近畿地方整備局河川部を中心とした「阪神疏水構想」¹⁴⁾が、新規に疏水を開削して防災水利の確保を目指す先進的な例として挙げられる。

これらに対し本研究報告は、「既存の」疏水型開水路を再生利用することで、消防水利としての能力を向上させる方法を、「京都市の具体的地域」を対象としたケーススタディを通じて提案し、阪神・淡路大震災のデータを参考に、簡便な方法で「消防水利としての有効性の評価」を試みる、という各点において、既往の研究とは異なるものである。

2. 震災時に有効な消防水利の条件

既往の阪神・淡路大震災における実態調査をもとに、地震時に有効な消防水利の条件を4つの項目に整理する。

(1) 「自然水利を活用する」

表-1は神戸市における消防水利の利用実態を示したものであるが、特に消火栓以外の防火水槽、河川、プールなどの水利は、通常時に比べて震災時の使用率が際立って高くなっている。消防水利としては、表中に明記される項目以外にも池、湖、沼、海等が挙げられ¹⁵⁾、神戸市の震災時の実績では、特に海の利用が広域に渡りなされた¹⁶⁾。震災時には、消火栓等の人工水利が使用できない可能性がある以上、河川、水路、地下水、雨水、海水といった自然水利を、消火栓とは別系統の消防水利として構築することができれば、フェイルセーフ・システムを確立することが可能となる。消火栓のバックアップとして、自然水利を活用することは震災時には特に有効であると考えられる。

(2) 「利用が簡単である」

火災時における消防水利には、利用が容易であることが求められる。一刻を争う消火活動において、利用に要する時間は重要となり、利用方法が複雑であるほど被害が拡大する可能性がある。公設消防による消火活動が様々な要因によって期待できない地震時においては、市民による消火活動が特に重要となるため、誰もが容易に短時間で利用できるシンプルな構造の消防水利を構築する必要がある。

(3) 「日常時・非常時に併用できる」

消防隊などの公設消防は、消防水利の位置、水量を事前に把握した上で消火活動を行っているが、市

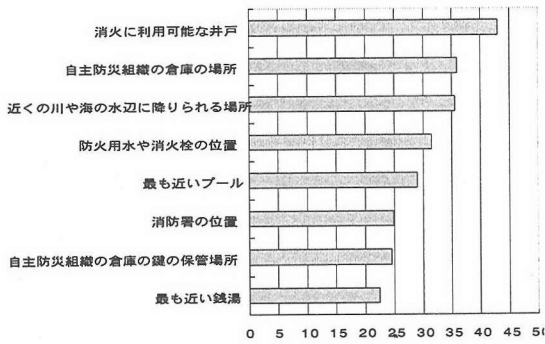


図-1 消防水利施設への知識と消火活動参加率 (%)¹⁷⁾

民による消火活動では、専門的な技術が要求される消防水利を利用することは困難であったことも報告されている。図-1は、アンケート調査に基づく、各消防水利施設に関する知識と消火活動参加率との関係を示したものである。これは、直接的な参加要因とは結びつかないものの、消防水利として利用可能な水の存在を認識していることが、間接的に市民の消火活動を促したことを示している。

非常時に迅速な対応をするには、日常から利用可能でその場所が十分認識された消防水利が必要となるため、日常的な利用も併用できる水利であることが重要な条件となる。

(4) 「身近で豊富な水量を持つ」

阪神・淡路大震災では、消防隊による消火活動の中で、絶対的な水量不足を補うために、数 km 先の海から消防ポンプ車を経由して多くのホースを繋ぎ、海水の大規模送水が行われた。しかしながら何台もの消防車が中継に必要とされた点など、遠い位置にある水利の活用に対する問題が多数みられた¹⁸⁾。

図-2は、阪神・淡路大震災において市民による消火活動が行われなかった理由を示したものである。「消火しようにも水や道具がなかった」という理由が高い割合を示したことから、市民の身の回りにすら消防水利が十分に存在しなかったことがわかる。

迅速な初期消火のためにも、消防隊や市民の消火活動に必要な消防水利は、常時、身近なところに十分な量を配置してあることが重要な条件となる。

3. 京都市における消防水利の現状と可能性

(1) 京都市の水収支

震災時には、消火栓すら使用不能になる可能性がある以上、海や湖のない京都市では、雨水、地下水、

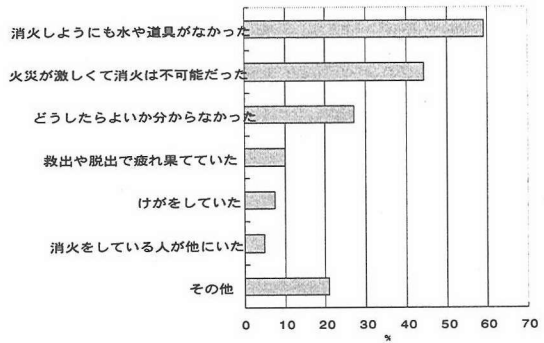
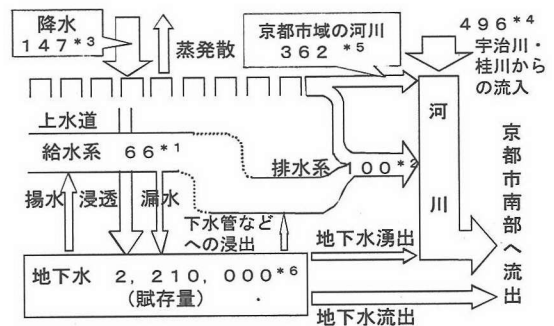


図-2 消火活動を行わなかった理由 (%)¹⁹⁾



- *1 実測値 (単位: $10^4 \text{ m}^3 / \text{日}$) 「京都市水道統計」京都市ホームページ (<http://city.kyoto.jp/suido/suido-tokei9.html>)
- *2 実測値 (単位: $10^4 \text{ m}^3 / \text{日}$) 「京都の下水道」京都市下水道局
- *3 計算値 (単位: $10^4 \text{ m}^3 / \text{日}$) 京都市年間降水量 (1994年) 国土交通省 (<http://www.moc.go.jp/river/toukei/birm34p.html>)
- *4 実測値 (単位: $10^4 \text{ m}^3 / \text{日}$) 宇治川・桂川の水量 (1994年) 国土交通省 (<http://wdb-kk.river.or.jp/dbmenu.html>)
- *5 実測値 (単位: $10^4 \text{ m}^3 / \text{日}$) 平成9年度及び平成10年度調査結果の最低値 (京都市)
- *6 推定値 (単位: 10^4 m^3) 「京の水辺」京都市建設局

