

# 歴史的な水利環境の保存と活用による環境防災 水利計画の提案—明治期の防災設備「本願寺水道」を 対象とした再生・活用の可能性評価—

金 度源<sup>1</sup>・大窪 健之<sup>2</sup>・荒川 昭治<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 立命館大学博士後期課程 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)  
E-mail: gr0012vx@ed.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 立命館大学教授 都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)  
E-mail: okubo-t@se.ritsumei.ac.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 榊建設技術研究所 大阪本社 技術統括部 (〒541-0045 大阪市中央区道修1丁目6-7)  
E-mail: arakawa@ctie.co.jp

日本の歴史都市と言われる京都は、古代からの街区が残っていると同時に伝統的な木造建物が数多く保全され、文化遺産としての魅力が溢れる。一方、このような歴史都市を対象とする防災計画（特に地震災害等を対象とする広範囲における対策が必要とするもの）は、美しい風景を守ることと都市の安全性を高めることが両方必要とされるため挑戦的な課題であると考えられる。

本研究では、明治期に造られ現在は老朽化などが原因となり稼働が中断されている防災設備「本願寺水道」を対象とし、土木建造物としての再生と防災水利としての活用を試した。土木建造物の保全を通して歴史都市京都における防災水利計画を策定し、対象地区の消防に必要とされる水量と、再生した本願寺水道からの供給可能な消防水利を計算することで、その活用可能性を明らかとした。

**Key Words :** *historical city, disaster prevention, restoration, water utilization, engineering heritage*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

日本の歴史都市に多数散在する文化遺産の多くは木造であり、周囲の伝統的な町並みも木造密集地域が多く、歴史都市の防災計画はこの二つを対象として展開する必要性が考えられる<sup>1)</sup>。特に、大型地震による火災等を対象とする歴史都市の防災計画は、現存する美しい木の文化を保存することも同時に考える必要がある。一方で、このような木造文化を育んだ豊かな水のめぐみは、様々な利水技術として用水や疏水に代表される表流系や、伝統的水道に代表される伏流系の水利環境を創り、地震災害時にも絶えることない防災水利と成り立っている。

研究対象の水利環境とする「本願寺水道」は、歴史都市京都の下京区にある真宗大谷派東本願寺（以下、東本願寺と称す）の防火用水供給の水道管であった。過去に4回における全焼被害を受けた経緯からその対策として防災水利を確保した物である。琵琶湖疏水の水利を鑄鉄管を用いて境内の放水施設へと供給し、標高の高低差を利用した自然水圧で水を噴き出せるようにした設備であ

る。ところで、本設備は完成から約110年の時間が経ち老朽化等の理由により2008年1月からは送水が停止され、存続の問題に掲げている。

土岐らは、地震火災時の有効な消防水利として、自然水利を活用する、利用が簡易である、日常時・非常時に併用できる、身近で豊富な水量を持つといった条件をあげ、これらのありかたとして「環境防災水利」の理念を整理している。本願寺水道における消火技術と水制御技術を、琵琶湖疏水を水源としている貯留水と高低差を生かした重力の自然流下式のシステムとして地震災害時にも有効に利活用が可能な防災水利と評価している<sup>2)</sup>。

本願寺水道のような防災水利は、近代の土木建造物が掲げている維持管理の問題と同様に消滅の危機にさらされているが、水利としての活用性を図りその利水環境が保つ遺産的価値の保存と、美しく安全な歴史都市の防災水利計画を立てることが可能であると考えられる。

表-1 研究の背景

①歴史的な水利環境を再生することで
②歴史都市の防災水利計画を策定可能

## (2) 研究の目的

本稿では、まず既往の研究を整理し本研究の必要性を抽出する(2. 本研究の位置づけ)。本願寺水道については敷設及びに利活用に関連する歴史的記録の整理と、現状の課題を整理する(3. 本願寺水道について)。現状の課題における保存と活用の方針を設定し、本願寺水道の再生案を検討する(4. 本願寺水道の再生案検討)。最終的には、再生案を基に東本願寺とその周辺地区における環境防災水利計画を提案し、その活用可能性を明らかにする(5. 環境防災水利計画の提案と評価)。

## 2. 本研究の位置づけ

本章では、「環境防災水利」、「本願寺水道」、「土木建造物の保全」に関するそれぞれの既往研究から本研究の必要性を整理する。

### (1) 環境防災水利に関する研究

今までにも地震災害から木造文化を守る「環境防災水利」に関する研究は大窪により、地域固有の自然水利を活用した消火技術と水制御技術に関する事例の調査・分析から技術情報データベースの構築を行い、実践的な「環境防災水利」整備のための計画技術が開発されたもの<sup>3)</sup>、整備の実現に向けた事業推進手法を代表的な整備事例から明らかとし、各事例の整備内容の評価を行ったもの<sup>4)</sup>、環境防災水利の整備計画を立案する際に役立つような異なる水利特性を考慮した計画を導き、消防水利や環境水利としての計画内容の有効性評価の手法を整理したもの<sup>5)</sup>がある。

本研究は、今まで試された環境防災水利の整備計画の方法を適用し、実践としての試しを図るものである。

### (2) 本願寺水道に関する研究

本願寺水道が敷設された1897年には、施工管理者であった竹内による工事報告が工学会誌<sup>6)</sup>より発表されている。本願寺水道工事監督であった田邊朔郎により「防火用引水」として蹴上のインクライン(琵琶湖疏水)に水源地を設置することや、丸山公園のあたりに本願寺水道からの分線を設置することなど、設置個所の記述がみられる。また、仕様面の記録もあり、本研究の中では再生する本願寺水道との比較対象として本報告を扱うこととする。また、村松による論考は、本願寺水道に関する記録を総網羅したものである<sup>7)</sup>。

### (3) 土木遺産及び土木建造物の保全に関する研究

土木建造物としての本願寺水道の保存と活用(保全)を検討するため、既往研究から考えられる課題や、主眼点などを抽出した。

(a) 保存・活用による町の活性化: 安田らは、保存・活用が行われてきた近代土木遺産81件を対象として、アンケート調査を行い、その実態と効果を把握した。近代土木遺産の保存活用は、大きく分けて、①近代土木遺産の保存に重点をおいているもの、②近代土木遺産の保存を含めた様々な活用事業を実施して町の活性化に役立てようとしているものに分類をされていて、後者の場合における効果には「地域住民の意識変化」や「景観づくりに寄与している物件等は、観光資源となり地域の活性化」を挙げている<sup>8)</sup>。

