

2013 年度（平成 25 年度）

博 士 論 文

明治期の防災水利「本願寺水道」の再生による
都市防火への活用可能性に関する研究

—歴史的な水利環境を都市防災に活用するための計画プロセス—

立命館大学大学院

理工学研究科 総合理工学専攻

金 度源

目 次

第1章 序 論	1
1. 研究の背景	2
1-1. 歴史ある本願寺水道を保全する意義について	
1-2. 防災水利としての耐震化再生の必要性	
2. 研究の目的	4
3. 本研究の位置づけ	5
4. 用語の定義	6
5. 本論の構成	7
第2章 本願寺水道の耐震化再生に必要な技術の検討	13
1. 技術検討の目的と方法	14
2. 水量の確保と、配管の分岐を両立させる管更生工法の検討	14
3. 管更生工法の施工に向けた本願寺水道の管路診断	17
4. 送水管内の検査を通じた管更生の可能性考察	19
小 結	
第3章 本願寺水道の防災活用とその有効性の評価	25
第1節 東本願寺と周辺地域を対象とする防災水利としての有効性評価	25
ー既存の消防計画の運用に必要とされる給水支援の検討ー	
1. 本節の目的	26
2. 評価の方法と手順	26
3. 東本願寺の現有の防災設備に対する給水能力評価	26
3-1. 消防設備と消防体制を基に想定した必要性能	
3-2. 本願寺水道による給水能力の評価	
4. 東本願寺の周辺地域の防災計画に対する給水能力評価	28
4-1. 三段階の火災規模に対する消防方法の検討	
4-2. 下・上錫屋町に整備する消防設備	
4-3. 本願寺水道による給水能力の評価	
小 結	
第2節 送水管沿線上の市街地を対象とする防災水利としての有効性評価	37
ー祇園南地区での延焼抑止放水システム整備の検討ー	
1. 本節の目的	38

2. 評価の方法と手順	39
3. 大規模延焼火災を想定したケーススタディエリアの選定	39
4. 対象エリアにおける延焼抑止放水システム（WSS）を整備する路線の検討	41
4-1. 道路閉塞の推定	
4-2. 祇園南地区において WSS の整備が必要な路線の検討	
5. WSS の整備に必要な条件の検討	43
5-1. WSS ノズルの散水能力設定	
5-2. 本願寺水道より散水可能な WSS のノズル数の算出	
6. WSS の整備による延焼抑止効果の検証	45
6-1. 延焼シミュレーション設定の条件	
6-2. 延焼シミュレーションの結果	
小結	
第4章 歴史的な水利環境を防災活用するための計画プロセスの考察	51
1. 計画プロセス構築の方法と目的	52
2. 消防水利として活用するための計画プロセス	52
3. 市街地延焼火災に備える延焼抑止放水システム整備の計画プロセス	53
小結	
第5章 結 論	57
1. 本研究で得られた知見	58
1-1. 本願寺水道の耐震化再生の可能性	
1-2. 再生する本願寺水道の消防水利としての活用可能性	
2. 結論	61
おわりに	63
環境防災水利としての本願寺水道の再生を目指して	64
謝 辞	66
<hr/>	
資料編	
文化遺産リスト	70
本願寺水道の現状把握に関わる検討資料（写真，図面，新聞記事）	77
本願寺水道再生に掛かるコスト・管更生工法	95
管内検査の結果	102
水理計算の設定条件・結果	110

○第1章

序 論

-
1. 研究の背景
 2. 目的
 3. 本研究の位置づけ
 4. 用語の定義
 5. 本論の構成
- 補注, 参考・引用文献

1. 研究の背景

日本の文化財建造物の多くは木造である。さらに周囲の伝統的な町並みも木造密集地域が多いことから、歴史都市における防災計画、特に大規模な地震による火災対策はこの両方を対象として展開する必要性が指摘されている¹⁾。

一方で、このような木造建築文化を育んだ豊かな水のめぐみは、伝統的な利水技術により、用水や疏水、水道などの水利環境として日本の近代化を支えた。このような歴史的な水利環境の多くは、動力を頼りにしない高低差による自然の力で水が流れるため、地震災害時にも絶えることのない防災水利としての活用可能性がある。

その代表的な例として、歴史都市京都には大規模な灌漑用水路として明治期に建設された琵琶湖疏水がある。その水利は一部防火用水としても使われており、東本願寺に送水する「本願寺水道」と京都御所に送水する「御所水道」があった。いずれも水源池からの高低差による自然流下式で防火用水を供給していた水道施設であったが、現状では御所水道の管内はセメントが詰められ再生も不可能な状態であるため¹⁾、本研究では本願寺水道を研究対象とする。

1-1. 歴史ある本願寺水道を保全する意義について

(1) 本願寺水道の現状と文化遺産としての価値

「本願寺水道」は、歴史都市京都の下京区に位置する真宗大谷派東本願寺（以下、東本願寺と称す）の防火用水供給のために1897年（明治30）に造られた水道である。過去に1788年の天明の大火を始めとし1864年の元治の大火まで、76年間で4度における全焼被害を受けた経緯から^{補注1}、その対策として建設された。1895年（明治28）には琵琶湖疏水から東本願寺に至る京都市内の送水管を建設し、1897年までの2年間にかけては境内の配管と、消防設備のドレンチャー^{補注2}と放水銃が整えられた。これらは、琵琶湖疏水の水を蹴上舟溜り北の旧疏水事務所跡に築いた貯水池に一旦溜め、市街地に敷設した全長4.6kmに及ぶ内径300mmの鑄鉄管（写真1-1）を通して境内の放水施設へと供給し、標高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（写真1-2）であった。

しかしながら、本願寺水道に依存した防火設備の老朽化が進みその機能性が落ちたため、1979年（昭和54）には防火設備の機能が止められた^{補注3}。なお、完
※東本願寺提供



写真1-1 本願寺水道の鑄鉄管（一部）



写真1-2 噴水防火大試験（1897年）

する意味でも本願寺水道の機能と歴史的な価値を再生する方法の検討が必要と考えられる。

この歴史的な防災システムは老朽化に伴う漏水が原因となり現在は送水が停止されているが、琵琶湖疏水蹴上船溜に水源池を置くその配管は、三条通、東大路通、四条通、大和大路通、五条通、河原町通に敷設されている（図 1-1）。この重力を活かした送水システムを現代に再生し、東本願寺に整備された放水銃、ドレンチャーなどの消防設備に必要とされる水をバックアップすることは、大規模な地震火災時に危惧される消防水利の不足に備えられると考えられる。これに加え、京都市内の消防水利として再生できれば、本来防災設備として建設された歴史的な機能を京都市内の消防水利送水管として広域な都市火災対策に活かせられる可能性がある。

1-2. 防災水利として耐震化再生の必要性

地震などの大規模災害から生じる「大規模火災」の際には、一次災害である地震により、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指摘される¹²⁾。さらに、本願寺水道が設置されている京都市においては、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活断層が分布しており¹³⁾、花折断層では震度7以上の地震が想定されている¹⁴⁾。これらの事を踏まえ本願寺水道の再生には、地震火災時にも断水せずに供給可能な消防水利としての耐震性を確保する必要がある。

以上のことを踏まえて、本願寺水道の消防用水を送水・配水する機能を活かせるためには、地震火災までを想定した耐震管としての再生が望まれる。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて本研究では、本願寺水道を再生することによる都市防火への活用可能性を明らかにすることを目的とする。この目的に従って以下の課題を設定した。

- (1) 明治期に導入された歴史的な本願寺水道を対象とし、大規模な地震火災時にも断水しない送水管として再生する技術の検討を行い、その実施可能性を明らかにする。
- (2) 再生を仮定する本願寺水道を基に、消防水利の供給能力を明らかにする。かつての給水対象である東本願寺と周辺の木造密集市街地を対象として、本願寺水道を水源とする消防水利の運用可能性についてケーススタディを行う。
- (3) 本願寺水道の給水による延焼の抑止性を明らかにする。そのために、本願寺水道の沿線市街地で最も延焼火災に危惧される地区を対象にケーススタディを行う。

上記、具体的なケーススタディを通じた計画方法を一般化ができれば本願寺水道以外にも活用できると考えられるため、さらに以下の課題を設定した。

- (4) 本願寺水道の再生と活用を検討する一連のプロセスを整理し、歴史的な既設の水利環境を防

災活用のための計画プロセスを構築する。

以上を目的とする研究を行うことにより、将来的には本願寺水道の保全事業に結ばれることと、進めては歴史的な水利環境の保全と防災活用の向上に貢献することを期待する。

3. 本研究の位置づけ

本研究は以下のような位置づけにある。

(1) 歴史的な本願寺水道を再生する具体的な技術の検討（遺産の保全に関する研究）

歴史的な水利環境に着目した研究としては、都市水利の歴史を調べた土木史研究として神吉の学位論文¹⁵⁾と、京都市の都市形成に係った水系基盤の成り立ちを調べられた田中の学位論文¹⁶⁾がある。

一般的な歴史的建造物の保全に関して、清水¹⁷⁾の研究では歴史的建造物保存修復のことばの定義と木造建造物の保存修復のあり方が示され、矢野¹⁸⁾の著書では歴史的土木構造物保全の実施における歴史の反映手法をまとめられている。その他、土木遺産や、近代化遺産の保存と活用に関しては、調査による現況分析を基にしている事例研究が数多くみられる⁸⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁹⁾。

これらの既往の研究に対して本研究は、地中に埋設されていて目に見えない鑄鉄製水道管を対象としていること、再生のあり方を具体的に検討していることに独自性がある。

一方で本願寺水道を対象としている論考は、竹内⁶⁾による明治期本願寺水道の工事報告と、延澤⁴⁾と村松⁵⁾による築造の背景と歴史を年次的に整理されたものがある。また、具体的な技術の検討を行っているのは、本研究にて検討する本願寺水道の再生方法に関する耐震性を評価した片桐ら²⁰⁾の研究がある。既設管内に新しくポリエチレン管を挿入し、さらに現状より送水能力が高まる管更生工法による再生は、管路の最大ひずみについてレベル 2 地震動を対象としたポリエチレン管の許容ひずみを下回ると評価している。

本耐震性評価の既往研究²⁰⁾を基に本研究では、「流量確保」と「分岐活用」のために二つの管更生工法を組み合わせ一つの送水管を再生している方法の提案と、再生する本願寺水道を防災活用する方法においてケーススタディを行ったことに独自性がある。