図-3 渇水期の京都市内の水収支²⁰⁾ ($\times 10^4 \text{ m}^3 / \text{day}$)

河川等の自然水系の水を有効に活用し、安定した水利利用を考えながら消防水利を確保する必要がある。

京都市における、渇水期の総体的な水収支状況を図-3に示す。

特に古来より生活用水や水運の利用のために整備されてきた経緯を持つ河川や、これを水源とする水路は、既に身近にある水利体系であるため、防災水利として最も有効に活用できると考えられる。

仮に京都市域の河川すべてを、消防水利として換算すれば、流量で1日あたり362万立方メートル、毎分で約2500立方メートル流れているため、毎分1立方メートルの放水を40分間継続できる条件²¹⁾で見れば、渇水期に震災が起きても、防火水槽の約2500箇所分(現有設備と同数以上)の能力を持つことになる。無限に供給され続ける水利でもあり、優れた可能性を持つと言える。

(2) 消防水利の現状

現在の京都市と、震災当時の神戸市の消防水利の確保状況を表-2に示した。

京都市の消火栓への依存度は震災当時の神戸市とほぼ同じ状況にあり、京都市に同規模の震災が起きた場合には、神戸市と同等の消防水利不足が起こる可能性が高いことを示している。全体として公設消防のみが使用できる消火栓・防火水槽に対して、誰もが利用できる自然水利等の割合が低く、それらの整備が急がれている。

表-2 京都市と神戸市の消防水利比較²²⁾

水利種別	京都市		神戸市	
	箇所数	割合	箇所数	割合
消火栓	21,520	87.2%	24,362	86.1%
防火水槽	2,205	8.9%	1,303	4.6%
井戸	7	966	8	2634
貯水池	128		890	
プール	338		243	
溪、河川、湖川	476		830	
その他	17		663	
計	24,691	100.0%	28,299	100.0%

(3) 疏水型開水路の消防水利としての可能性

水利が、地震火災時にも有効に機能するためには、2章で示した地震火災に有効な消防水利の条件を満たしている必要がある。

本研究報告では、京都市においてこれらの条件を満たす水利の1つとして、特に疏水型開水路に着目する。疏水型開水路は自然河川から流量調節された自然流下式の水の流路であり、「自然水利を活用する」に適合する。また、始めから目的的に流量調節されていることから、消防水利としての一定のポテンシャルを維持しやすく、開渠で常に目に見える形で存在するため、「利用が容易である」に適合する。普段から市民が親しむことのできる水辺として整備することも可能であるため、「日常時・非常時に併用できる」にも適合する。何よりも疏水型開水路は、京都市においては、古来より運河、農業用水、生活用水として開削されたものが既に多数存在しており、京都は恵まれた素質を保有しているといえる。

4. 開水路を活用した消防水利確保の方策

消防水利の水量不足を解消するためには、既存の水を京都市内のできるだけ各所に供給し、かつ多量にストックさせておく方法を考えなくてはならない。本章では、導水により水流を確保し、貯水により水量を確保するという、疏水型開水路を消防水利として活用する上で必要と考えられる、2段階・計4つの整備方法(Type)について整理する。(表-3)

(1) 導水による水流の確保

疏水型開水路を消防水利として活用するには、まず、既存の水路に導水することで一定の水流を確保する一方、水のない地域に対しては小水路の再生・整備が必要となる。

a) Type1-A：水路のネットワーク化

重要な既往報告の一つ「山紫水明の町づくり-京

表-3 4つの整備方法(Type)

	形式	手法	特徴
Type1-A	導水	水路のネットワーク化	水路同士を水で結ぶ 不足した流量を補完できる 流路が分断している箇所をつなげる
Type1-B		小水路の再生・整備	公設消防の機能しない密集地へ導水する 主に市民の初期消火活動に活用できる 水量・水深の不足時に簡単に堰上げできる
Type2-C	貯水	堰による河内貯水	開水路周辺を公共空間として整備できる 堰などの閉鎖な構造で水量が確保できる 衛生的な水を溜められる
Type2-D		公共スペース等への河内貯水	都市内公共スペース等を有効利用する 河内以外にも貯水量を確保できる 貯水部を親水スペースとして日常活用できる

の川再生検討委員会からの提言」²³⁾においては、「町に身近な水が確保できるように自然水利による水路網の形成」を提言している。

報告書では、京都市を4つに分割し、桂川と琵琶湖疏水の水を市内全域に供給するシステム(図-4)と、堀川と西高瀬川等の流路をつなげて水を導水するシステム(図-5)の2つの提案を行っている。

特に西高瀬川と堀川に関しては、市内中心部を通る水路であり、消防水利としても復活が期待されるが、現状の西高瀬川については天神川以東、堀川については開渠である一条通〜押小路通間は、水量が極端に少ない。これらの形骸化している既存の疏水型開水路に、桂川や琵琶湖疏水から水を流し込めば、提言にあるように、京都市中心部の消防水利の拠点として極めて有効に活用される可能性を持つ。

本研究報告では以降、水路のネットワーク化に際しては、基本的にこの提案に沿うものとするが、特に「堀川と西高瀬川間の開削による接続」という、大規模な改変を伴う方法については、趣旨からも考慮しないものとした。

b) Type1-B：小水路の再生・整備

京都市内には家屋が密集し、道路の幅員が狭い地域が数多く存在する。そのような地域での消火活動上の問題点としては、消防車が進入できないことが挙げられる。このような場合、市民による初期消火活動は、火災被害を最小限に食い止めるための唯一の重要な活動となり、早期に消火活動を可能にする