(b) 将来の維持管理を考える活用: 田中らは、地域との関係性を考慮して近代化遺産や歴史的土木構造物(建造物)の保全に関する課題を抽出した。

近代化遺産の活用には、地域ごとの管理体制の違いや施設の特性が大きな影響を及ぼすと考えられるらしいが、施設管理者による事業としての一貫した管理として活用を行う事が理想であり、維持・管理の時点から、将来の活用性を考えるべきだと考察している<sup>9)</sup>。

(c) 保全に関する概念の整理必要性: 土木建造物を遺産として保全する価値については 田中らにより、土木構造物(建造物)保全に関する概念整理の必要性の中で、「建築物や文化財を対象としては、改修・保全に関する技術や法制度がこれらに関する概念や用語と密接に結びついている」と述べられ、土木建造物が文化財・遺産的価値を有するため、その価値を継承するためには法制度の整備も必要とされ、そのために概念と用語の検討における重要性を挙げている<sup>10)</sup>。

(d) 地域との関連性: 近年、日本における土木建造物保全の活動の一環で、土木学会からの「選奨土木遺産」指定制度(平成8年-2000年)により、土木建造物の遺産化を進めてきているが、土木建造物の機能性と遺産的価値の共存の課題を挙げていた。これらは、景観法の制定(平成16年-2004年)から、地域の固有性や歴史・文化を評価する動きが活性化されているが、文化財であり、かつ景観重要公共施設でもある土木建造物のAuthenticityを理解するために、「地域史」は必須の調査項目であると述べている<sup>11)</sup>。さらに野村は「土木遺産」単独で地域づくりに貢献できる限界を指摘し、関連歴史以前に土木建造物の地域に対する役割を根源的に問う必要性を述べている<sup>12)</sup>。

## 3. 本願寺水道について

研究対象である本願寺水道の現状と課題を明らかにするため、本願寺水道における特徴と歴史からの活用事例を分析し機能の特性を整理する。現状では、本願寺水道が直面している老朽化と腐食・漏水における問題を、現地調査の結果と、一般的な铸铁管から見られる流速係数

の経年変化から、物理的な問題性を提議する。また、近代土木建造物としての本願寺水道の価値評価を行うため、近代土木建造物として掲げている価値存続の一般的課題を、本願寺水道において適用し課題と価値を評価する。

### (1) 本願寺水道

(a) 本願寺水道とは：東本願寺の防火用水工事を目的に、京都市蹴上琵琶湖疏水に沿って設置されている水源地から東本願寺までを通る鑄鉄管(図-1)と、境内における消火設備や防火設備に繋がっている地中の配管(図-2)を称する(各図における赤線が本願寺水道)。

(b) 本願寺水道の完成と活用：東本願寺は浄土真宗大谷派の総本山であり、過去に4度における全焼の火災被害にあっている。それからは、4度にも及ぶ火災のため、消火体制の整備と共に防火設備の建設が進められ、明治23年琵琶湖疎水が完成すると、その豊富な水量を用いて防火用噴水を設置した<sup>13)</sup>。

明治13年(1880)年、4回目の火災から両堂再建をする際、①西側の防火壁の築造、②境内北側からの延焼を防ぐ火除け地の設定、③消防夫の増員による分団編成やポンプ一艇の整え等の消火活動の充実化、④防火用水の確保といった防災対策を立てた中、本願寺水道は④の防火用水

の確保のため築造(1897年完成)された。

完成から活用においては、延澤による「本願寺水道と防災設備」といった論考から抜粋し、整理した<sup>14)</sup>。

①東大谷(大谷祖廟)における分岐-ハイドロリックラム(自動揚水機械)の利用：本来の防火目的とは異なる事ではあるが、記録によると「祇園小堀通(現、東大路通の四条通より上側)の本管から分岐して通水工事が併せて行われた」という。真宗大谷派本願寺大谷別院測量図の中には円山公園を通り、ハイドロリックラムと大谷別院内の貯水池までの管路が表れている。②明治30(1897)年-「噴水防火大試験」を行った(図-3)。図がその当時の状況を示しており、御影堂の周りに放水の姿を見れる。その当時、五条大橋の辺りで事故があり、7割程度の水圧しか得られなかったと記されているが、3個半(0.0973m<sup>3</sup>/秒)における水量の7割で、2時間にかけて試験結果は良子であったとされる。③大正7(1918)年-蓮型噴水、涉成園、宮御殿-自然水圧で水供給。④昭和25(1950)年-1950年11月18日に発生した京都駅駅舎の火災の際、北に約400m離れている東本願寺のお堀から消火用水調達したという記録が残っている。⑤昭和26(1951)年-④の事件をきっかけとして京都市消防局から消防法による消防水利として、東本願寺のお堀水を使用する契約締結したという。⑥昭和33(1958)年-五条大橋西側広場の噴水に本願寺水道の水を使用したい京都市の申し入れに関して、使用の承諾を通知している。⑦昭和54(1979)年-本願寺水道に依存していた防火設備の老朽化が進み、その機能が落ちたため防火設備としては機能閉止され、新たなドレンチャー設備完備したという。さらなる背景としては、昭和52(1977)年に、御影堂北側回廊床下の防火による火災と、御影堂内の爆破事件の影響があったと思われる。

本願寺水道の活用事例を通して、その機能特性を以下

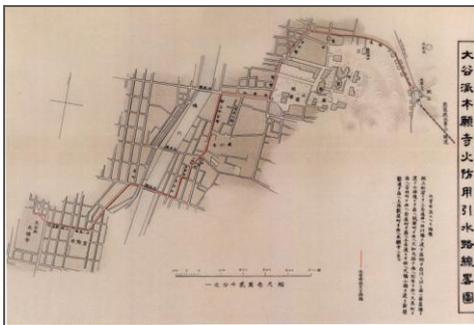


図-1 市街地の本願寺水道配置図

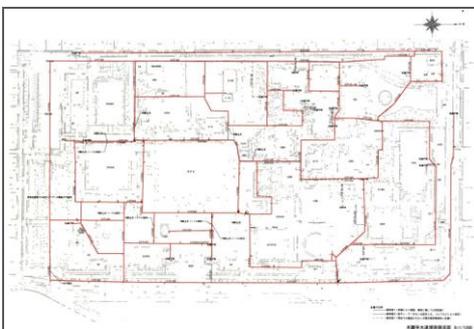


図-2 東本願寺境内の本願寺水道配置図



図-3 噴水防火大試験(1897年写真)

のように整理した。

- ・災害時：防火用や鎮火用の水利として直接的な本願寺水道の役割と、東本願寺に貯水した水源を消防水利として使う間接的な役割

- ・日常時：周辺の水環境と景観造成。災害時や、日常時において活用されてきた環境防災水利として、東本願寺やその周辺地域、または、本願寺水道が通っている京都市内においてもその活用可能性がある。