(2) 本願寺水道の防災水利としての活用可能性（防災活用、防災水利計画に関する研究）

文化遺産や歴史都市の防災を主なテーマとして、防災設備に関する研究、防災水利に関する研究、文化遺産の防災活用を目指している研究は、以下のようなものがある。

文化財建造物防災史の研究として、火災と防災設備の設置状況を調べ、明治から昭和中期までの文化財建造物における防災設備（特に放水設備）の設置を明らかにしたもの⁷⁾がある。文化遺産の防災活用を目指した研究が見られるが、敷地や建物をもつ空間を避難時に活用するために定量的な評価や提案を行った防災拠点化に関する研究²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾、大規模な災害後に避難所とし

て使われた社寺の調査研究²⁷⁾²⁸⁾、歴史用水の防災活用を目指して現状の流量や水辺へのアクセス環境を調査された研究²⁹⁾、歴史的な木造の町並みを延焼火災から守るための散水システムを開発している研究³⁰⁾³¹⁾がある。

これらに対して本研究は、歴史的な水利環境がもつ機能を防災に役立てようとしている着眼点に新規性がある。

消防水利の算出方法や計画方法に関しては、以下のような既往の研究がある。保野ら³²⁾による市街地の建物火災に必要な水量の検討方法は火災対策に必要な水量と到達可能な消防水利を検討する手順として一般化している。阪神淡路大震災以降、地震火災時にも有効に使える防災水利の整備、もしくは計画に係る研究は数多く公表されている。その中で、高山ら³³⁾は金沢市を対象として市街地を流れる用水に基にする消防水利の到達可能性から消防力低下地域の評価を実践的に行った。また、中野ら³⁴⁾による研究は震災時における消防水利の到達可能性の評価手法を一般化したものである。

本研究ではこれらの研究成果による震災時における消防水利の到達範囲の算出方法を基にしている。

防災水利の整備計画に関しては、以下のような既往の研究がある。風土に根差した断水のない水利を活かして地震火災から木造文化都市を守る「環境防災水利」に関する研究は、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調査と分析³⁵⁾から、実践的な整備のための計画技術の開発を目指したもの³⁶⁾、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分析し、各事例の整備内容の評価を行ったもの³⁷⁾、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方針に対する整備施設の性能評価³⁸⁾を行った例がある。また既往の報告には、事例調査で整理した技術情報データベースを基に、地震を想定した火災危険性が高い地域を対象として環境防災水利整備を提案するもの³⁹⁾がある。

これらの研究に対して本研究は、再生する本願寺水道の給水による都市防火への活用可能性を実践的に検討したことに新規性がある。また、再生する歴史的な本願寺水道の消防水利として活用することを検討した具体的なケーススタディを通して、一般化に向けた計画プロセスの構築を試しているところに本研究の独自性がある。

3. 用語の定義

本研究での「水利環境」は、「水源池」、「送水管」、「配水管」、「放水設備」を網羅して取り上げている。本願寺水道は伏流系の水利環境である一方で、第4章で構築を試した計画プロセスは用水や水路に代表される表流系の水利環境にも汎用的に適用できる可能性もある。

「消防水利」は、一般的に消火活動を行う際の水利施設のことを称している。一方で、本研究においては「消防活動」に使われるもしくは必要とされる「水」として扱っている。

4. 本論の構成

本論は5章で構成する。各章、各節の関係は図1-2の通りである。各章と節の概要は次の通りである。

(1) 第1章 序論

序論では、本願寺水道の現状と保全の意義として、本来防災設備として建設された歴史的な機能を京都市内の消防水利送水管として広域な都市火災対策に活かされる研究の背景を提示した。本願寺水道の消防用水を送水・配水する機能を活かせるためには、地震火災までを想定した耐震管としての再生の必要性について示した。

(2) 第2章 本願寺水道の耐震化再生に必要な技術の検討

第2章では、大規模な地震火災時にも断水しない送水管として本願寺水道を再生する技術として管更生工法の検討を行う。現状本願寺水道の配置に適した管更生工法の実施と、その実施可能性を検証するために行った管内検査の結果を基に考察を行う。

(3) 第3章第1節 東本願寺と周辺地域を対象とする防災水利としての有効性評価

第3章第1節では再生を仮定する本願寺水道を基に、かつて本願寺水道からの水利を防災水源としていた東本願寺への供給と、京都市消防局により震災時における消防水利が他地区に比べて不足されると想定する本願寺水道の管路付近に位置する下・上錫屋町周辺を対象とし、その給水の可能性を明らかにする。対象地区の必要とされる消防水利に対して本願寺水道を水源にする消防水利の運用可能性を明らかにする。

(4) 第3章第2節 本願寺水道の送水管沿線上の市街地を対象とする防災水利としての有効性評価

第3章第2節では本願寺水道の沿線上で延焼火災の被害が危惧されるエリアを対象に地震に伴う大規模な延焼火災時を想定する対策を検討する。本願寺水道の給水が可能となる流量を通じた延焼抑止の効果については延焼シミュレーション（田中、樋本による物理的延焼性状予測モデルの延焼シミュレーション）を通して明らかにする。

(5) 第4章 歴史的な既設の水利環境を防災活用するための計画プロセスの考察

第1章から第3章を通じた具体的なケーススタディを基に、その検討手順をプロセスとして構築する。第3章第1節の「本願寺水道を消防水利としての給水活用する検討プロセス」と、第3章第2節の「市街地の延焼抑止放水システム整備の検討プロセス」を基に二つの計画プロセスを構築し、一般化に向けて整理を行う。

第1章 序論	歴史ある本願寺水道の保全の意義について
第2章 本願寺水道の耐震化再生に必要な技術の検討	保全の技術検討
第3章 本願寺水道の防災活用とその有効性の評価	
第1節 東本願寺と周辺地域を対象とする防災水利としての有効性評価	ケーススタディ1
第2節 送水管沿線上の市街地を対象とする防災水利としての有効性評価	ケーススタディ2
第4章 歴史的な水利環境を防災活用するための計画プロセスの考察	一般化に向けた考察
第5章 結論	

図1-2 本論の構成

補注

1. 東本願寺は1788年の天明大火、1823年の文政大火、1858年の安政大火、1864年の元治大火の約80年間4回において大師堂と本堂、大門を含めほとんどの建物が全焼の被害にあった²⁾。
2. ドレンチャー設備は、消防法上は消火設備ではなく、延焼のおそれのある外壁等の開口部に設けて、飛んでくる火の粉や輻射熱から建物を守る設備と位置付けられている³⁾。文化的な木造建造物の場合には軒下の木造組物の前面に水幕を形成するように設置されている。(下図参考)



御影堂の手動式ドレンチャー (旧)



現在の自動式ドレンチャー

3. 延澤⁴⁾は村松の論考⁵⁾や竹内の工事報告⁶⁾を基に、明治期の本願寺水道の敷設から近年における送水停止までを整理している。本稿における本願寺水道の史実はこれらより抜粋した内容である。
4. 国指定文化財から「消防」、「防火」、「水道」、「水利」、「水路」、「疏水」、「用水」のキーワードを基に検索を行った結果、200件の文化財を抽出できた。本リストの中で、「防災」を目的として「明治期」に造られた「水道施設」は見つからない。なお、東本願寺における16件の登録有形文化財の中にも本願寺水道は見つからない。（*資料編に本リストを掲載した。）
5. 東本願寺のスプリンクラー施設群の設置年度は、文化財建造物の最初の設置事例である東大寺より10年早かった⁷⁾。
6. 本願寺水道のかつての敷設や、今までも補修を含んだ維持管理を担当している(株)岡野組より直接工事費、共通仮設費、現場管理費、一般管理費を基にした工事費を積算して頂いた。（*資料編に本内容を掲載した。）
7. (社)日本建築学会編「建築物の改修の考え方・同解説」にて整理されている改修・保全関連用語では「保存」は歴史的遺産の現状を維持するのに必要な対策を講じること、即ち現状保存と指し。「保全」は、保存における現状維持に「活用」を加えた概念とされている。
8. 土木建造物は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⁸⁾。現役のインフラとしての安全性を確保すべき⁹⁾。土木遺産の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¹⁰⁾。「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、機能性と遺産的価値の共存の課題を挙げている¹¹⁾

参考・引用文献

- 1) 小沢晴司：御所水道について、情報ネット21号，p.9，NPO法人災害から文化財を守る会，2009.
- 2) 大窪健之：木造文化遺産の被災史と防火活動の歴史に関する調査研究—その1：世界遺産を中心とする京都市内15の城社寺を対象として、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，p.404，立命館大学，2004.
- 3) 防災研究会：ドレンチャー設備，よくわかる消防設備，p.123，日本実業出版社，2006.
- 4) 延澤栄賢：第1節本願寺水道と防災設備，真宗本廟（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.
- 5) 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，真宗大谷派本廟維持財団，pp.80-86，1978.5.
- 6) 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.
- 7) 李明善：文化財建造物防火史に関する基礎的研究，歴史都市防災論文集，Vol.1，pp.88-91，立命館大学，2007.6.
- 8) 田中尚人，秋山孝正，林聖人：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.
- 9) 田中尚人，本田泰寛，波多江萌，小林一郎：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.
- 10) 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—保存・活用の今」，土木学会誌，Vol.85，pp.45-47，土木学会，2006.
- 11) 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.
- 12) 土岐憲三：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.15，京都大学，2002.
- 13) 京都市：京都市第3次地震被害想定，pp.56-89，京都市，2003.
- 14) 前掲書2)，p.25