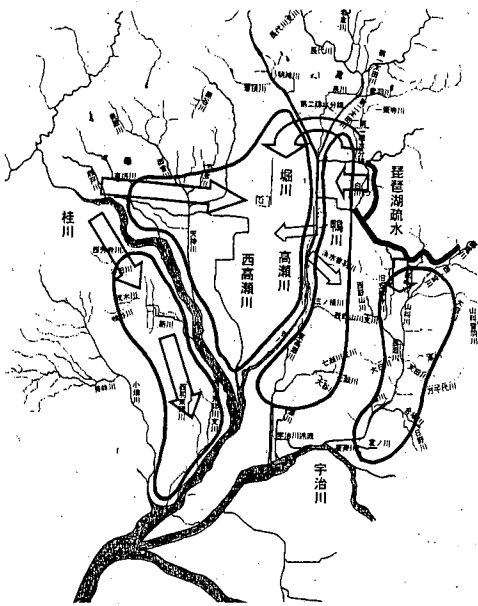


図-4 桂川と疏水による水供給構想²⁴⁾

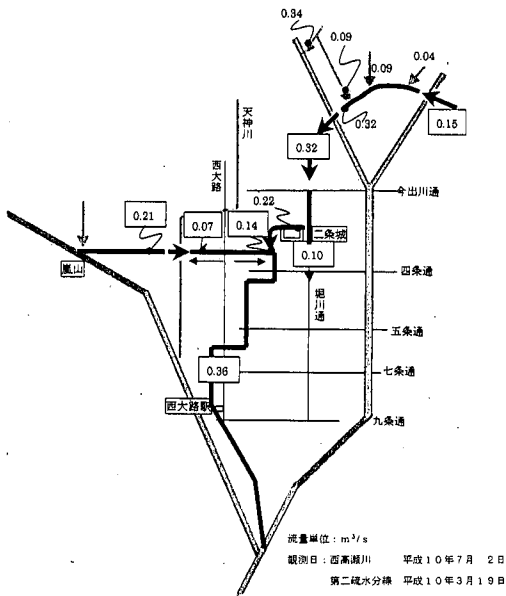


図-5 堀川と西高瀬川のネットワーク化²⁵⁾

ためには、平時から可能な限り市民の身のまわりに水を流しておくことが重要となる。

小水路を再生・整備することは、公設消防が十分に機能しない住宅密集地において、初期消火活動における有効な消防水利と位置づけられるとともに、平常時には散水や小規模の水辺空間として市民に活用されることが期待される。道路脇などの小水路を再生整備し、特に水利の無い地域では、小規模の改変によって新たに開削することも考えられる。

小水路では、簡単な堰などを使うことで、適宜水量や流水方向を調節していくことができる。水量や水深が不足する場合には、土嚢等を用いて任意に水をせき止め、堰上げを行うことで利用を可能にすることが考えられる。

(2) 貯水による水量の確保

導水された水を消防水利として活用するには、万一流水が途絶えても出来る限りの水量をその場に確保し、ポンプ等での取水も可能とするために、一定の水量、水深を確保しなければならない。そのためには、堰等で河道内に水を溜めることや、河道外の周辺地域に導水して水を溜める手法が有効となる。本報では、前者を「河道内貯水」、後者をこれに対して「河道外貯水」と呼ぶこととする。

a) Type2-C: 堰による河道内貯水

堰のようなシンプルな構造により、流水を溜めることで、河道内に水量、水深を確保する方法である。

貯水する上では、図-6 のように堰の配置によって貯水量に大きな変化が見られるため、最低限でも全域に渡って確実に取水できる水深を確保できる配置間隔とすることが基本条件となる。

実際の整備に際しては、市民が容易に利水可能となるように、安全に水に近づきやすい仕組みが重要となる。同時に、万一の増水に対する治水や、維持管理の観点からも、技術的な工夫が不可欠となるため、今後の具体的課題として検討する必要がある。

b) Type2-D: 公共スペース等への河道外貯水

絶えず流れる水を、消防水利の不足しがちな地域にまで導水し、防火水槽として貯水する。できるだけ多くの水量を地域内に確保する観点からも、水路に近い地域でも積極的に進める必要がある。

水路の水を導水することは、水を溜めながら流すことを可能にし、常にフレッシュな水を確保することにつながる一方、万一の増水時に備える遊水池としても機能させることができる。導水に際しては、非常時でも機能するように、動力を利用せず勾配を利用する自然流下式が望ましいため、堰のような簡単な水量調節機能を備える必要がある(図-7)。

整備に際しては、人々が安全に水に触れられる公共空間として計画することにより、震災時にも誰もが認知し、利用できる消防水利として位置づける必要がある。

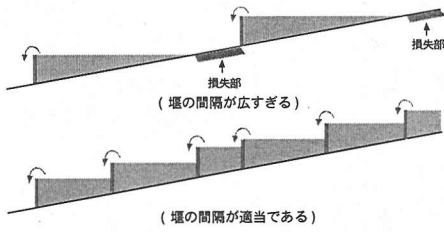


図-6 堰等による河道内貯水の概念図

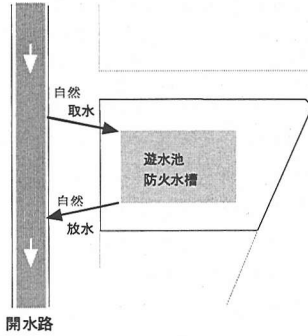


図-7 公共スペース等への河道外貯水の概念図

5. 京都市の疏水型開水路を活用したケーススタディ

京都市内には古来より、輸送や灌漑等を目的として整備されてきた疏水型開水路が数多く存在する。一部の水路は現状でも消防水利として有効に機能し得ると考えられるが、多くはそのままでは活用困難な状況にある。これらの疏水型開水路を、形態やその周辺環境により、大きく3つのケースに分類した。

- 公設消防が進入できない狭い路地を持つ地域を流れる疏水型開水路
- 住宅密集地を流れるため接道しておらず、公設消防の接岸が困難である疏水型開水路
- 比較的大きな河道を持つが水量が乏しく、活用が困難である疏水型開水路

本章ではこれら3つのケースに対応する代表的な京都市内の疏水型開水路を選択し、ケーススタディとして、日常時の都市内水辺空間と震災時の消防水利という複合機能を目指した整備計画を提案する。あわせて、計画後の貯水量を対象に、消防水利としての有効性について評価を行う。