(c) 本願寺水道の劣化：Hazen-Williamsの式によると、時間が経つ事で流速係数が低下すると判明されている。平滑な鑄鉄管の場合、完成から約70年後にはその半分までに低下する事が確認でき、完成から約110年の時間が経っている本願寺水道の現在の流速係数は、C50以下を予想している。

#### 4. 本願寺水道の再生案検討

本章では、本願寺水道の保存と活用に向けた再生案を検討する。再生工法においては近年日本の水道管の改修工事に行われる管更生工法を適用した。再生工法の評価は水利供給を図る水理計算を行い、能力評価を行った。

##### (1) 本願寺水道の再生方針設定

(a) 本願寺水道の保存と活用：文化遺産保存の視点から、本願寺水道の鉄管は可能で限り本管を残し、現状の価値を維持させる。（修復を行った一部区間を除くは、1895年創設当時の元管が原形を保っている想定している）土木建造物活用の視点から、消防水利としての水利供給性能や機能を、初期の水準もしくはそれ以上の要求される水準にまで改善させる。

(b) 大規模火災における有効な消防水利：地震などの大規模災害から生じられる「大規模火災」の際には、一次災害である地震により、配水管及び吸水管の損傷などで広範囲にわたる地域で断水し、通常時使用している消防水利である消火栓は、その供給経路である水道管の破損によって断水し使用できない可能性がある<sup>15)</sup>。このように阪神・淡路大震災の経験から、地震災害時公設消防力の低下は問題視されており、さらに、本願寺水道が設置されている京都市におかれては、京都盆地・山科盆地を中心として、山地、丘陵、低地の地形境界部には活断層が分布しており<sup>16)</sup>、震度7以上の地震を想定している（花折断層）<sup>17)</sup>。伝統的な木造町並みが保存・継承されている京都市は火災に極めて脆弱であり、地震火災時にも使用可能な消防水利の確保が急務である。これらの事を踏まえ、本願寺水道の再生案に向けては、以下の方針を設定する。地震火災時にも供給可能な大量の消防水利の確保（耐震性の確保）

表-2 各改修工法の特徴と評価

敷設替工法	
工法の特徴	老朽した本願寺水道本管を撤去し、新管（ステンレス鋼管 φ300 mm）に入れ替える工法。流速係数 C80 と想定され、流量 0.082 m <sup>3</sup> /秒の水利を期待することが可能
再生方針における評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本管の内径がそのまま維持されるため、水量の確保可能。</li> <li>・溶接による管の一体化が可能であるため（分岐を含め）、耐震性確保可能。</li> </ul> ※本願寺水道本管を取り換える事で 1895 年当時の本管を無くす可能性あり（方針①を満たせない）
管更生工法-①パイプインパイプ工法	
工法の特徴	規格品である水道配水用ポリエチレン管（内径 φ200 mm）を既設管内に引き込んでいく工法。既設管よりサイズダウンした管を挿入するため、既設管との間に隙間が生じるが、セメントミルクを注入することで隙間を充填することも可能である。流速係数 C150 と想定され、流量 0.054 m <sup>3</sup> /秒の水利を期待することが可能
再生方針における評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本願寺水道本管はほとんど残す事が可能（継手の所を除く）</li> <li>・融着により管の一体化が可能であるため（分岐を含め）、耐震性確保可能。</li> </ul> ※流速係数は高くなるが内径が縮小されるため、敷設替工法による予想流量より減少する（方針③を満たせない）
管更生工法-②クローズフィット工法	
工法の特徴	ポリエチレン管（内径 φ280 mm）を地上でバット融着し、ハート型に成形された後、ワイヤーにて牽引し、既設管内に引き込まれ、水圧にて円形復元する。復元後ポリエチレン管は内圧により既設管内面にクローズフィット（密着）する。流速係数 C150 と想定され、流量 0.130 m <sup>3</sup> /秒の水利を期待することが可能
再生方針における評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本願寺水道本管はほとんど残す事が可能（継手の所を除く）</li> <li>・本管の内径は少々縮小するが、流速係数が高いため敷設替工法による予想流量より増加する。</li> </ul> ※活用における分岐の際に金属継手で接続するため、管の一体化ができず耐震性の問題が生じるため、枝管を敷設出来ない（方針②を満たせない）

##### (2) 再生案の検討

(a) 管更生工法について：本研究における本願寺水道の再生案は「地震火災時の有効な消防水利」である環境防災水利としての評価を行うため、再生案はせめて耐震性の確保と水量の確保を重視する必要がある。厚生労働省の水道ビジョンおよび日本水道協会の水道事業ガイドラインにおいて耐震管として定義されているのは①耐震継手を有するダクタイル鑄鉄管、②溶接鋼管、③配水用

ポリエチレン管（融着継手）の3種あり，上に挙げた三つの改修案の管材は耐震性には問題ないと判断される。一方で，方針①からの文化財的価値を守るためや，実際の施工を想定すると，本願寺水道本管を取り換えることが少なく，施工するための立抗スペースが少ない「管更生工法」が改修方法として望ましい。しかしながら，水量の確保のために望ましいと判断されるクローズフィット工法に関しては，分岐の際，金属継手で接合するため耐震性の問題が見られている。そこで，活用の幅を広げるため分岐を行う上で，耐震性が確保される管更生工法①パイプインパイプ工法の材料と主に使われる内径φ200mm管を，同じくISO規格品であり，常用圧力0.78Mpa(SDR13.6)の238.8mm管で代替したパイプインパイプ工法を検討する（表-2）。

(a)再生案の評価：再生案の能力評価のため，管網の水力計算ソフトを用いて，本願寺水道のモデルを作成した。配置は，かつて本願寺水道の施工や補修，管理をしている(株)岡野組により1992年に行われた実測調査により埋設場所が明らかになっている16か所の場所を水力計算上の交点として作成した。計算を行うために最終流出口として①（東本願寺），地震火災による危険性が高いと判明されている地区であるため，水利が必要とされる②，⑧，⑩，⑪，本願寺水道を流れる水利の特性を調べるため⑬，6カ所の「流出点」を設定した。さらに水量を確保するため区間別に工法を分け，貯水池⑭から⑯までには水量確保の目的として内径φ280mm管で，⑯から①東本願寺までには，地震火災の危険性が高いと判明されている地区があるため活用区間として，分岐が可能である，φ238.8mm管での再生案も検討する。①～⑯における分岐が必要とされる区間には，さらにかつて大谷祖廟への枝管が併設されている事で，将来的にはこちらの枝管にも再生の可能性を残すために①～⑯まで，分岐が可能なパイプインパイプ工法での再生を仮定するのが望ましい（図-4）。最終的に能力評価を行う再生案は，以下の5ケースを設定した（表-3）。