- 15) 神吉和夫：わが国の都市水利施設に関する土木史研究，博士論文，神戸大学，2001
- 16) 田中尚人：水系基盤による近代京都の都市形成に関する研究，博士論文，京都大学，2001.10.
- 17) 清水重敦：歴史的建造物保存修復のことばと歴史，木造建造物の保存修復のあり方と手法，pp.5-17，独立行政法人文化財研究所奈良文化財研究所，2003.
- 18) 矢野知之：歴史を活かすための基本手順と求められる能力 新谷洋二編著・(社)日本交通計画協会編著協力：歴史を未来につなぐまちづくり・みちづくり，pp.84-89，学芸出版社，2006.1.
- 19) 土井祥子，阿部貴弘：まちづくりにおける近代土木遺産の保全・活用方策に関する研究，土木史研究講演集，Vol.31，pp.139-144，土木学会，2011.
- 20) 片桐信，荒川昭治：PE管 Pipe-in-Pipe 工法で管路更生を行った場合の本願寺水道の耐震性能評価，歴史都市防災論文集，Vol.6，pp.73-80，2012.7.
- 21) 大窪健之，伊藤晃生，岡崎愛子，小林正美：災害直後の市民防災活動へ向けた「文化遺産の防災拠点化構想」に関する研究-京都市法金剛院とその周辺地域に対する提案-，歴史都市防災論文集，Vol.1，pp.327-334，2007.6.
- 22) 井上僚平，武田史朗，及川清昭：大阪市における寺社境内の分布特性・形態的特性と避難空間としての寄与に関する研究，歴史都市防災論文集，Vol.3，pp.223-228，2009.6.
- 23) 豊田祐輔，大槻知史，鐘ヶ江秀彦：緊急避難場所として千本釈迦堂を解放した場合の避難経路の短縮による地域の安全確保に関する研究，歴史都市防災論文集，Vol.3，pp.259-266，2009.6.
- 24) 梅本啓悟，大窪健之：妙心寺の避難所としての有効性評価～妙心寺避難所生活シミュレーションの構築を踏まえて～，歴史都市防災論文集，Vol.5，pp.15-22，2011.7.
- 25) 松宮かおる，及川清昭：大都市における寺社境内の防災的活用可能性に関する定量的考察，歴史都市防災論文集，Vol.6，pp.251-256，2012.7.
- 26) 岡崎風時，大窪健之：津波常襲地域における文化遺産の防災拠点化および自主防災活動の充実に向けた提案-高知県須崎市西糺町を対象として-，歴史都市防災論文集，Vol.3，pp.283-288，2009.6.
- 27) 林倫子，山崎可生理，大窪健之：東日本大震災における社寺の避難所運営体制-宮城県広域石巻圏を対象として-，歴史都市防災論文集，Vol.6，pp.149-156，2012.7.
- 28) 江藤匠平，林倫子，大窪健之：1896年9月の大水害における琵琶湖周辺の社寺の避難所利用に関する研究，歴史都市防災論文集，Vol.7，pp.81-88，2013.7.
- 29) 村田晶，富永勇，池本敏和，宮島昌克，北浦勝：市街地を流れる歴史用水の都市防災力評価-鞍月用水と大野庄用水を対象として-，歴史都市防災論文集，Vol.3，pp.181-186，2009.6.
- 30) 井元駿介，大窪健之，樋本圭佑，田中哮義：木造文化都市を守る「延焼抑止放水システム（WSS）」の配置計画に関する研究～京都市清水周辺地域での延焼シミュレーションによる評価を通して～，歴史都市防災論文集，Vol.4，pp.21-28，2010.7.
- 31) 大窪健之，荒川昭治，菊間陽介，田中哮義，井元駿介：延焼火災から歴史街区を守る街路壁面散水設備の開発～低負荷で効率的な Water Shield System の仕様検討～，歴史都市防災論文集，Vol.5，pp.117-124，2011.7.
- 32) 保野健治郎，難波義郎，大森豊裕：市街地の建物火災に対応した消防水利計画に関する基礎的研究，土木学会論文集，425，pp.145-154，土木学会，1991.1.
- 33) 高山純一，飯坂貴宏：大震時同時多発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～，土木計画学研究論文集，Vol.15，pp.235-243，土木学会，1998.9.
- 34) 中野孝雄，熊谷良雄：震災時における消防水利の到達可能性評価手法に関する研究，日本火災学会論文集，54(2)，pp.25-37，日本火災学会，2004.10.
- 35) 横山正平：「環境防災水利」の実現のためのマネジメント手法に関する研究-自然水利を活用した防災水利整備事例の分析と評価-，修士論文，京都大学，2003.
- 36) 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，No.2，pp.88-94，日本建築学会，2004.2.
- 37) 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.
- 38) 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.
- 39) 前掲書 12)，pp.19-35

○第2章

本願寺水道の耐震化再生に必要な技術の検討

-
1. 技術検討の目的と方法
 2. 水量の確保と、配管の分岐を両立させる管更生工法の検討
 3. 管更生工法の施工に向けた本願寺水道の管路診断
 4. 送水管内の検査を通じた管更生の可能性考察

小結

1. 技術検討の目的と方法

本願寺水道は地震火災時にも断水しない耐震管として、また防災水利としての送水と給水の機能を最大限に活かせる再生が必要である。一方で本願寺水道の歴史的な遺産としての価値を継承するに当たっては、明治期に築造された管路を最大限に保全する必要性も考えられる。

従って本章では、歴史的な本願寺水道の管路そのものは最大限保全すると同時に、最大限の給水量を基に送水管の沿線上に防災水利が必要とされる市街地へ分岐配管が可能となる再生工法を検討する。一方で、再生の可能性を確認するためには管路の劣化程度を明らかにする管内の検査が必要とされる。この管内の診断には管路の掘削や開削が必要とされるため、明治期に建設された歴史的な管路が残る本願寺水道の場合には掘削も課題となる。再生工法の実施可能性については、掘削を最小限とする管内検査方法を検討及び実施し管路の腐食状況を診断することで、その可能性を考察する。

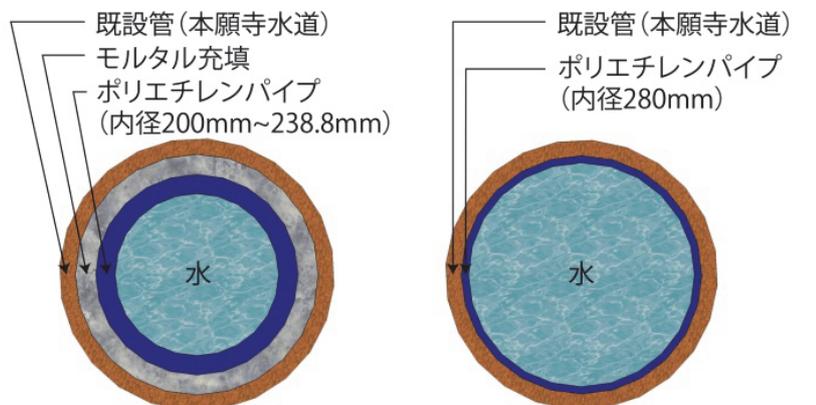
2. 水量の確保と、配管の分岐を両立させる管更生工法の検討

(1) 管更生工法による再生方法の検討

近年日本の水道の再生や耐震化に使われる工法として、既設管の中に新しく樹脂製の管を挿入する「管更生工法」が用いられている。本工法を用いるとφ300mmの本願寺水道の既設管内に、更生管となるポリエチレン管を挿入することで、極力開削工事をせずに耐震性を確保することが可能となる。なお本工法は継手を融着させ、耐震性ある一体化された管路として再生する手法である^{補注1}。そのため、116年の歴史を持つ本願寺水道の管路を最大限保全すると同時に、消防水道管としての再生が可能となる。

防災水利としての活用に向けては、最大限の流量を確保しつつ送水管路上の火災の危険性が高い市街地への分岐利用を可能とさせるため、それぞれの目的に適した工法を組み合わせることを検討する。従って管更生工法の中では二つの工法の組み合わせを検討する^{補注2}。既設管（本願寺水道）の強度を期待せず更生管（ポリエチレンパイプ）単独で外力に抵抗し新管と同等以上の耐久性を有する自立管を挿入する「パイプインパイプ工法」と、既設管の残存強度とこれに内接される更生管が二層構造で外力を分担する「クローズフィット工法」である（図2-1）。

「クローズフィット工法」による再生は、内径



・パイプインパイプ工法(自立管) ・クローズフィット工法(二層構造管)

図2-1 管更生工法による本願寺水道の再生（断面）



図 2-2 本願寺水道の配置と標高（現状）

は 20mm 縮小するものの、ダクタイル鋳鉄管の流速係数 $C=110$ に対して配管内の流速計数は $C=150$ へと大きくなるため^{補注3}、水がより流れやすくなり流量の損失が最小限となる。しかし、現状の技術では分岐させる場合、金属継手で異種管に変換する必要があり、地震の揺れに対する最大発生ひずみの差が生じることになるため、耐震性の問題が指摘されている。（*詳しくは資料編に記載した）

消防水利が必要とされる市街地へと枝管を分岐するためには、更生管と枝管を融着接合し一体化させることで継ぎ手の部分も耐震性を確保できる「パイプインパイプ工法」が望ましい。既設の鋳鉄管内にポリエチレンの自立管を挿入するパイプインパイプ工法による管更生工法は、簡易的な耐震診断を通して管路の最大ひずみはレベル 2 地震動を対象とするポリエチレン管の許容ひずみを下回ると評価されている¹⁾。従って「水量確保」に適しているクローズフィット工法と、「分岐利用」が可能となるパイプインパイプ工法を組み合わせでの再生方法を検討した。

これらの検討には地中配管の配置が必要であるが、すべての配置が明らかとなっていなかったために、2002 年に調査^{補注4}された実測図面（16 か所）を基に管路の標高と実測場所間の距離を明らかとした。実測図面に記録された場所については Google Earth 上の標高を確認する方法を行った。また、大谷派本願寺火防用引水路線略図（図 1-2）を基に実測場所間の配置を整合させることと、橋脚における露出配管部は目視調査を通してその配置を確認した。結果、本願寺水道の敷設状況を確認した。図 2-2 は本願寺水道の位置を示す。図中の番号は 2002 年の実測調査における 16 か所の調査地点を表す。「17」番は、水源池を表すものとして任意に付けた。