(1) 対象とする疏水型開水路とその区間

京都市内に存在する疏水型開水路の中から、その現状と周辺環境より、前掲の3つのケースに対応する代表的な水路とその流域内の対象区間として、表-4の3区間を選定した。

表-4 対象とする開水路とその区間

開水路	対象区間	選定理由
高瀬川	三条通～四条通南	京都市の繁華街である木屋町通がある 木造建築の密集する先斗町通がある 公設消防が機能せず市民消火が必要である
西高瀬川	三条通～上御所橋	天神川で流路が分断されている 住宅密集地を通り、かつ接道箇所が少ない 橋からのアプローチが必要である
堀川	一条通～押小路通	自然水源を持たない 広い河道を持ち広い幅員の道路に接道する 広域防災拠点として活用できる

(2) 疏水型開水路を用いた貯水に関する整備基準

疏水型開水路を活用した貯水を行うとき、堰の高さや配置、消防水利の構造に関して一定の基準が法令等により定められている。ケーススタディを行うにあたり、これらの基準の整理を行う。

なお、本報では疏水型開水路の性質上、震災時に家屋倒壊等により水路が塞がれ、流水そのものが断たれる可能性が残されることを考慮し、主に「貯水」による確保水量のみを対象として、消防水利としての可能性を評価することとした。

仮に水が供給され続けた場合の「流水」に対する時間軸を含めた能力評価や、それを保証するための水利権等の整備基準の整理、流量の具体的設定等については、今後の課題としたい。

a) Type2-C「堰による河道内貯水」の整備基準

- 堰の高さは中小河川の堀込み河道における計画高水位(地盤面より0.6m)²⁶⁾と一致させる
- 水利は地盤面から落差4.5m以内²⁷⁾とする
- 全域に渡る取水を可能とするため、消防水利の最低基準の水深0.5m²⁸⁾に余裕を持たせ、倍の水深1.0mを最低限確保する

b) Type2-D「公共スペース等への河道外貯水」の整備基準

防火水槽は、消防水利基準で規定されている水深0.5m以上、地盤面より4.5m以下、貯水量40m³以上²⁹⁾という条件をふまえ、さらに四面から火元を取り囲むために、消防ポンプ車2台で利用する通常火災の体制を想定して、貯水量としては倍の40×2=80m³を確保できるよう整備するものとした。

(3) 消防水利としての有効性の評価方法

a) 消火活動可能範囲

消防水利の整備基準では、消防水利から防火対象物までの直線距離が140m以内と定められており³⁰⁾、一点の消防水利から有効に消火活動が行える距離は最高で140mとなる。

b) 有効性の評価方法

疏水型開水路の活用により得られた水量の、地震火災に対する有効性を評価するため、本報では、阪神・淡路大震災において神戸市内で最も建物火災被害率の高かった長田区と同規模の被害状況を想定して、消火活動可能範囲内における消火に必要な水量を概算し、貯水可能な水量との割合を見ることとした。ここに定義される「消防水量充足率」は下記の式で概算される。

$$T = S \times \alpha / 100 \times \beta / 100$$

$$U = T \times \gamma$$

$$R = Q \div (U \times \theta) \times 100$$

T	: 範囲内の木造住宅総延べ面積 (m ²)
S	: 範囲内の面積 (m ²)
U	: 範囲内の焼失予測面積 (m ²)
R	: 消防水量充足率 (%)
Q	: 貯水量 (m ³)
α	: 範囲の属する行政区での住宅平均容積率 (%)
β	: 範囲の属する行政区での木造家屋率 (%)
γ	= 0.10 : 総延べ床面積に対する焼失面積の割合
θ	= 0.51 : 単位面積あたりの消火必要水量 (m ³ /m ²)

なお、震災時の長田区では、区内の木造住宅総延べ床面積 3,064,160.7 m²のうち、地震発生後3日間に焼失した延べ床面積は 302,732 m²³¹⁾となっており、火災のほとんどが木造住宅密集地で発生したものと見なせば、この割合 (0.10 = γ) は、最も被害の大きかった地域における木造住宅床面積の焼失割合に近い値と見なすことが出来る。また、消火に必要な水量については、震災時の神戸における消火活動実績をもとに、単位焼失面積あたりの消火必要水量 (= θ) 0.51m³/m² が算定されており³²⁾、本報ではこれらの値から、同規模の木造住宅被害を想定して消火必要水量を概算することとした。

(4) 高瀬川を活用したケーススタディ

京都市には道路の幅員が狭いため公設消防による消火活動が期待できない地域が数多く存在し、著名な地域に先斗町通、石塀小路などがあげられる。本稿ではケーススタディとして、新旧の京都の文化を色濃く残し、京都の繁華街となっている木屋町通と伝統的な木造建築の密集する先斗町通 (写真-1) を地震火災から守る目的で選定し、高瀬川の流れる木屋町通、先斗町通とそれに続く西石垣通を含む三条通～四条通の全長約 688m を対象区間とした。

なお高瀬川は、鴨川から取水し鴨川の高水敷上を流れる「みそそぎ川」を水源としているため、新たな水路のネットワーク化 (Type1-A) は必要とされない。一方で、高瀬川は護岸高さが 1m 程度しかなく、河道内に貯水したとしても消防水利として十分

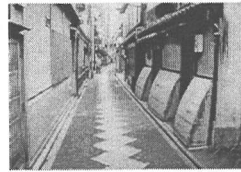


写真-1 先斗町通の木造建築群

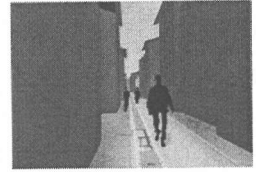


図-8 小水路による導水

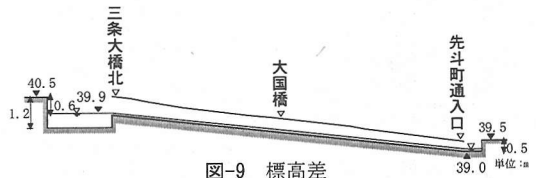


図-9 標高差

な水深を確保できない可能性があるため、堰による河道内貯水 (Type2-C) は採用しないものとした。

a) Type1-B : 先斗町通への小水路による導水

先斗町通は幅員が約 1.5~2m であるため、公設消防自動車が進出できず消火活動を行えない可能性が考えられる。

市民消火に資するため、高瀬川の水を先斗町通全域に渡って導水するための、取水地点、放水地点を決定した。取水に関しては、取水地点での堰上げを行い、取水した水は地形の勾配を活用して先斗町通へと導水する。取水地点から先斗町通入り口には 0.9m の標高差が見られ、先斗町通の標高も北端～南端へと南に進むにつれ低くなる (図-9) ため、先斗町通りに導水された水はその標高により自然流下が可能となる。導水された水は、市民による初期消火活動に活用されることが期待されるため、開削水路の断面は、一般的なバケツのサイズ (口径約 0.3m、高さ約 0.3m) を確実に活用できる寸法をとって幅を 0.4m、水路内の水深や水量を増大させる堰の高さを 0.4m とし、治水面から開水路の深さを 0.5m とした。