以上のすべてのケースにおいて，防災水利としての能力を検討するため①，②，⑧，⑩，⑪，⑬の各流出点に供給される水量は無限として（琵琶湖疏水を水源としているため），本願寺水道の環境防災水利としての特性を基にし「重力」で供給可能な各流出点での流量（水量/時間）を算出する。最終流出点である①から⑬の低い標高から高い標高へと一点ずつ増やしていき，流出量の変化を測った。

計算の結果，ケース②管更生工法―クローズフィット工法による再生案のみが，明治期の本願寺水道を想定して設定したケース①より高い最大流出量が算出された。二つの工法を組み合わせたケース④以外のすべてのケースは同じ形の特性曲線を表わしていて，その理由は本願

表-3 再生案の設定

ケース名	設定の基準	設定値
ケース①	明治期（完成まもなく）の本願寺水道を推定し，計算の基準値として設定。 （一般的に埋設された管路の $C_H$ の値は，管内面の粗度と管路中の屈曲，分岐部等の数及び通水年数により異なる。新管を使用する設計においては，屈曲部損失等を含んだ管路全体として $C_{H10}$ を設定している）	本管の内径： φ300mm 本管の流速係数： $C_{H10}$
ケース②	敷設替工法による本願寺水道の修復を行った状態を推定。	本管の内径： φ300mm 本管の流速係数： $C_{H8}$
ケース③	管更生工法のクローズフィット工法により，本願寺水道を再生した場合を推定。	本管の内径： φ280mm 本管の流速係数： $C_{H15}$
ケース④	管更生工法のパイプインパイプ工法により，本願寺水道を再生した場合を推定。	本管の内径： φ238.8mm 本管の流速係数： $C_{H15}$
ケース⑤	水量の確保と，分岐における管の耐震性を確保するため，クローズフィット工法とパイプインパイプ工法の併合流出点①～⑯の分岐が必要とされる区間と，⑯～⑰の水量確保区間に分けた。	①～⑯区間 本管の内径： φ238.8mm 本管の流速係数： $C_{H15}$ ⑯～⑰区間 本管の内径： φ280mm 本管の流速係数： $C_{H15}$



図-4 流出点とケース④の設定

寺水道の配置の構造的特徴からであると分析している(図-5, 図-6)。

⑫と⑪の区間は、貯水池⑬から35mの急激な標高降下の後、740mの距離にかけて標高差がほとんど変わらないことから、流出点⑪より標高が低い区間に対しては流出点⑪の高さと(43m)と各流出点の高低差で一意的に流量が決まる(図-6)。一方で、すべての本願寺水道の本管において同じ内径(φ238.8mm)で再生するケース③とは異なり、工法を組み合わせているケース④では、貯水池⑬から流出点⑫までの内径が大きい分、流量が多い。標高差がない流出点⑫と⑪の間では、位置水頭の差がないため、有効水頭により流量が決まると想定される。⑫を基点に内径は縮小するが、⑫までの流量が多いため、⑪の流出量によって⑪より標高が低い区間の一意的に決まる流量とのバランスを取っていると分析している。

この流出量算出式の計算結果では、各ケースごとの比較により評価はできたものの、本研究の目的として、再

生した本願寺水道の水源をもとに地域の防災水利としての評価を行うためには、その基準を地域の消火設備の必要流量に合わせる必要があると判断され許容圧力値を変数とした水理計算を行った。

本水理計算では、東本願寺境内の消防用のポンプと他地区の消火栓からの必要流量を設定し、結果としては水利を供給する側である本願寺水道の最終流出点における境内ポンプでの有効水頭を算出し、各ケースにおける圧力特性曲線を作成した。境内においては、消防用のポンプである1.8m<sup>3</sup>/分の境内ポンプ①と、3.2m<sup>3</sup>/分の境内ポンプ②で水理計算を行った(図-7)。追加の消火栓においては、任意として流出点⑪から内径φ150mmの枝管で40m離れた1m<sup>3</sup>/分の消火栓を設置し水理計算を行った。本水理計算で設定している境内ポンプの詳細な仕様については、環境防災水利の提案における対象地域の消防体制と消火設備の中で詳しく記述するため本節では省略する。

以上の水理計算を基に、地震火災時にも有効に水量を確保し、東本願寺や他の周辺地区に水利を供給できる再生案としてケース④が望ましく判断するべきである。

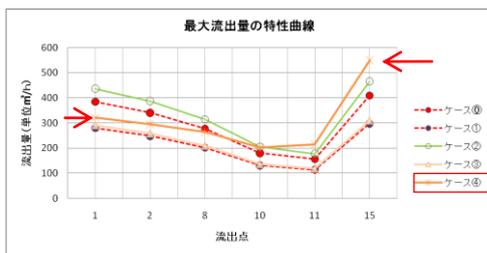


図-5 各流出点における最大流出量

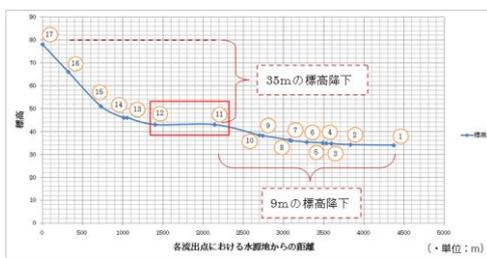


図-6 本願寺水道の標高差と各交点間の距離

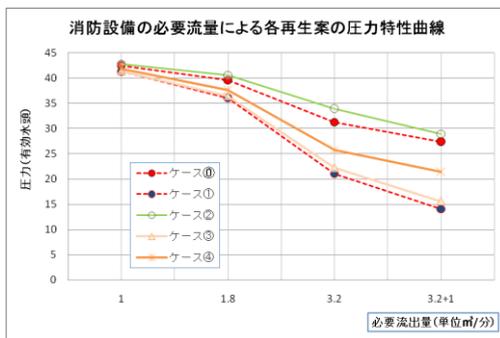


図-7 消防設備の流量による圧力値

## 5. 環境防災水利計画の提案と評価

本章では、第4章で検討した本願寺水道の再生案(ケース④)を基に、地震火災における大規模災害を想定した対策案として、環境防災水利の整備及び運用計画を策定し「本願寺水道の活用可能性」を評価する。

### (1) 対象地域の防災力

本節では、本願寺水道の活用案を提案する対象地域について記述する。活用案を策定する対象地域は、かつて本願寺水道の最終流出点である①「東本願寺の境内」と、周辺地域として東本願寺から北西に約200m離れている②「下・上錫屋町」に選定した。