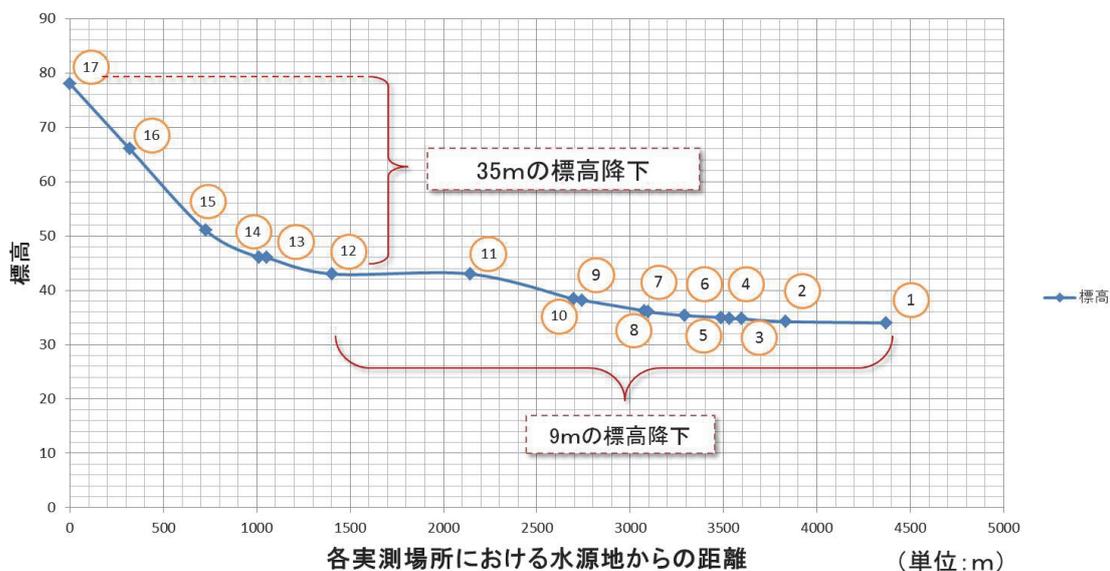


図2-3 本願寺水道の実測場所と標高との関係

1~2 における区間には、かつて東本願寺前の噴水、堀の水、東本願寺の別院である涉成園の池に枝管が分岐され本願寺水道より水が注がれていた。また 11~12 における区間にもかつて大谷祖廟への枝管が併設されている。このことから将来的に少なくともこれらの枝管も含めた再生利用と、伝統的な町家の密集する祇園南地区での防災活用の可能性も考慮^{補注5}して、1~12 の区間までには分岐が可能となるパイプインパイプ工法での再生が望ましい。17 から 12 までには水量確保を目的としてクローズフィット工法での再生が望ましい。

なお、12~17 における区間は管路全体の標高差 44m の中で 35m の標高差があることから、本区間内で最大流量を得ると全体の送水能力が最大になると考えられる (図2-3)。

(2) 本願寺水道の送水能力の試算

本願寺水道の送水能力は、水源地からの高低差 (位置水頭) で東本願寺 (図2-2 中 1 の場所) に供給される流量 (水量/時間) を算出した^{補注6}。再生した本願寺水道の送水能力の試算には「管網解析シミュレーションシステム PIPE-mini Win」(株)管総研の管網水理計算ソフトを用いた。 (*資料編に水理計算の条件を掲載した。)

計算の結果、5.4m³/分の流量が得られた。なお、築 70 年以上が経つ鑄鉄管の流速計数は

設定の基準	表 2-1 水理計算の設定とその結果	計算結果
現状本願寺水道の漏水箇所を修復した状態を推定	本管の内径：φ 300mm 本管の流速係数：C60	流量： 3.5 m ³ /分
クローズフィット工法とパイプインパイプ工法の併用 分岐利用：1~12 区間 水量確保：12~17 区間	1~12 区間 更生管の内径：φ 238.8mm ^{補注7} 更生管の流速係数：C150 12~17 区間 更生管の内径：φ 280mm 本管の流速係数：C150	流量： 5.4 m ³ /分

Hazen-Williams の式により $C=60$ とされ²⁾、現状本願寺水道の漏水箇所を直すなど最小限の修復を行う場合には $3.5\text{m}^3/\text{分}$ の流量が得られた。再生案は現状に比べてより大量の流量が得られることが明らかとなった(表2-1)。

3. 管更生工法の施工に向けた本願寺水道の管路診断

管更生工法の実施に当たっては、まず①管内検査を通して錆や腐食状況を確認し(写真2-1参考)、②管内の洗浄作業を通して錆こぶを除去、③既設管内にポリエチレン管を挿入する手順に従う。

一方で本願寺水道の腐食状況に関しては、東本願寺の嘱託職員という役職で本願寺水道の維持管理に従事された中川四郎氏による「*地中に流れる迷走電流のいたずらで管が腐食し、漏水することもある。迷走電流の流れ方は水道の通る道路の交通機関が路面電車から地下鉄になったりすると変わるので…補注⁸⁾*」と指摘された新聞記事³⁾の他、明治期の施工から今の維持管理も担当されている(株)岡野組による修復工事記録を基に予測するほかなかった(表2-2)。

表2-2 本願寺水道の補修記録(岡野組より提供して頂いた文面を基に筆者作成)

日時	内容
1998年(平成12年) 7月	三条通り岡崎道から蹴上に向かって約150m弊社施工の電線共同溝工事にて漏水を発見したため、不良部分を敷設替えした。
2000年(平成14年) 11月	涉成園北側にて管破損による漏水のため敷設替えを行なった。

本願寺水道の市街地送水管はそのほとんどが地中に敷設されているが、管路が川と交差する橋脚に露出されている配管を対象として非破壊のX線検査を実施した。本検査はX線撮影されたフィルムを持って管内状況を把握することが可能となる。4.6kmに至る敷設管路の上で上流部と下流部の区間と橋脚の露出配管において検査を行い、管路全体の腐食状況を予測することとした(図2-4)。行った管内検査の項目と内容を次にまとめる。



写真2-1 錆こぶが形成された鉄管

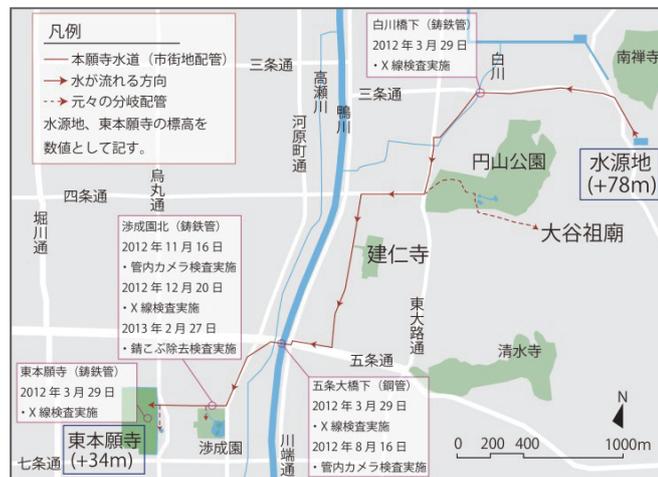


図2-4 管内検査の内容と実施場所

(1) 非破壊 X 線検査

日本では一般的にガス管の診断のために X 線透過試験を行っている。欠陥検出精度が高く、X 線フィルムを残しておくことが可能な検査であり、可搬型 X 線発生装置とフィルム・増感紙の組合せで鋼では 80mm、コンクリートでは 400mm の厚さの撮影ができる⁴⁾。フィルムに写されるレントゲン結果を基に、管内の腐食、錆こぶ、ひび割れなどの判読が可能となる（写真 2-2）。検査は管路が露出されている「白川橋下」、「五条大橋下」と、工事に伴い掘削された「涉成園北」の管路と、東本願寺境内に展示されている管路を対象として実施した。



写真 2-2 X 線検査の様子（写真の上に筆者加筆）

(2) 管内カメラ検査

非破壊 X 線検査を通しては場所別の状況比較は可能となるものの、管内の実態を把握することはできない。一方で、最少 5cm の開口部さえあれば管内にカメラを挿入し実態を確認することが可能である。挿入後はケーブルの剛性を利用し、カメラを最大で 30m まで推進させることが可能である。

五条大橋西詰橋脚に露出されている本願寺水道は、漏水された管路補修のために付けられた割型継手を外した最頂部に穴があったため、カメラを挿入し内部状況を確認した（写真 2-3）。五条大橋西詰の管路においては X 線検査も行うため、両方の検査結果を比較することが可能となる。管内カメラ検査は「五条大橋下」と、京都市下水道工事中に管路が切断されカメラを挿入することが可能であった「涉成園北」の管路を対象として実施した。



写真 2-3 管内カメラ検査を実施した五条大橋の管路（割型補修継手）とカメラ（右）



写真 2-4 管内錆こぶ落とし検査を実施した涉成園北の発掘管路

(3) 錆こぶ落とし検査

「京都市下水道総合浸水対策緊急事業（2012年4月～2016年3月）」の対象地区である涉成園北の上珠数屋町通では、敷設されていた建設当初の本願寺水道管路が掘り出された（2012年12月17日）。この撤去された鑄鉄管内をφ300mmの治具を持って錆こぶを除去する試験を行った（写真2-4）。今までにも本願寺水道のφ300mmの管内に最大φ280mmのポリエチレン管を20mmの隙間で挿入する管更生工法を検討されたため、錆こぶ除去の程度によって工事の実施可能性を判断できると考えられるためである。

4. 送水管内の検査を通した管更生の可能性考察

本項では、上記「非破壊 X線検査」、「管内カメラ検査」、「錆こぶ落とし検査」の管内検査結果を基に、本願寺水道敷設場所別における老朽化状況の比較と、管更生工法の実施可能性について考察する。

(1) X線検査の結果

X線検査の結果フィルムは、東本願寺の境内で展示されている本願寺水道管路の一部と整合させることで検出された画像の実像を確認することが可能であった。写真2-5の検査結果で見られる「1」は、腐食して元の板厚より薄くなっている為、フィルムに黒く写っている。「2」は、錆が一点に固まってコブ状になっている為、フィルムに白っぽく写っている。

管内の状況を目視で確認でき、X線検査の結果と見比べが可能だったのは、境内の展示品（写真2-5）と、涉成園北で掘削された管路の一部である。これらの結果を基に、他の場所での検査結果を整合し、全体の分析を行った。

検査は管の上から下へ撮影し「管の底部」と、横からの撮影を通して「管内の側面と上下の状況」の検出を行った。その結果、検査フィルムには錆こぶ（写真2-5中の「2」）と考えられる鱗模様と、腐食による減肉と考えられる黒い点や、割れだと考えられる線状のものが検出された。