先斗町通は南部に進むに連れて狭くなり、その幅員は約 1.5m~約 2m である。この細い路地に幅 0.4m もの小水路を整備すると、お年寄りや車椅子などの体の不自由な方が水路に落ちるといった危険性があるため、小水路全域に人間の手で取り外しが可能な木製の板を設置することとした。木製の板の長さは 1.0m、手を入れられる隙間は 0.03m とした。(図-8)

b) Type2-D : 先斗町児童公園での河道外貯水

木造の密集する先斗町通には、先斗町児童公園という唯一の公共スペースが存在する。(写真-2)

これを、消防水利の確保や都市内の水辺空間として有効活用するために、公共スペースへの河道外貯水 (Type2-D) を採用することとした。(図-10)

親水スペースは実際人々が水に触れる等、中に入っても危険性のない水量、水深でなければならない

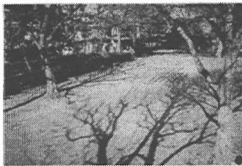


写真-2 先斗町児童公園

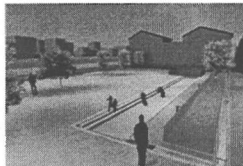


図-10 公園と河道外貯水

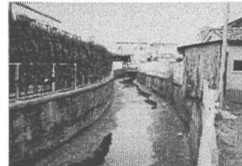


写真-3 西高瀬川(天神川以東)

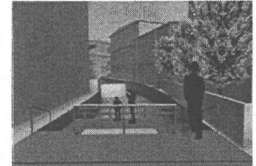


図-12 河道内貯水

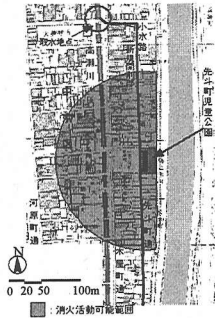


図-11 消火活動可能範囲

表-5 消防水量充足率

所属行政区	中京区
平均容積率(%)	95.3
木造建物比率(%)	69.5
消火活動可能面積(m ²)	32538
木造住宅総延べ床面積(m ²)	21550.8
焼失予測面積(m ²)	2155.1
消火必要水量(m ³)	1099.1
範囲内貯水量(m ³)	80
消防水量充足率(%)	7.3

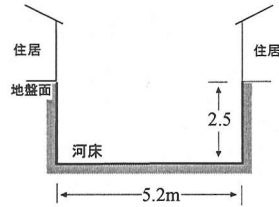


図-13 標準断面図

一方、防火水槽は基準に適應した水量、水深とする必要があるため、同じ流路に2つの異なる機能をつなぎ合わせる方法を採用することとした。

防火水槽は消防水利の基準に従い貯水量は80m³、水深は4.0mとなるように計画した。親水スペースは、子供たちが水に入っても安全なものとするために階段護岸を採用し、水深を0.3mとした。

c) 貯水量による消防水利としての有効性

対象区間の三条通～四条通南では、小水路は市民による初期消火を中心に有効に機能すると考えられるが、流水であるために本報の範囲では消火能力の算出を行わない。ここでは河道外貯水の防火水槽部のみを対象に消防水利としての有効性を評価する。

防火水槽は点水利と見なされることから、消火活動可能範囲は図-11のようになる。

消火必要水量は1,099.1m³となるが、貯水量は80m³であるので、消防水量充足率としては7.3%となった(表-5)。

(5) 西高瀬川を活用したケーススタディ

京都市の住宅密集地域では、水路が存在していても河道が道路に面しておらず、消防ポンプ車などの公設消防が接岸困難となるケースがある。この代表的な事例である西高瀬川は、現状では水源である桂川からの水がすべて天神川に流れ込み、天神川以東は水がほとんど存在せず河道のみが残っている。そこで、最も危険性の高い箇所を整備するという観点から、天神川以東の流路の中で住宅密集地域を通り、かつ長距離にわたり河道に道路が面していないため現状のままでは水の利用が困難となっている三

条通～上御所橋の全長2090mの区間を対象とした。

対象区間は河道に沿う上、水路に接した公園が存在するために、離れた場所に導水する小水路の再生・整備(Type1-B)は採用していない。

a) Type1-A: サイフォンによるネットワーク化

4章(1)節 a)項の設定に従い、天神川以東に水を復活させるには、桂川から一ノ井堰で取水した水を天神川を越えて導水することが必要となる。

天神川を越えるには、サイフォンで地下を通す方法と橋で天神川の上を通す方法が考えられるが、一般にサイフォンは用水路や下水路等が河川を横過するときや、計画河床高及び計画高水位が異なる河川が交差するときに用いられている²¹⁾。交差部の特徴として、深い天神川の断面と、西高瀬川の流路と計画河床高のずれが挙げられることから、サイフォンを用いる方が適切であると考えた。

b) Type2-C: 堰による河道内貯水

対象区間における河道は、三面張り構造であり(写真-3)、既存の河道を有効に活用する方法として、堰による河道内貯水を採用するものとした。

この区間は河道が道路に面しているところが少ないため、消防水利を得るには、数多く架かる橋からのアプローチとなる。橋を基点にした張り出し型のデッキを用いる(図-12)ことで、約5.2mの川幅を有効に活用するものとした。

c) Type2-D: 壬生児童公園における河道外貯水

対象区間の中程に壬生児童公園(写真-4)が存在するが、ここは西高瀬川に面していることから、合理的に公園内に西高瀬川の水を導水し、親水スペース兼防火水槽として整備できると考えた。(図-14)