#### a) 東本願寺境内の消防設備と消防体制

第一段階においては、巡監及び自衛消防隊により現場確認が行われ、火災の規模により初期消火や避難誘導等が行われる。第二段階には地震火災といった大規模な火災を想定する場合、最大人数41名(自衛消防隊21名+引退した自衛消防隊員20名)による初期消火活動と、職員主導の避難誘導活動が期待される。第三段階においては、境内の防災センターからの操作によりドレンチャや放水銃が起動され、延焼防止活動を行う。場合によっては、警察や消防等と連携した消火活動も予想しているが、地震による大規模火災の場合には、他の地域にサポートされている可能性が高いため、あんまり期待はできない。上の消防活動における境内の消防設備の仕様は以下の通りである(表-4, 表-5)

表-4 東本願寺の消防体制と活動内容・対応人数

第一段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・巡監及び自衛消防隊員による現場確認</li> <li>⇒主体は東本願寺の職員が中心であり、最大対応人数は60名以上</li> <li>⇒最小対応人数は、巡監が24時間体制で交代勤務となっているため、夜間での6名程度</li> </ul>
第二段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自衛消防隊員、巡監、警備員、その他当該付近の職員による初期消火</li> <li>⇒各施設の職員も初期消火の加勢や参拝者の避難誘導等にかかる</li> <li>⇒日中は出勤している職員全員となるため、200名以上が対応可能</li> <li>⇒現在、東本願寺の自衛消防隊員人数：21名（自衛消防隊員は毎年発令されるのでメンバーはその年その年によって変わる。境内に引退した自衛消防隊員の職員は約20名）</li> <li>⇒このような事を踏まえ、大体40名以上（21名+20名）は常に消火栓等の操作ができると想定される</li> <li>（境内に設置されている屋内消火栓：54台、屋外消火栓：3台あり）</li> <li>夜間の場合、緊急連絡網により連絡が回るが、初動は24時間体制で勤務している巡監の6名程度による現場確認等が行われる。</li> </ul>
第三段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放水銃、スプリンクラー、ドレンチャーの消防設備による延焼防止及び警察・消防等の出動</li> <li>⇒防災センターのシステム管理による延焼防止活動</li> <li>⇒数名の体制で作動する。</li> <li>⇒警察や消防等と連携した消火活動が行われる。</li> <li>⇒境内職員は避難にかかる</li> </ul>

表-5 境内消防設備の仕様

①初期消火	
境内ポンプ① 流量：18 m <sup>3</sup> /分	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒屋内・屋外消火栓・スプリンクラー（優先）ポンプ</li> <li>境内の屋内消火栓 54 台、屋外消火栓 3 台と、床下の防火対策として設置されているスプリンクラーに水利を供給する。</li> <li>スプリンクラーは炎感知器連動で、最大 17 口 1.36 m<sup>3</sup>/分の流量を必要とする。</li> <li>※屋内消火栓と屋外消火栓は、境内ポンプ①の流量により、同時に起動できる数が限定される。</li> <li>（屋内消火栓：0.13 m<sup>3</sup>/分，屋外消火栓：0.35 m<sup>3</sup>/分）</li> <li>・屋外 1 台+屋内 11 台 (0.35×1+0.13×11=1.78 m<sup>3</sup>/分)</li> <li>・屋外 2 台+屋内 8 台 (0.35×2+0.13×8=1.74 m<sup>3</sup>/分)</li> <li>・屋外 3 台+屋内 5 台 (0.35×3+0.13×5=1.7 m<sup>3</sup>/分)</li> </ul>
②延焼防止	
境内ポンプ② 流量：3.18 m <sup>3</sup> /分	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ドレンチャー用ポンプ</li> <li>4 系統に区分されていて、2 系統ずつ起動される。</li> <li>東西：3 m<sup>3</sup>/分 南北：3.18 m<sup>3</sup>/分がそれぞれに必要とされる流量</li> </ul>
境内ポンプ③ 流量：3.2 m <sup>3</sup> /分	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒放水銃用ポンプ</li> <li>放水銃の流量：0.7 m<sup>3</sup>/分を設計の前提とした。</li> <li>ポンプの流量 3.2 m<sup>3</sup>/分は、放水銃：約 5 台分</li> </ul>

地震火災時に有効に使える水源として、防火水槽11)が挙げられている。境内には、昭和37年（1962）から今のポンプシステムと防火水槽が設置されている。ポンプや境内消防設備に関しては、近年、東本願寺の本殿である御影堂を修復する際に新しく整備されたが、防火水槽の再整備は出来なかったという。その防火水槽の容量は270m<sup>3</sup>でありフラット形状から、実際の供給可能な有効水利は227m<sup>3</sup>であるという。

境内すべての消防設備に対して消防水利を供給しているのはこの一基の防火水槽になっており、防火水槽への水利補給は地下水を通して行っているという。境内における防災訓練の際にドレンチャーと放水銃を最大に起動した実績があって、その訓練の際には約20分弱で防火水槽の水利がなくなったという。

東本願寺は登録有形文化財であるが、その登録された時期は間もない。しかしながらも、重要文化財を対象としている50分間の放水容量を基準として文化庁の指導基準を基に、境内の消火設備は整備されている。境内ポンプ②、③における延焼防止活動は、境内の防災センタ

ーから上手く調整して起動した場合には、その50分間の基準を満たせるというが、現状では初期消火から延焼防止における消火活動において、境内の消防水利は不足していると判断されると共に、その水利が有限であるため、地震火災による大規模災害を想定している上では課題として不安が残る

#### b) 京都市消防局指定の震災時消防水利不足地区

平成16年（2004）京都市消防局により、京都市の防災水利構想に基づき伝統的な木造文化都市である京都を震災から守る事を目的として、震災時に必要な消防水利を算出し、今後の消防水利整備の指針となる計画書を作成している。本計画書の中で「下・上錫屋町」は京都市消防局により指定している火災の段階で「第二段階：数棟の火災」において40分にかける60～80m<sup>3</sup>の消防水利不足地区として選定されている<sup>18)</sup>。計画書では、火災危険度を評価する際の分析単位として物理的な評価を行うための正方形メッシュで京都市の全エリアを分け、延焼危険度（不燃領域率+木造建物と防火造建物の建ぺい率、火災発生確立と人口密度）を基にメッシュごとの危険度