白川橋下の管内については（図2-5）、底部周辺以外に錆こぶだと考えられる鱗模様が見られたことと、東本願寺で撮影したフィルムと同様な腐食が全体的に確認された。この白い線として写る錆こぶは涉成園北のX線検査の結果（図2-6）に比べてより少なく見られる。

白川橋下と涉成園北の管路における検査時期（撮影時期）は

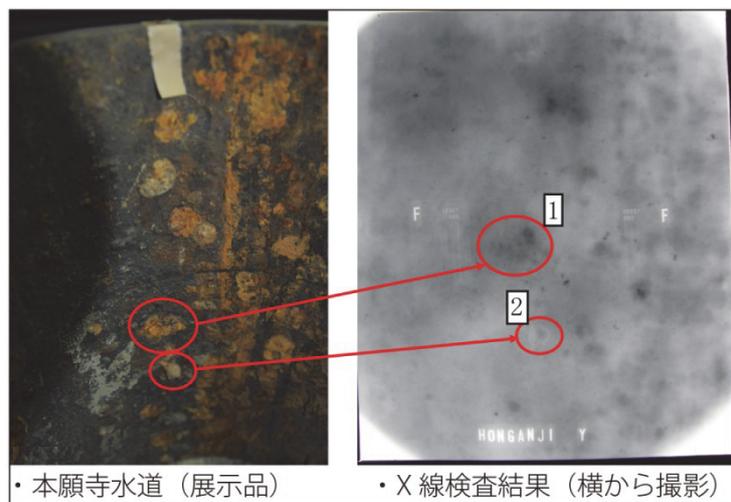


写真2-5 実物管とX線検査の照り合わせ

異なるが(図2-4参照),約9か月の時間差による腐食や錆こぶ程度の差とは考えられにくく,上流側と下流側における管路上の敷設環境や管理状況による差に起因したものと考察する。

涉成園北の検査結果(図2-6)では,錆こぶは上下方向,横方向共同様に撮影されているが,塊の剥落だと考えられる黒い点の塊は横方向の撮影でより多く鮮明に写されている。

五条大橋西詰の検査フィルムの上から撮影した結果には,写っている錆の輪郭が多少崩れているが,腐食割れや腐食と考えられる黒い部分と白い線状模様ははっきり見られる。一方で,横からの撮影では錆の輪郭がはっきりと見られ,下側に白い線状模様もはっきり検出された。通常のX線撮影においては,傷や異物などがフィルムに写ると,フィルムに近いものほど輪郭がはっきりと写り,逆に遠くなれば拡大されるとか歪んで写る^{補注9}。堆積物と考えられる白い線状模様が検出された部分には腐食割れや腐食による減肉が想定される一方,長年にわたる流水で溜まった沈殿物(水)があったため底部には錆こぶができにくい環境になったと考えられることから,管内の上側に比べて底部周辺にはより錆こぶが少ないと考えられる。

それ以外の箇所には,鱗状に蓄積された錆が白川橋下や涉成園北の管内に比べてより多く検出

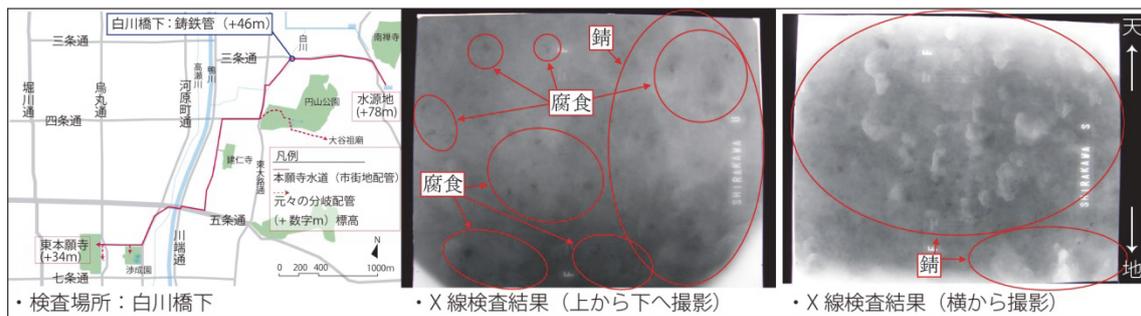


図2-5 白川橋下のX線検査結果

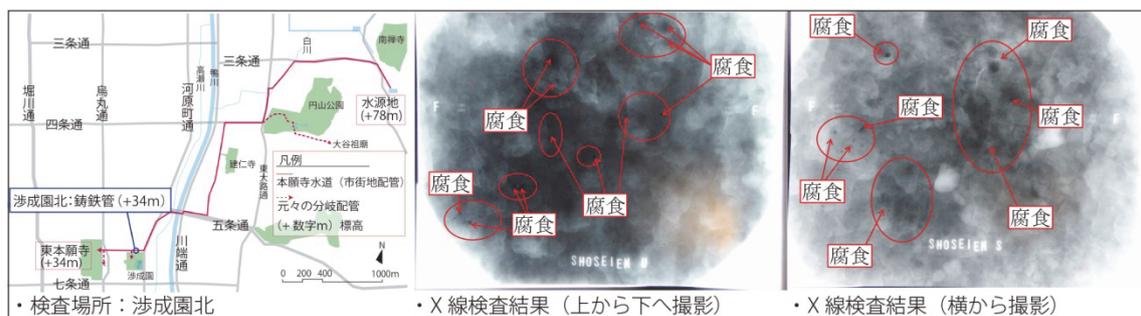


図2-6 涉成園北のX線検査結果

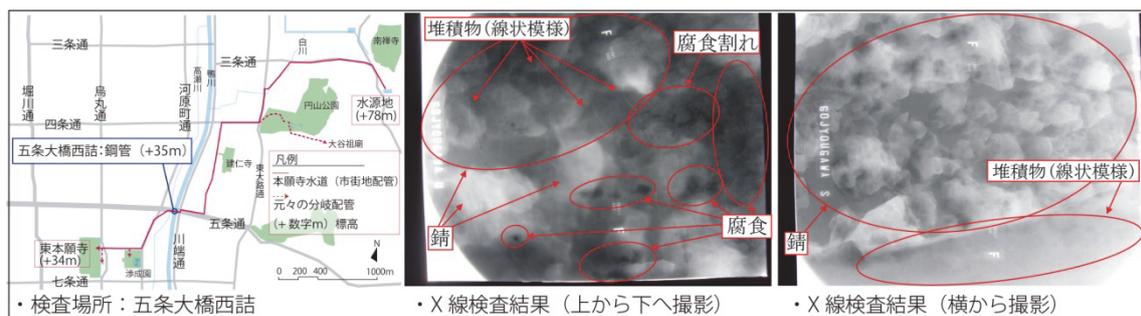


図2-7 五条大橋西詰のX線検査結果

された。（*資料編に X 線検査のフィルムを掲載した。）

(2) 管内カメラ検査と目視調査を通した管路の診断と考察

X 線検査の結果の上にカメラ検査や目視調査を通して管内を診断し、その状況をより明らかとした。渉成園北の上珠数屋町通には「京都市下水道総合浸水対策緊急事業」に伴い一部切断及び移管されることになった本願寺水道の送水管を対象として、X 線検査と管内カメラ検査に加えて錆落とし作業の検査を行うこととした。これらの検査における内容は以下の通りである。

上記 2012 年 11 月京都市の下水道工事に伴い一部掘削された本願寺水道からは、溜まっていた水が切断された隙間から吹き上がった（写真 2-6）。渉成園北の管路は標高上一番低いことから水源池より流れてきた水が管上まで溜まっていたと考えられるため、管内に酸素が通らず腐食されにくい環境であったと考えられる。X 線検査で見られる渉成園北の管路では、管内に空気が通ることでより劣化しやすい環境にある白川橋下の管路に比べてより多くの錆こぶが見られる。また掘削された管の肉厚は実測値 12~17mm で、建設当初の 15mm から減肉された量に比べて錆こぶが多い。またこの錆の層は元の鋳鉄管からドライバーで落せる強度であったことから、このすべてが腐食による錆こぶとは判断できない（写真 2-6）。

管内状況は、管軸方向に均一に錆び状のコブが付着しており、大きいもので 15~20mm の高さであった（写真 2-7）。

また、掘り起こした管において大きく外面腐食は見られなかった。鋳鉄管の外面に影響を及ぼす腐食性の土壌である大阪層群（京都盆地海生粘土層 Ma3~Ma5 と代表される）は深度 87m 以上に分布し



写真 2-6 渉成園北管路の掘削状況（左）、管内状況（右）



写真 2-7 管内映像（渉成園北）



写真 2-8 剥落された管内（五条大橋下）



写真 2—9 人力錆落とし作業の前・後（涉成園北で掘削された配管）

ているため⁵⁾，平均的に約 1m 深さに敷設されている本願寺水道の送水管に直接的な影響はないと考えられる。

五条大橋下を通る管路は今までも漏水などが原因となり補修を度々重ねてきた。1959 年五条大橋の架け替えに伴いステンレス鋼管として補修された管路には所々補修継手がつけられているため^{補注 10)}，その継手部を一時取り外して，腐食による穴にカメラを挿入し映像を持って管内の検査を行った。X 線検査による腐食や錆と考えられる模様が比較的が一番はっきり写った五条大橋の管内カメラ調査では，一部剥落された内面が見られた（写真 2—8）。

(3) 錆こぼし検査を通した管更生の可能性検討

涉成園北から掘削された鋳鉄管において治具を 2，3 回通過させることで，管内の錆こぼを概ね落とすことができた（写真 2—9）。本研究で検討している $\phi 280\text{mm}$ の PE 管を挿入するためにはより高度の洗浄作業が必要になると考えられる一方， $\phi 250\text{mm}$ の PE 管を挿入することは可能であることが明らかとなった。

小結

大規模な地震火災時にも断水しない送水管として本願寺水道を現代に再生する技術の検討を行った。管更生工法による耐震化再生工法は，既設の鋳鉄管内に新しく耐震性の高いポリエチレン管を通すため，明治期から残る既存の管路を保全し，本願寺水道の管路が持つ文化遺産としての価値を継承することが可能となる。また，管路沿線の防災水利が必要とされる市街地への分岐配管が可能な工法も選択できる。既設の本願寺水道の配置に適した管更生工法の検討と，その実施可能性を検証するために行った管内の検査を通して得られた知見を以下に整理する。