同じ流路にこれら2つの異なる機能をつなぎ合わせる形式を採用し、前出の「先斗町児童公園」の場合と同様に考えて、防火水槽の水量は80m³、水深



写真-4 壬生児童公園

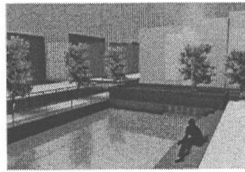


図-14 河道外貯水

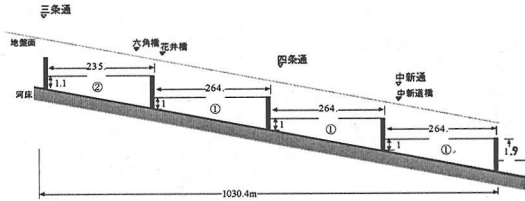
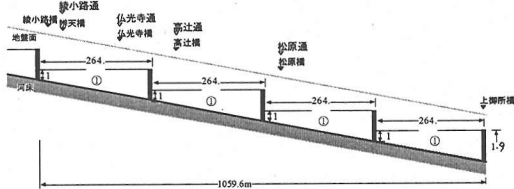


図-15 河道内貯水 (上流部)



① 台形面積: $S = (1 + 1.9) \times 264.9 \div 2$ 貯水量: $V = 358.0 \times 5.2$
 ② 台形面積: $S = (1.1 + 1.9) \times 235.7 \div 2$ 貯水量: $V = 1861.6 \times 7 + 1838.7$
 ③ 台形面積: $S = (1.1 + 1.9) \times 264.9 \div 2$ 貯水量: $V = 1861.6 \times 7 + 1838.7$

図-16 河道内貯水 (下流部)

は 4.0m, 親水スペースの水深は 0.3m とした。

d) 貯水量による消防水利としての有効性

ここでは、「堰による河道内貯水」と、壬生児童公園への「公共スペース等への河道外貯水」による貯水量を合わせて、消防水利としての有効性を評価する。

河道の断面については対象区間内全域にわたってほぼ均一の断面形状をしており、堰の配置や貯水量における計算の簡略化のため、対象区間で最も小さい断面(図-13)で一定とし、厚みは無視すると仮定した。また、実際の流路は所々曲線になっているが、勾配についても区間内の上流部と下流部の河道距離と標高差から、1:294で均一であると仮定した。なお、河道に道路が面していないところが多いため、断面や標高に関しては橋の上から測定したデータを採用した。

まず、堰の高さを決定するために計画高水位を算出する。5章(2)節 a)項から、堤防高 2.5m の余裕高が 0.6m あるので、計画高水位、即ち堰の高さは 1.9m となる。勾配は均一であると仮定したので、区間内最下流部の上御所橋付近に堰を設置すれば、次の堰の位置は、水深が 1m となる位置として 264.9m 上流

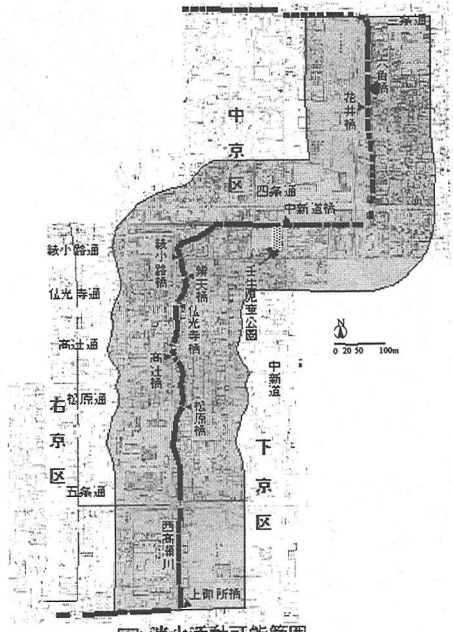


図-17 消防活動可能範囲(西高瀬川)

表-6 消防水量充足率の算定結果(西高瀬川)

所属行政区	西高瀬川	
	中京区	下京区
平均容積率(%)	95.3	91.2
木造建物比率(%)	69.5	70.9
消防活動可能面積(m ²)	404900	120750
木造住宅総延べ床面積(m ²)	268179.7	78077.9
焼失予測面積(m ²)	26818.0	7807.8
消防必要水量(m ³)	13677.2	3982.0
	17659.1	
範囲内貯水量(m ³)	14869.9	
消防水量充足率(%)	84.2	

と決定される。(図-15, 16) 同様にして順次堰の位置を設定した結果、河道内における貯水量は 14,789.9m³ と概算され、河道外貯水の 80 m³ とあわせて 14,869.9 m³ の水が貯水できることとなった。

一方、河道内貯水は線水利で、河道外貯水は点水利であることから、消防活動可能範囲は図-17 のようになる。

範囲内の焼失予測面積は、各区別で 26,818.0m², 7,807.8 m² となり、消防必要水量は 17,659.1 m³ となる。貯水量は合計 14,869.9 m³ であることから消防水量充足率は 84.2% と概算された(表-6)。

(6) 堀川を活用したケーススタディ

京都市には、比較的大きな河道を有しながらも流



写真-5 高野川

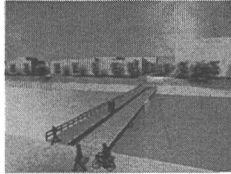


図-18 水路のネットワークワーク化

量の少ない疏水型開水路が多く存在する。この代表例である堀川は、現在は水源を失い、下水道の余水がわずかに流れるのみとなっている。

ここでは、かつての水源である琵琶湖疏水を再び導水することで、堀川の京都市中心部における水辺空間と消防水利としての複合機能化を実現させることを目的とし、現在十分な幅員をもちかつ開渠として河道が残っている一条通～押小路通の約 1,550m を対象区間とした。

本報では、対象区間の両岸に道路が通るため、河道外への開渠で導水することが困難となっている現状をふまえ、広い河道断面内のみに貯水する場合の効果を把握する意味も含めて、「小水路の再生・整備」および「公共スペース等への河道外貯水」については、採用しないものとした。

a) Type1-A: 架橋による水路のネットワーク化

明治時代には第一疏水分線の水が高野川を越えて第二疏水分線に流れ込み、さらに賀茂川を越え、紫明通、小川を通過して堀川には豊かな水が流れていた。

現在の堀川周辺の河川環境を考えるとそれ以外の水源は乏しく、4章(1)節 a)項の設定に従う形で、かつての水源確保方法にのっとり、疏水分線から導水することを想定した。