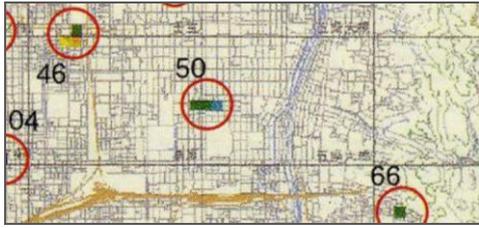


図-8 下・上錫屋町 (50) <sup>19)</sup>

ランクを設定している。この危険度ランクに応じた必要水量を検討し、地域の消防水利と照り合わせ、消防水利が不足している地区を選定している

この地区において現地調査を行った結果、地区内の消火栓は35台で、さらに2010年に下京中学校において防火水槽100m<sup>3</sup>が新設され、第二段階火災における消防水利は補完されていた。しかしながらも震災時には上水道の切断等により消火栓が有効に起動しない可能性を踏まえ<sup>20)</sup>、延焼火災危険度が高い地区としては、変わっていないため、本願寺水道の活用案における提案を行う。

## (2) 防災水利計画における消火レベルの設定

本章における本願寺水道を活用した環境防災水利の提案において、検討するべきの消火レベルは京都市防災水利構想における消火活動の段階を基準にする (図-9)。

- a) 第一段階「初期小規模火災」：市民による消火活動が行われ、水源としては身近な水や消火器、風呂の水、河川等、ため池が挙げられている。その内容としては、バケツリレー等がある。また、京都市東山区においては、地区内1500m<sup>3</sup>の防火水槽を2基（高台寺公園の下と清水寺の境内）を設置する事により地区内に形成された管網から、一般の市民が使える消火栓として易操作性1号消火栓（市民消火栓）を地区内に設置し<sup>22)</sup>、日常時からの使用を勧め、災害時の初期消火に活用するように指導および定期的な訓練を実施している。このような易操作性1号消火栓は、第一段階の火災における消火活動として計画を立てる事が可能である
- b) 第二段階「数棟規模の火災」：消防団や消防隊による専門的な消火活動が行われ、水源としては、通常火災に対応した水として消火栓、防火水槽、河川、ため池、井戸が挙げられている。
- c) 第三段階「大規模延焼火災」：消防団や消防隊・他都市からの応援隊による路線防御で延焼防止活動が行われ、水源としては大容量・長時間放水可能な水として、消火栓、プール、河川等、ため池、井戸を挙げている。河川による消火活動は鴨川からの半径1.5kmに含まれる (図-10の□)。

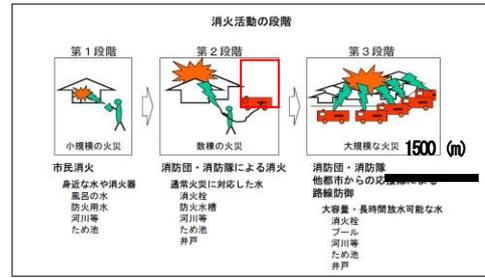


図-9 火災規模による消火の段階<sup>21)</sup>



図-10 主要河川からの消火水利到達可能範囲 (青)

## (3) 環境防災水利の提案と評価

### a) 環境防災水利計画のシナリオ

本願寺水道の再生案を通して、対象地域の地震火災危険性に備えた環境防災水利を提案し、本願寺水道の活用可能性を評価する。環境防災水利の整備計画は大窪らにより開発されており<sup>23)</sup>、シナリオ作成や計画の提案はその手順を参考にした。第一段階～第三段階を捉えた対象地域の環境防災水利整備のシナリオは、以下の通りになる。

本願寺水道より水利を活用している部分は□、対象地域に備えられている水利は□に分けている。東本願寺の消防体制は、京都市防災水利構想による消火活動の段階とは少々差があるが、第一段階の中に「巡監及び自衛消防隊員による現場確認」が追加されて事によりその活動が細かく設定されている。

東本願寺に関して第一段階と第二段階における消火活動は、主に境内の自衛消防隊員により行われる。本願寺水道は屋内消火栓や屋外消火栓の起動、またはスプリンクラー起動時において、水源を供給する。一方で同じく第一段階における下・上錫屋町においては地区内に本願寺水道から分岐を行い管網を計画し、この枝管からの「易操作性1号消火栓の整備」を地区に計画し評価する。本消火栓は1台あたり半径25mの消火可能範囲として捉えることが可能であり、この基準を基に下・上錫屋町の建物の壁面をすべてカーバするためには、最大28台が必要とされる。ところで、非常電源を用い圧力で放水する形式の易操作性1号消火栓を同時に起動する場合には、各易操作性1号消火栓あたり20mの有効水頭が必要とさ

表-6 本願寺水道の活用した環境防災水利計画シナリオ

	東本願寺	下・上錫屋町
一段階	<p>巡監及び自衛消防隊員による現場確認 最小対応人数による消火活動(6人)</p> <p>▼境内ポンプ①1.8 m<sup>3</sup>/分 (スプリンクラー優先ポンプ) 1)最大起動可能な消火栓の数 屋内消火栓: 0.13 m<sup>3</sup>/分 屋外消火栓: 0.35 m<sup>3</sup>/分</p> <p>・屋外1台+屋内11台 ・屋外2台+屋内8台 ・屋外3台+屋内5台</p>	<p>市民による消火活動 ※身近な水利 ▼東本願寺のお堀水</p> <p>▼易操作性1号消火栓: 0.13 m<sup>3</sup>/分 ×28台=3.64 m<sup>3</sup>/分(全域) ⇒同時に最大使用可能台数 12台=1.56 m<sup>3</sup>/分であり</p>
二段階	<p>2)スプリンクラー起動時 最大17口起動: 1.36 m<sup>3</sup>/分 ・スプリンクラー+屋外1台 ・スプリンクラー+屋内3台</p> <p>消火活動: 自衛消防隊(1名)+職員 ※大体40名以上は常に消火栓等の操作ができると思定される 避難誘導・職員</p> <p>防火センターからのシステム管理 警察・消防等と連携した消火活動</p>	<p>消防隊・消防団等による通常消火 ※下・上錫屋町においては、 消火栓×2台で全面積を消火可能範囲と策定する事が可能</p> <p>▼下京中学校消防水利(防火水槽) : 100 m<sup>3</sup>の水利=100分間対応</p> <p>▼消火栓: 1000 l/分 1)二段階においては、 下京中の防火水槽+ 本願寺水道直連の消火栓×1台</p>
三段階	<p>▼境内ポンプ③3.18 m<sup>3</sup>/分 (ドレンチャ用ポンプ)</p> <p>▼境内ポンプ②3.2 m<sup>3</sup>/分 (放水銃用ポンプ) ※境内の防火水槽から水利供給 270 m<sup>3</sup>(有効水利: 227 m<sup>3</sup>) ・約70分の放水にかけられる水量</p>	<p>2)三段階において、 下京中の防火水槽は有限のため、 本願寺水道直連の消火栓×1台</p> <p>▼鴨川からの水利 ※鴨川からの水利からすべての対象地域へとバックアップするしかない</p> <p>▼鴨川からの水利 ※河川からの有効範囲半径1.5kmの 円内に含まれている</p> <p>応援消防隊による路線消防活動 ※大容量の水利</p>