- (1) 東本願寺に収蔵されている設計図や実測図と文献，2002 年の実測調査により明らかになった 16 か所の本願寺水道の実測図を基に，本願寺水道の配置を確認した。
- (2) 東本願寺から近い管路には，かつて東本願寺前の噴水，堀の水，東本願寺の別院である涉成

園の池に枝管が分岐され本願寺水道より水が注がれていた。また四条大和大路通交差点から東大路通と白川の交差点に至る管路にも、かつて大谷祖廟への枝管が併設されている。このことから将来的に少なくともこれらの枝管への分岐を含めた利用と、その間の区間となる伝統的な町家の密集する祇園南地区での防災活用の可能性も考慮して、この範囲では、分岐が可能となるパイプインパイプ工法での再生が必要であることが明らかになった。

- (3) 一方で当該区間より上流となる水源から東大路通と白川の交差点までの区間ではできるだけ多くの水量を確保することが必要となるが、クローズフィット工法での再生は、既設管内に密着され内径は縮小するものの铸铁管の既設管より流速計数が高くなることで流量が増す。これらのことから、本願寺水道の再生には二種類の管更生工法による組み合わせが適していることが明らかになった。
- (4) 二種類の管更生工法により再生した場合の本願寺水道の送水能力を計算した結果、 $5.4\text{m}^3/\text{分}$ の流量が得られた。現状本願寺水道の漏水箇所を直すなど最小限の修復を行うことを仮定し、築70年以上が経つ铸铁管をそのまま利用した場合、 $3.5\text{m}^3/\text{分}$ の流量が得られる計算となった。管更生工法により再生する本願寺水道は、送水能力面で現状に比べてより多くの流量が得られることが明らかになった。
- (5) 上述の再生技術に対して実際の施工可能性を検討するため、本願寺水道の管路診断を行った。X線による非破壊検査で投影されたフィルムを基に、管路の上流部として代表される白川橋下の管路と下流部として代表される涉成園北の管路の管内腐食状況を比較した。その結果、上流部に比べて下流部の管路の検査結果からは鱗模様と黒の斑点が多く検出された。一部試掘された本願寺水道の配管を対象としてX線検査を行ったことで、フィルムに投影された鱗模様は錆こぶと、黒い斑点は腐食であることが明らかになった。管路の下流部には上流部より多く腐食され錆こぶが形成されていることが推定される。試掘された配管を対象に人力による簡易式の洗浄作業を通して管内の錆を落とすことができたため、管更生工法の施工が可能であることを明らかとした。

補注

1. (社)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析・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配水用ポリエチレン管（融着継手）は耐震管として定義される。ポリエチレン管の融着による管網の一体化は50cmの段差沈下が作用した場合でも、最大発生ひずみが3%であることが実験的に把握されている。
2. 漏水管や脱落した継ぎ手を含んだ管を対象として、道路を掘らずに直す工法に用いられる更生管として大きくは自立管、複合管、二層構造管の三種類がある。
3. 管内の水の流れを配管の物理特性及び摩擦による圧力損失によって関係付けたHazen-Williamsの式から管内の水の流れやすさを流速係数 C として定義される。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 $C110$ を設定している。ポリエチレン管は $C=150$ 。

4. 本願寺水道のかつての敷設や、今までも補修を含んだ維持管理を担当している(株)岡野組より 2002 年に行われた。(※資料編に本実測図を掲載した)
5. 樋本圭佑他：伝統的木造密集市街地の延焼火災リスク評価に関する基礎的検討，歴史都市防災論文集，Vol.2，pp.9-13，立命館大学，2008.10 の研究対象として延焼火災の危険性が挙げられ，京都市消防局が平成 17 年 3 月に発行した「京都市防災マップ」から，火災発生率が高い場所として検討されている
6. 「管網解析シミュレーションシステム PIPE-mini Win」(株)管総研の管網水理計算ソフト上に本願寺水道モデルを作成した。補注 3 の実測調査より明らかになっている敷設箇所と深さを交点とし，市街地の配置図(路線略図)を照り合わせながら交点を繋ぎ本願寺水道を水理計算モデルとして再現した。供給される水量は，琵琶湖疏水(8.35m³/秒)を水源としているため無限としている。
7. パイプインパイプ工法 ISO 規格内の常用圧力 0.78MPa(SDR13.6)の内径 238.8mm 管(外径 280mm)
8. 本願寺水道の市街地送水管の一部区間(涉成園北の上珠数屋町通～河原町通～五条通)には路面電車が走っていた。また京阪電車は(五条通)今も運行されている。
9. X線画像の投影歪みには，拡大による歪み，位置による歪み，形状による歪み，照射角度による歪みの 4 つがある。X線束中心線がフィルムに垂直入射する場合において，拡大歪みは拡大率が大きい程大きくなり，位置歪みと形状歪みは照射野内の周辺で最大となる。また，歪みは撮影距離が短く撮影範囲が大きくなるほど増大する。本内容は技術協力を頂いた(株)大検の技術士中川氏の所見を基にしている。
10. 橋の架け替え⁶⁾(1959 年)と流失⁷⁾(1969 年)などの理由から鋼管として補修された記録が残る，2006 年には岡野組より漏水補修の記録が残る。

参考・引用文献

- 1) 片桐信，荒川昭治：PE 管 Pipe-in-Pipe 工法で管路更生を行った場合の本願寺水道の耐震性能評価，歴史都市防災論文集，Vol.6，pp.73-80，2012.7.
- 2) 久保田鉄工株式会社：ダクタイル管施工ハンドブック，pp.200-203，久保田鉄工株式会社，1985.
- 3) 中川四郎：京を守る「本願寺水道」，日本経済新聞，2002.4.30
- 4) 株式会社大検：放射線検査<X線投下試験>，<http://www.daiken-ndt.co.jp/housyasen.html>，2013.5.1
- 5) 京都市：平成 12 年地震関係基礎調査交付金 京都盆地の地下構造に関する調査成果報告書 4-2-2 大阪層群，<http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/KyotoCty5frm.htm>，2013.5.1
- 6) 延澤栄賢：第 1 節本願寺水道と防災設備，真宗本廟(東本願寺)造営史研究一本願を受け継ぐ人々，pp.358-368，東本願寺，2011.
- 7) 日出新聞社：「五条大橋に架しありし東本願寺の水道鉄管…水中に墜落し…流失したり」，日出新聞，1969.8.5

○第3章 本願寺水道の防災活用とその有効性の評価

第1節 東本願寺と周辺地域を対象とする防災水利としての有効性評価

－既存の消防計画の運用に必要とされる給水支援の検討－

-
1. 本節の目的
 2. 評価の方法と手順
 3. 東本願寺の現有の防災設備に対する給水能力評価
 4. 東本願寺の周辺地域の防災計画に対する給水能力評価
- 小結

1. 本節の目的

本節では再生を仮定する本願寺水道を基に、消防水利の供給能力を明らかにする。かつての給水対象である東本願寺と周辺の木造密集市街地を対象として、本願寺水道を水源とする消防水利の運用可能性についてケーススタディを行う。また、対象地区の必要とされる消防水利に対して本願寺水道を水源にする消防水利の運用可能性を明らかにする。

2. 評価の方法と手順

本章では、第2章で検討した本願寺水道の再生案を基に、地震火災における大規模災害を想定した水利供給能力を評価する。かつて本願寺水道からの水利を防災水源としていた東本願寺への供給と、京都市消防局により震災時における消防水利整備の不足群として示されている地域^{補注1}の中で本願寺水道の流域付近に位置する下・上錫屋町周辺への供給を目的として、本願寺水道再生案を水源にする防災水利の整備及び運用計画を策定しその利用可能性を検討する（図3-1）。

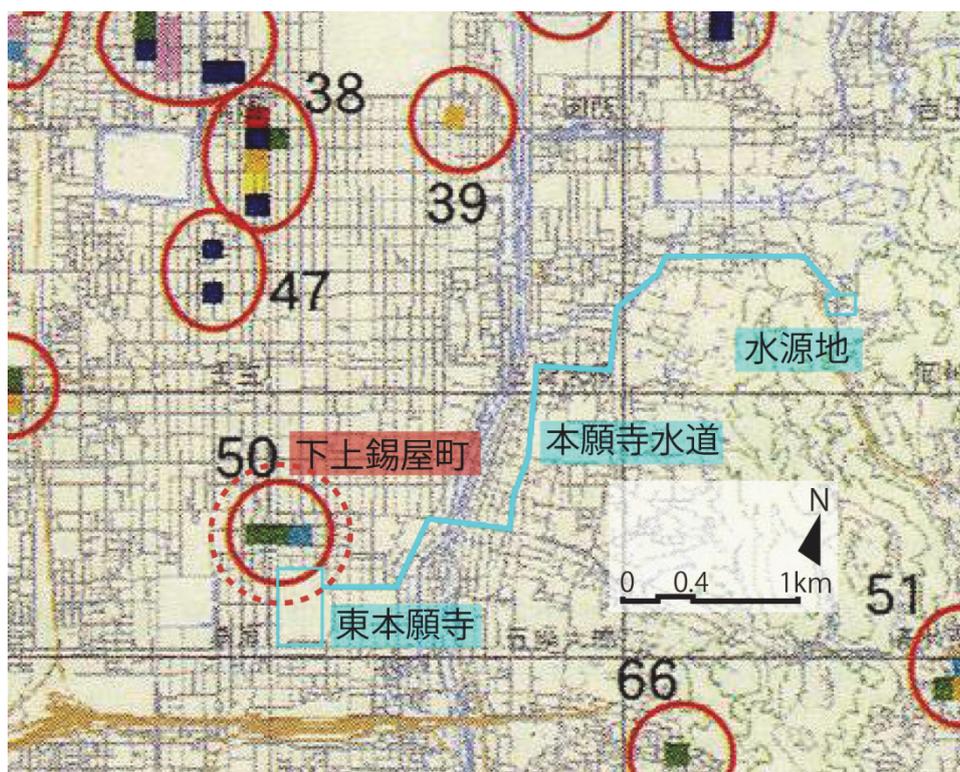


図3-1 震災時消防水利の不足群¹⁾ (本願寺水道の配置を筆者加筆)