導水にあたっては、高野川・賀茂川の広い河道断面(写真-5)を横切ることを考慮して、橋を架けて自然河川の上を通すことを提案した。(図-18)

なお、高野川左岸は標高 68.0m、右岸は 67.8m であり、この標高差 0.2m を活用することで、穏やかな自然流下式の水流が可能となる。橋梁部分についても目に見える形で水を流すことができれば、水辺空間としての機能を併せ持たせることができると考えられる。

b) Type2-C: 堰による河道内貯水

堀川は三面張り構造であり、比較的大きな断面を持つことから、適切な方法で堰を設けることにより、河道内のみでも一定量の水を貯水できると考えられる。(写真-6)

また市街地に位置することから、河道とその周辺を都市内の水辺空間として構築することも期待される。ここでは、河道断面をできるだけ侵さないような進入路と、張り出し型のデッキを全域にわたり設



写真-6 堀川



図-19 河道内貯水

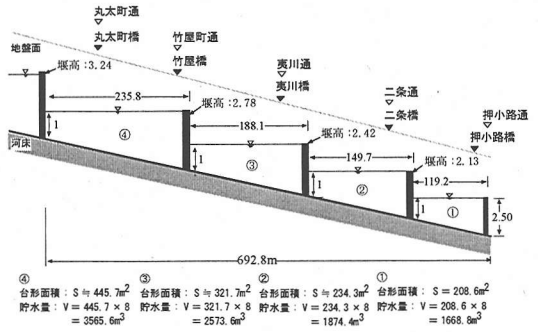


図-20 河道内貯水(上部)

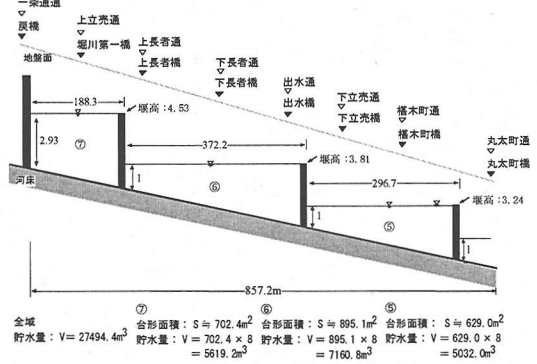
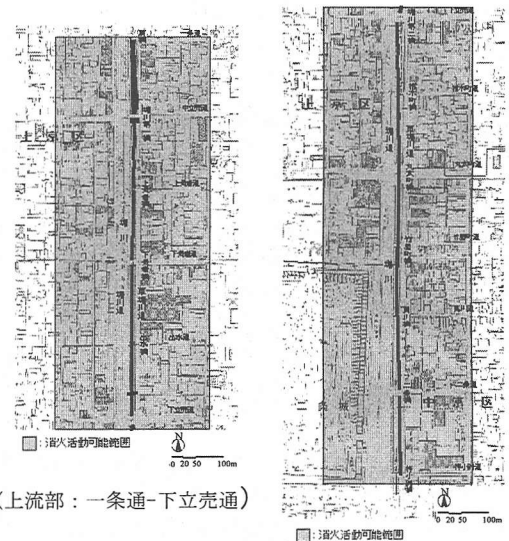


図-21 河道内貯水(下部)



(上流部: 一条通-下立売通)

(下流部: 下立売通-押小路通)

図-22 消火活動可能範囲

表-7 消防水利充足率の算定結果

堀川		
所属行政区	上京区	中京区
平均容積率(%)	105.0	95.3
木造建物比率(%)	78.8	69.9
消火活動可能面積(m ²)	182000	252000
木造住宅総延べ床面積(m ²)	150586.8	166908.4
焼失予測面積(m ²)	15058.7	16690.8
消火必要水量(m ³)	7679.9	8512.3
	16192.3	
範囲内貯水量(m ³)	27494.4	
消防水量充足率(%)	169.8	

置した上、堰上にも橋を架けることで、河道内全域へのアプローチを可能にし、8mの川幅を有効に活用することとした。(図-19)

c) 貯水量による消防水利としての有効性

堀川は、南北間で断面に差異が見られる。河床幅は8mでほぼ一定だが、護岸高さは対象区間の最北部(一条通)で5.5m、最南部(押小路通)で2.5mと、南下するに従って低くなる。ここでは簡略化のため、南北間で地盤面、河床面の勾配はそれぞれ一定、河床幅は8mで一定とし、堰の大きさや厚みは無視すると仮定した。

実際には堀川の横断面は台形をしているが、河床幅と護岸高さを辺とする長方形断面に置き換え、少ない側で水量計算を行った。(図-20, 21)

河道内貯水は線状の水利として捉えられるため、消火活動可能範囲は図-22の範囲となる。

範囲内の焼失予測面積は各区分で 15,058.7 m²、16,690.8 m² となり、消火必要水量は 16,192.3 m³ となる。貯水量は合計 27,494.4 m³ であることから、消防水量充足率は 169.8%と概算された。(表-7)

6. おわりに

(1) 本研究報告によって得られた成果

a) 疏水型開水路の有用性と活用方法

京都市の水の現状から、自然水系の雨水、地下水、河川及び排水系の1日当たりの水量が把握され、河川等では理論上、都市防災に利用可能な量として存在することが明らかとなった。特に市中を縦横に走る疏水型開水路は、地震火災に有効な消防水利の条件を満たすものであり、今後の整備を通じて、都市環境にとっても有効かつ有益な水利として可能性を持つことを示した。

消防水利としての整備方法について、導水・貯水の2段階ごとに計4種類の提案を行った。

- ・「水路のネットワーク化」
- ・「小水路の再生・整備」
- ・「堰による河道内貯水」
- ・「公共スペース等への河道外貯水」

b) 疏水型開水路整備のケーススタディと貯水量による消防水利としての可能性評価

京都市における疏水型開水路の中から、典型的な問題点と可能性を併せ持つ、高瀬川、西高瀬川、堀川を選択し、対象区間におけるケーススタディを通じて、平常時の都市内水辺空間機能と、非常時における消防水利機能とを両立させることを目標に、具体的な整備指針の提案を行った。