に強化する事が可能である(表-6)。その盤面、本願寺水道を活用しない、地域の水利だけの環境防災水利計画では有限である水利のため、効果的な計画を立てる事が難しい(表-7)。

第二段階の消火活動には、東本願寺での最大1.8m<sup>3</sup>/分の必要流量と、下・上錫屋町での必要流量1m<sup>3</sup>/分(消火栓)を本願寺水道より供給する。本環境防災水利計画の中では、耐震化された本願寺水道の枝管からの消火栓を地区内に設置する事により、下・上錫屋町では下京中学校の防火水槽から消防隊による消火活動と共に、地震火災時にも起動可能な消火栓での消火活動が期待される。

第三段階の大規模延焼火災において、東本願寺では延焼防止のため境内ポンプ②によるドレンチャと、境内ポンプ③による放水銃が起動される。その内、境内ポンプ②に対しては本願寺水道からの水利を供給し、境内ポンプ③には境内の防火水槽からの水利を供給するように計画する。これらにより問題視されてた境内の消防水利運用も解決できる。下・上錫屋町は第二段階から起動されている消火栓と、有限ではあるが100分間起動が可能な下京中学校の消防水利、鴨川からの水利を用いて延焼防止、消火活動を行う事で、計画を立てた(表-6)

表-7 地域の水利だけの環境防災水利計画シナリオ

	東本願寺	下・上錫屋町
一段階	<p>巡監及び自衛消防隊員による現場確認 最小対応人数による消火活動(6人)</p> <p>▼境内の防火水槽から水利供給 270 m<sup>3</sup>(有効水利: 227 m<sup>3</sup>)</p> <p>▼境内ポンプ①1.8 m<sup>3</sup>/分 (スプリンクラー優先ポンプ) 1)最小対応人数による消火活動 屋内消火栓: 0.13 m<sup>3</sup>/分 屋外消火栓: 0.35 m<sup>3</sup>/分</p>	<p>市民による消火活動 ※身近な水利、風呂の水・防火用水 水路・池、井戸等</p> <p>▼東本願寺のお堀水 簡単に計算すると 総距離 720m ×平均幅 4m ×平均水深 1m ⇒ 1480 m<sup>3</sup>の水源 ※水質が良くない</p>
二段階	<p>・屋外1台+屋内5台 1.15 m<sup>3</sup>/分 ・屋外2台+屋内4台 1.22 m<sup>3</sup>/分 ・屋外3台+屋内3台 1.44 m<sup>3</sup>/分</p> <p>2)スプリンクラー起動時 最大17口起動: 1.36 m<sup>3</sup>/分</p> <p>※必要とされる最小水量(想定値) (1.15+1.36)×50分=125.5 m<sup>3</sup> ⇒文化財の場合30分間の放水を基準としているため(文化庁指導基準)</p>	<p>消防隊・消防団等による通常消火 ※下・上錫屋町においては、 消火栓×2台で全面積を消火可能範囲と策定する事が可能</p> <p>▼下京中学校消防水利(防火水槽) 100 t ⇒2台分の消火活動を期待する</p>
三段階	<p>※確保可能な水量(想定) 227 m<sup>3</sup>-125.5 m<sup>3</sup>=101.5 m<sup>3</sup> ±地下水からの導水</p> <p>▼境内ポンプ②3.18 m<sup>3</sup>/分 (ドレンチャ用ポンプ)</p> <p>▼境内ポンプ③3.2 m<sup>3</sup>/分 (放水銃用ポンプ) ※延焼防止を行うために2台のポンプを起動させるため、現状では水利不足のため不安が残る</p>	<p>▼消火栓: 1000 l/分 ※地区内に39台の消火栓が既設されているが、大規模地震災害時に有効な消防水利としては定義できない</p> <p>▼鴨川からの水利 ※鴨川の水利からすべての対象地域へとバックアップするしかない</p>

b) 東本願寺と下・上錫屋町における管網の計画

境内の本願寺水道は、ポンプ室に繋がっている部分のみをパイプインパイプ工法にて再生する事を提案する。下・上錫屋町には配用水用ポリエチレン管として規格化されている内径150mm管を用いて管網を提案する(図-11)。

以下の節においては、環境防災水利計画の内容を「消火設備における消火可能範囲」で示した図を基に、本願寺水道を活用してからの各火災の段階における消防活動について記述する

c) 各火災の段階における消防水利の計画

第一段階火災において本願寺水道からの水利を、東本願寺では境内ポンプ①の必要流量、下・上錫屋町では易

れ、最大12台までが地区内の同時起動可能台数である。地区内の全台数(28台)に対して12台が同時に起動できる事は、約43%の災害時の対処可能性で、一般的に災害時に使われる消防設備の対処可能性を50%に捉えているからには7%の差を見せている。しかし市民による消火活動は、身近な水利(東本願寺のお堀水など)で、さら



図-11 本願寺水道活用の管網計画

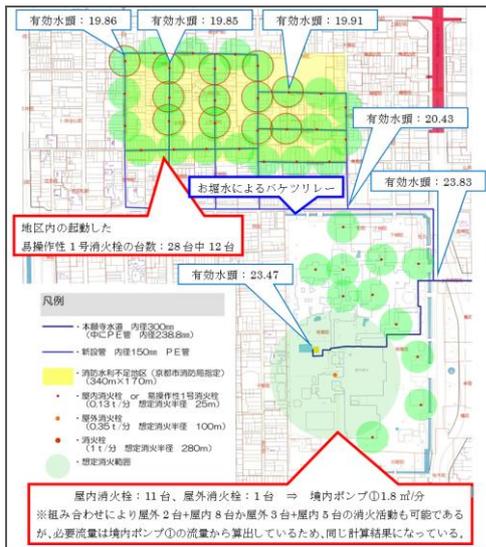


図-12 第一段階火災に対する消火可能範囲



図-13 第二段階火災に対する消火可能範囲

操作性1号消火栓12台からの必要流量における、その有効水頭を評価した(図-12)。

第二段階火災において本願寺水道からの水利を、東本願寺ではそのまま境内ポンプ①の必要流量、下・上錫屋町では消火栓1台からの必要流量における、その有効水頭を評価した(図-13)。

第三段階火災において本願寺水道からの水利を、東本願寺では境内ポンプ②の必要流量、下・上錫屋町では消火栓2台の中1台からの必要流量における、その有効水頭を評価した(図-14)。