3. 東本願寺の現有の防災設備に対する給水能力評価

東本願寺境内の送水ポンプと防火水槽を含んだ防災設備は、昭和37(1962)年から備えられた

システムである。登録有形文化財として指定されている東本願寺は、木造の重要文化財を対象として50分間の放水容量を確保する文化庁の指導を基に、送水ポンプと境内防災設備を近年新しく整備している（2008年）^{補注2}。

本防災設備の水源になる防火水槽は容量270m³であるがフラットな形状から、実際の供給可能な有効水利は227m³である。現状は、地下水のポンプアップにより水が補給されている。一方、昭和37(1962)年防災システムが備えられて以降、本防火水槽は増設されていない。このため現状では、再整備された境内すべての消防設備に水を供給しているのはこの一基の防火水槽であることと、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訓練の際には約20分弱で防火水槽の水がなくなった事がヒアリング調査を通して明らかとなった。

実際の火災時には、境内の防災センターから火災現場の消火設備への送水量を細かく調整することで、木造文化財における防災水利指導基準の50分間の放水が可能とされているが、通常火災から大規模延焼火災も危惧される地震時にはこれ以上の消防活動時間が想定され、境内防火水槽の227m³の水は有限であるため不安が残る。

3-1. 消防設備と消防体制を基に想定した必要性能

東本願寺の境内に整備されている消防設備は、境内自衛消防隊の定められた消防体制により使われる。その消防体制は火災の規模を想定し、三段階に分けて備えられている。第一段階には、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を行う。第二段階には、初期消火で鎮火できなかった規模の火災や地震火災といった大規模火災から延焼を防止するための消火活動と、職員主導の避難誘導活動を予定している。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ーや放水銃が起動され、延焼防止活動が行われる（図3-2）。

これら自衛消防隊の段階別消火活動を考慮して、消防設備への水の供給システムが設計されている。第一段階と第二段階においては、流量1.8m³/分の「ポンプa」を通して「屋内消火栓」、「屋外消火栓」、「スプリンクラー」へ水が供給される。第三段階においては、流量3.18m³/分の「ポンプb」を通して「ドレンチャー」へ、流量3.2m³/分の「ポンプc」を通して「放水銃」へと水が供給され、主要木造建物の木漏出部への延焼を防ぐ水幕として放水される。現状この3台のポンプa, b, cが一機の防火水槽を水の供給源とする一系統の給水になっている。



・床下のスプリンクラー ・御影堂のドレンチャー ・御影堂前の放水銃

図3-2 東本願寺の消防設備

3-2. 本願寺水道による給水能力の評価

現状では、一系統の給水のみで三段階の消火活動を行うことに困難が生じると考えられるが、かつて防火水槽までに繋がっていた本願寺水道の境内配管を再生しバイパス管として消防設備への送水管に直結することで、一部の防災設備は二系統の給水システムにより運用が可能となる。

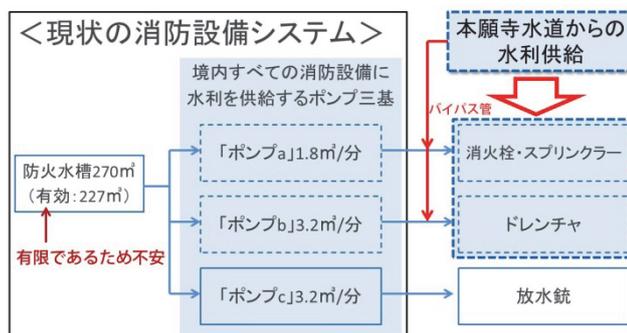


図 3-3 境内の消防設備システムにおけるバックアップ

再生された本願寺水道により東本願寺境内に供給可能な最大 5.4m³/分の流量を使えば、「ポンプ a」と「ポンプ b」から送水される流量がバックアップ可能となる。一方、第三段階の延焼抑止に必要とされる「ポンプ b」と「ポンプ c」の必要流量 (3.18m³/分+3.2m³/分) を両方バックアップすることは不可能であるが、「ポンプ b」もしくは「ポンプ c」のどちらか一つはバックアップが可能であるため、残りの一つに対しては既存の防火水槽より給水する必要がある (図 3-3)。

4. 東本願寺の周辺地域の防災計画に対する給水能力評価

東本願寺境内への給水支援に加えて、周辺地域への防災水利としての活用可能性を検討する。「下・上錫屋町」は、京都市消防局により指定されている火災の段階 (図 3-4) で「第二段階：数棟の火災」において、40 分の放水に必要な 60~80m³ の消防水利不足地区として示されている¹⁾。

地区内の消火栓は 35 基が存在し、2010 年には下京中学校において防火水槽 100m³ が新設されており、第二段階火災において不足とされていた消防水利は補完されたことが現地調査を通

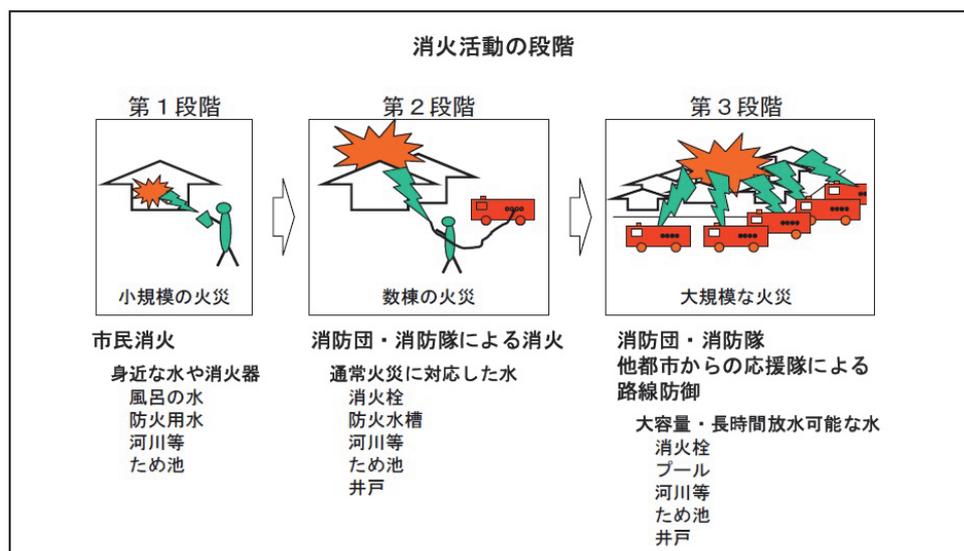


図 3-4 火災規模による消火の段階³⁾

して明らかとなった。しかしながら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ると²⁾、延焼火災危険度が高い地区であることに変わりはない。

周辺地域の火災対策を行うことは、東本願寺の延焼火災対策にもなるため、本願寺水道を当該地域の防火にも役立てることを目標として防災水利計画を検討する。

4-1. 三段階の火災規模に対する消防方法の検討

京都市防災水利構想における消火活動の段階（図3-4）を基準にし、三段階の火災規模それぞれに必要な消防の方法と水利を検討した。

第一段階「初期小規模火災」においては、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、東本願寺周りの堀水も対象とすることが可能である。消防方法としてはバケツリレー等が挙げられている一方、本計画では地域住民らが見える消防設備の整備を検討する。

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。本計画では地区の消防団が使う設備として消火栓を検討する。

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る。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、井戸を挙げられているため、消火栓と共に東本願寺の堀水も防災水利として検討する。

4-2. 下・上錫屋町に整備する消防設備

大規模地震に伴う火災時には公設消防がすべての火災に対応できない事を踏まえると、地域住民らが活用できる消防設備を整備することが望ましい。

「文化財とその周辺地域を守る防災水利整備事業」として京都市東山区では、地区内に1500m³の防火水槽を2基設置し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）を管路上に設置した⁴⁾。本消火栓は日常からの使用が勧められ、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が実施されている。

ここでは同様の易操作性1号消火栓を、下・上錫屋町の初期消火対策として地域住民らが見える消防設備として整備することを検討する（図3-5）。

この地区には、再生する本願寺水道から分岐を行い、規格化されている配水用ポリエチレン管（内径150mm管）で敷設する計画とする。本配管を地区に



図3-5 易操作性1号消火栓とその使用（事例：清水周辺地域）

設置されている消火栓をつなげることで既存の消防設備の耐震化も可能となる。

4-3. 本願寺水道による給水能力の評価

東本願寺既設の消防システムにおけるバックアップと下・上錫屋町には地域住民が使える易操作性1号消火栓の整備を検討した防災水利計画を策定、「必要とされる消防水利」に対し「本願寺水道からの供給可能性」について検証を行う。

対象地域の消防活動の段階別に「消火可能範囲」を算定し、管路上の防災設備の有効水頭を計算することで本願寺水道の送水能力を評価した。なお、木造建築における火災を鎮火するためには40分間の放水が必要とされるため、第一、第二段階の消火活動においては各40分間の放水を行うことを条件とした^{補注3}。

(1) 第一段階の初期小規模火災時の能力評価

東本願寺における第一段階と第二段階の消火活動は、境内の自衛消防隊員により屋内消火栓や屋外消火栓を用いて行われる。これらの消火栓と、スプリンクラーによる消火に必要な水を本願