また、確保できる理論上の貯水量に関して、消防水利としての能力評価を行うために、阪神・淡路大震災と同等の火災被害が対象エリアのすべての木造住宅に及ぶことを仮定した場合の、消火に必要な水量を概算し、これに対して理論貯水量が満足している割合(=消防水量充足率)を求め、該当水利を用いた消火活動が可能な対象エリア全体での、必要水量に対する計画達成度の一つの指標とした。

この結果、特に堀川の開渠部においては、既存の河道内への堰の設置のみで、消火活動の及ぶ周辺地域内で想定される、阪神淡路大震災規模の地震火災に対し、理論上充分対応可能であることが示された。

(2) 今後の課題

本研究報告は、京都市内の特定地域を対象として、疏水型開水路を消防水利として活用するための、貯水を中心とした具体的な整備方針の導出を試みたものであるが、その適用範囲は基本計画の段階を出るものではない。

実際の整備に当たっては、確保水量を少しでも増やすことはもとより、さらに現実に即した対応が必要となる。親水整備の際の安全性確保、万一の際の治水対策、システムの維持管理、水利権などの調整等より広範な条件把握と詳細な対策が求められよう。

また、止めどなく供給される「流水系」の特性を考慮した、整備指針や評価方法についても今後積極的に検討する必要がある。この意味で、京都盆地の特性により巨大な賦存量を誇る地下水(図-3)についても活用を検討するなど、フェイルセーフを考慮した、多重の水利確保を目指す必要があると考える。

謝辞：本研究報告の一部は、平成12年度日本学術振興会科学研究費・基盤研究(C)(2)(課題番号：12650616)による補助を受けた成果です。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 神戸市消防局：阪神・淡路大震災における火災状況，p.8, 1996.8.
- 2) 室崎益輝：地震火災について，建築雑誌，Vol.110, NO.1377, p.53, 1995.9.
- 3) 亀山勤：震災時の水利用実態と復興への取り組み，雨水技術資料，Vol.29, 1998.
- 4) (財)消防科学総合センター：地域防災データ総覧，1997.3.
- 5) 日本火災学会：1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書，p.112, 1996.11.
- 6) 清水建設株式会社技術研究所：兵庫県南部地震調査報告書，p.149, 1995.2.
- 7) 新村出編：広辞苑 第三版，岩波書店，1999.9.
疏水：灌漑・給水・舟運または発電のために，新たに土地を切り開いて水路を設け，通水させること。また，そのもの。
- 8) 日本建築学会：建築学用語辞典，岩波文庫，1999.9.
開水路：自由表面をもつ水の流路で，特に上部が空気に開放され，勾配によって流下する水路。
- 9) 保野健治郎：平常時および地震火災時の所要消防力と火面周長に関する基礎的研究，日本火災学会論文集，Vol.47, NO.1・2, 1997.
- 10) 室崎益輝：震災時における市民行動，阪神淡路大震災における消防活動の記録，神戸市消防局，p.162, 1995.
- 11) 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/IV-17, p.193-202, 1992.7.
- 12) 澤田雅浩，高橋信之，塚越功，尾島俊雄：地震災害時を考慮した霞ヶ関地区における水供給方策に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.514, p.21-26, 1998.
- 13) 高山純一，飯坂貴宏：大震時同時多発型火災を想定した消防力低下地域の評価と消防水利計画に関する研究-金沢市を事例に-，土木計画学研究・講演集，NO.20(2), pp.475-478, 1997.
- 14) 阪神地域水と緑の環境防災都市構造形成委員会：21世紀に向けた水と緑の環境防災都市を目指して，国土交通省近畿地方整備局河川部，1998.
(<http://www.kkr.mlit.go.jp/river/index.html>)
- 15) 消防庁編：消防白書（平成9年版），大蔵省印刷局，p.158, 1997.
- 16) 神戸市消防局：阪神・淡路大震災における消防活動の記録，p.31, 1995.
- 17) 鈴木基之，村田明子，室崎益輝：阪神・淡路大震災における火災と市民による消火・延焼防止活動に関する調査研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.37-38, 1996.9.
- 18) 日本火災学会：1995兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書，p.119, 1996.
- 19) 鈴木基之，村田明子，室崎益輝：阪神・淡路大震災における火災と市民による消火・延焼防止活動に関する調査研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.37-38, 1996.
- 20) 紀谷文樹：都市をめぐる水の話，井上書院，1992.
を参考に，京都市等のデータから筆者作成。
- 21) 「消防関係法規集」消防水利の基準 第三条。
- 22) 京都市消防局：京都市地域防災計画 震災対策編，p.107, 1999.
- 23) 京の川再生委員会：山紫水明のまちづくり -京の川再生委員会からの提言-，pp.1-11, 1999.
- 24) 前掲書，p.25.
- 25) 前掲書，p.35.
- 26) 日本河川協会：解説・河川管理施設等構造令，p.109, 1978.
- 27) 「消防関係法規集」消防水利の基準 第六条一。
- 28) 「消防関係法規集」消防水利の基準 第六条二。
- 29) 「消防関係法規集」消防水利の基準 第三条。
- 30) 「消防関係法規集」消防水利の基準 第四条二。
- 31) 消防庁編：阪神・淡路大震災の記録1，1996.
- 32) 日本都市計画学会 防災・復興問題研究特別委員会編：安全と再生のまちづくり -阪神・淡路大震災をこえて-，p.124, 1999.
- 33) 土木学会：土木工学ハンドブック，技報堂出版，p.1839, 1990.

(2000.7.7 受付)

FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY SYSTEM FOR EARTHQUAKE BY MANAGING OPEN CHANNELS IN CASE OF KYOTO CITY

Takeyuki OKUBO, Takehisa HONDA and Masami KOBAYASHI

Hanshin-Awaji earthquake occurred in 1995 has revealed that present water supply system for fire-fighting was not sufficient in earthquake fires. This paper focused on proposing four models to prepare water supply for earthquake-fire utilizing open channels and planning of open channels with compounding function both water front space and fire-fighting water supply in case study of Takasegawa River, Nishitakasegawa River and Horikawa River in Kyoto City.