#### d) 環境防災水利計画の評価

本章においては、「環境防災水利計画」を提案し評価することにより、本願寺水道の改修案の活用可能性が明らかになった。第一段階火災における計画では、下・上



図-14 第三段階火災に対する消火可能範囲

錫屋町で同時に使える易操作性1号消火栓の台数が12台であるため、かつては本願寺水道からの水利を水源としてお堀の水を「身近な水」として初期消火を行う。第二段階火災では境内の場合、床下のスプリンクラーが起動する場合も生じるが、同じく境内ポンプ①(1.8m³/分)の必要流量の水利を必要とするため変動がない。下・上錫屋町は、2台分の消火栓で十分な範囲を消火する事が可能である。第三段階火災では、境内の防災センターからドレンチャと放水銃を操作する。境内ポンプ②と③を起動し始めるが、本願寺水道の水利より境内ポンプ②の必要流量分を供給する。従って、防火水槽の水利は全面的に境内ポンプ③に供給する事で十分な延焼防止活動を行う事が可能である。下・上錫屋町においては、下京中学校の防火水槽は有限であるため(100m³)、理想的には本願寺水道より2台の消火栓からの必要流量を供給する事だが、それには管網に負圧が発生するため、図13のように2台の内1台のみを起動するようにする。

## 6. おわりに

### (1) 研究の成果

#### a) 本願寺水道の保存と活用における再生方法の検討

本願寺水道の活用に有効的な再生案として適用可能な改修工法を、各工法とその工法を組み合わせたケースを設定し、水理計算を基に定量的な能力評価をする事ができた。

#### b) 環境防災水利の提案と本願寺水道の活用能力の評価

本願寺水道の再生案に基づいた地震火災に対する防災水利としての活用性を検討するため、対象地域における「環境防災水利計画」を策定し、その有効性を評価した。

## (2) 今後の課題

### a) 歴史的な水利環境の保存と活用について

本研究からは、伏流系の体的な歴史的な水利環境として本願寺水道を保存・活用する提案を策定し、大規模火災時の活用可能性を明らかにしているが、今後は、表流系である水理環境における活用可能性を明らかにする等のケーススタディの実施は必要と考えられる。

### b) 本願寺水道における地域住民の意識調査

近代土木建造物や、土木遺産を保存・活用するための課題として、「地域のニーズ」が挙げられている。この課題を明らかにするためには、東本願寺の周辺地域住民や本願寺水道が通る道路の近隣住民に対する意識調査を行う事が必要と考えられる。

### c) 水理環境の防災水利・環境水利としての定量的な評価手順と方法の開発等

謝辞：本研究における本願寺水道の管網水理解析には(株)管総研からの技術協力を頂いた。また本研究は、立命館大学グローバルCOE「歴史都市を守る文化遺産防災学推進拠点」に基づく研究成果の一部である。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 益田兼房：文化遺産防災の意義，文化遺産防災学「ことはじめ」篇，pp. 35-40，立命館大学歴史都市防災研究センター，2008。
- 2) 土岐憲三他：地震火災から木造都市を守る環境防災水利整備に関する研究，国土交通省「平成 13 年度建設技術研究開発費補助金」研究報告書，pp. 19-35，京都大学，2002。
- 3) 大窪健之，小林正美，土岐憲三：地震火災から木造文化を守る「環境防災水利」の整備計画に関する研究，日本建築学会総合論文集 No2.，pp. 88-94，日本建築学会，2004.2
- 4) 大窪健之：「環境防災水利」整備実現へ向けた事業推進手法に関する調査研究－風土に根差した自然水利で地震火災から地域を守るために－，土木学会論文集 No.770/VI-64，pp.1-13，土木学会，2004.9
- 5) 大窪健之，村崎充弘：環境防災水利整備計画の水利別検討手順および有効性の評価手法に関する研究，環

- 境共生 vol.13，pp.51-60，日本環境共生学会，2007.1
- 6) 安田和樹，佐々木葉：近代土木遺産の保存・活用事業のプロセスと効果に関する調査研究，土木史研究講演集 Vol.24，pp.393-398，土木学会，2004。
- 7) 竹内忠三：大谷派本願寺防火用水工事報告，工学会誌第 183 号，pp.170-187，工学会，1897.3
- 8) 村松貞次郎：東本願寺防火用水工事について，明治造営百年 東本願寺，pp.80-86
- 9) 田中尚人他：地域との関係性を考慮した水辺の近代化遺産の保全に関する研究，土木計画学研究論文集 Vol.24，pp.315-322，土木学会，2007。
- 10) 田中尚人他：土木構造物に係る遺産的価値に関する考察，土木史研究講演集 Vol.28，pp.27-32，土木学会，2008。
- 11) 野村和正：土木遺産の保存・活用の財源・維持管理をどうするのか，特集「土木遺産は世紀を超える一保存・活用の今」土木学会誌 Vol.85，pp.45-47，土木学会，2006。
- 12) 野村和正：土木遺産の保存・活用の財源・維持管理をどうするのか，特集「土木遺産は世紀を超える一保存・活用の今」土木学会誌 Vol.85，土木学会，2006。
- 13) 大窪健之他：平成 15 年度立命館大学 21 世紀 COE プログラム「文化遺産を核とした歴史都市の防災研究拠点」研究報告書，国土交通省「平成 13 年度建設技術研究開発費補助金」研究報告書，p.404，立命館大学，2004。
- 14) 延澤栄賢：第 1 節本願寺水道と防災設備，真宗本願（東本願寺）造営史研究－本願を受け継ぐ人々－，pp.358-368 東本願寺，2011。
- 15) 前掲書 2)，p.15
- 16) 京都市：京都市第 3 次地震被害想定，pp.56-89，京都市，2003。
- 17) 前掲書 2)，p.25
- 18) 京都市消防局：京都市消防局震災消防水利整備計画，pp.2-18，京都市消防局，2004。
- 19) 前掲書 18)，p.17
- 20) 土岐憲三他：京都市防災水利構想，p.8，防災水利構想委員会，2003。
- 21) 前掲書 20)，p.19
- 22) 前掲書 2)，p.222
- 23) 前掲書 2)，p.265

(2012.?? 受付)

## Planning The Environmental Water Supply System (EWSS) with Preserving and Practical Using of The Historical Water-utilization.

-Based on "HongANJI-Water Pipe", a Firefighting Water Supply Facility-

Dowon KIM, Takeyuki OKUBO and Shoji ARAKAWA

"HongANJI-water pipe" is the kind of environmental water-utilization that is also a disaster prevention facility for the temple "Higashihonganji" which had destructed by fire four times. But HongANJI-water pipe has stopped its water supply that the cast iron pipe has been rusted. The refurbished HongANJI-water pipe would supply water for fire-fighting by supposing after the earthquake to Higashihonganji and additional city blocks, by planning an Environmental Water Supply System. For the further discussion, Environmental Water-utilization needed to verify its potential of sustainability.