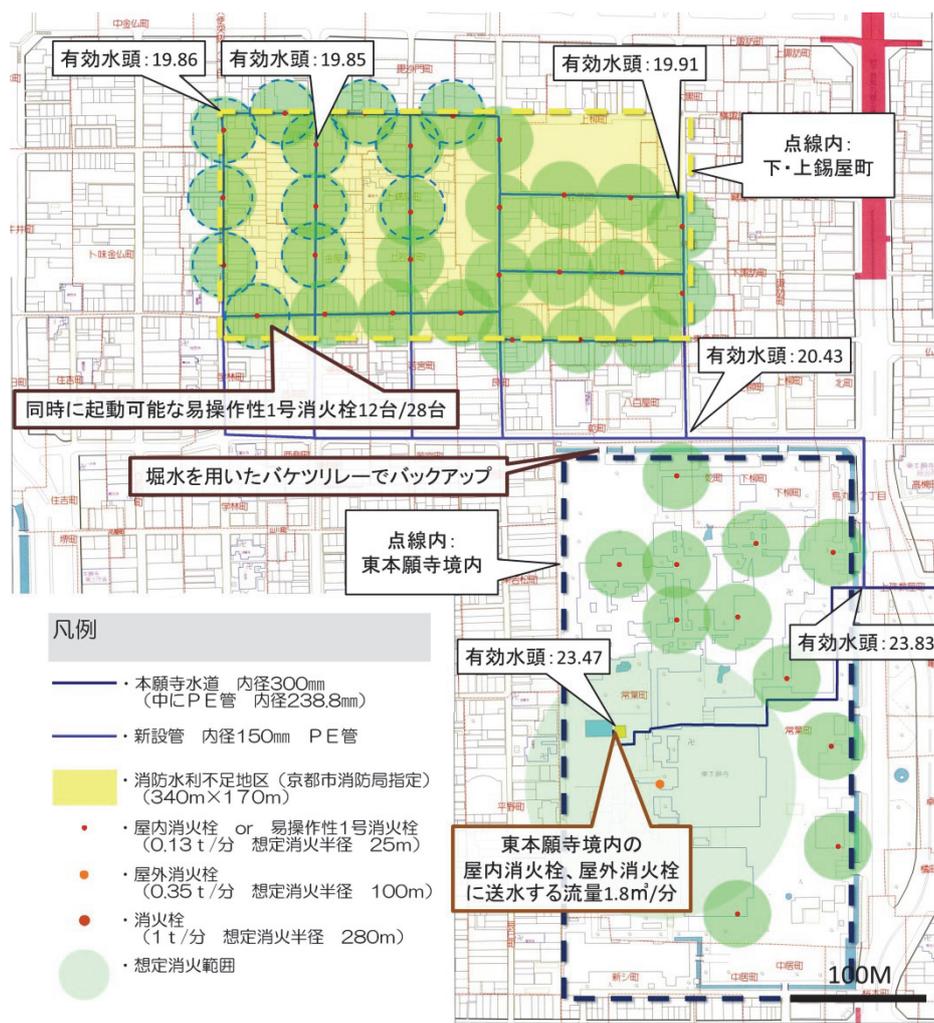


図3-6 第一段階火災に対する消火可能範囲

寺水道より供給する事が可能となる。

一方、下・上錫屋町には第一段階においては「易操作性 1 号消火栓」の整備を検討するが、易操作性 1 号消火栓は 1 機あたり 0.13m³/分の放水量があり、半径 25m の消火可能範囲を持つものと考えれば^{補注4}、この消火可能範囲を基に道路に面する下・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 台が必要となる（図 3-6 中下・上錫屋町における○の範囲）。

東本願寺が必要とする流量（1.8m³/分）と、下・上錫屋町の易操作性 1 号消火栓が必要とする流量を基に、管路上の有効水頭を計算した。この結果、地区内の各易操作性 1 号消火栓を同時に起動させた場合には、最大 12 台までが必要とされる有効水頭 20m に満たすことが明らかとなった。地区内に整備を検討した 28 台に対して起動可能な数が 12 台と限られる。本地区は地震時において最大に予想される出火件数が 7 件とされるため^{補注5} 12 台の消火栓でも対応が可能と考えられる一方、念のために他の消火方法も検討する必要性がある。例えば地域住民によるバケツリレーなどの消火活動も期待できるため、東本願寺の堀水も防災水利として検討することが望ましい。

(2) 第二段階の数棟規模の火災時の能力評価

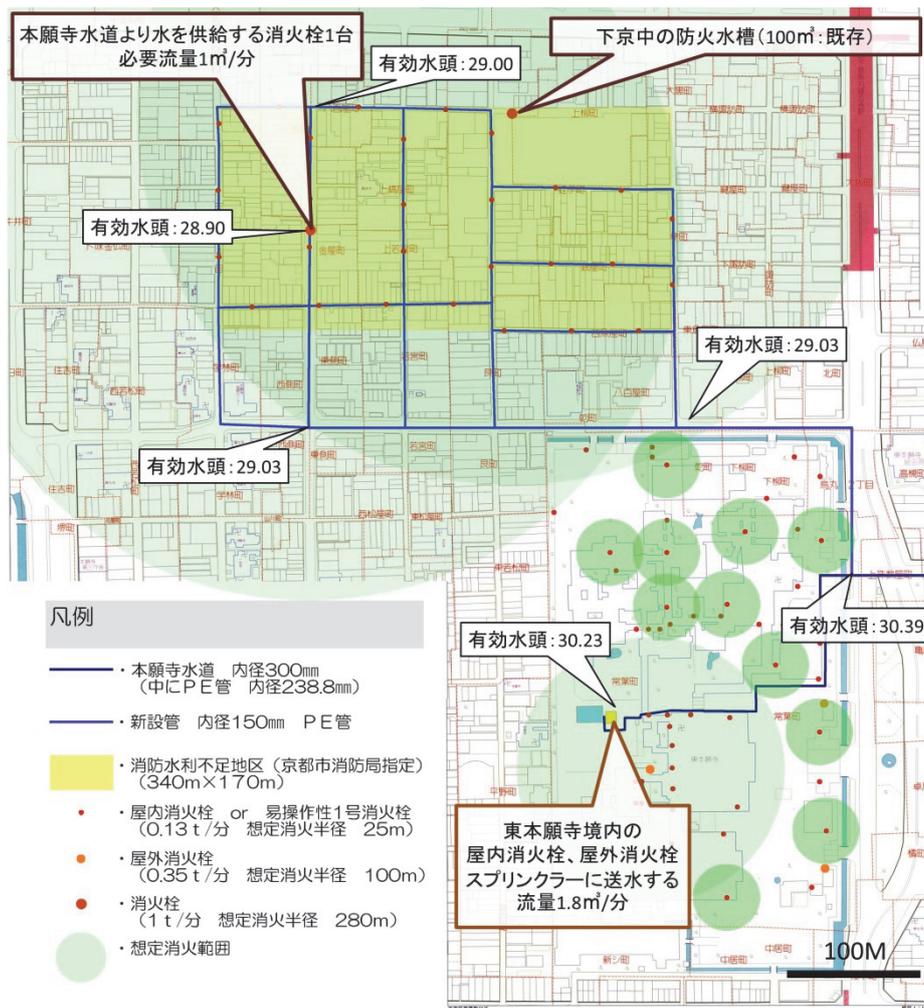


図 3-7 第二段階火災に対する消火可能範囲

第二段階の数棟規模の火災における消火活動においても東本願寺で必要される流量は、最大1.8m³/分と変わらない。下・上錫屋町では、60~80m³の消防水利不足地区であるため、1m³/分の放水量を持つ消火栓を二機以上使える環境を整える必要がある。本消火栓は本願寺水道の分岐による耐震配管上に設置することと検討した(図3-7)。

計算により管路と消防設備の有効水頭を確認した。東本願寺では自衛消防隊による消火活動や、スプリンクラーによる消火が行われるが、これと同時に下・上錫屋町では消火栓1機に当たる流量を本願寺水道から供給することが可能であることが明らかとなった。なお、もう一機分の消火栓に関しては地区内の下京中学校における既存の防火水槽の水を使うことで対象可能となる(図-12 中下京中学校における防火水槽)。

(3) 第三段階の大規模延焼火災時の能力評価

第三段階の大規模延焼火災においても、同時に管路と放水する消防設備の有効水頭を確認した。本願寺水道における送水により境内においては約30m、下・上錫屋町においては約29mの有効水頭が得られる事が明らかとなった(図3-8)。東本願寺境内では、延焼防止を目的に水幕を張るための「ドレンチャー」の放水流量(3.18m³/分)を本願寺水道より供給可能である。この際、

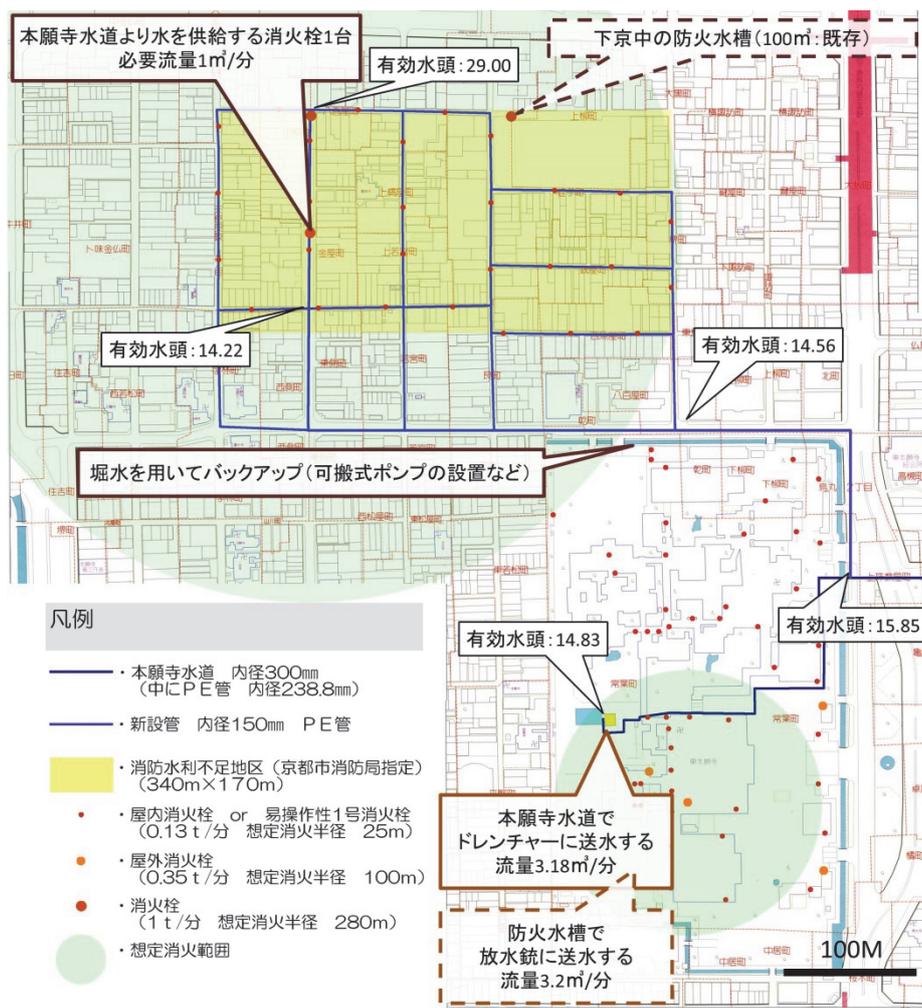


図3-8 第三段階火災に対する消火可能範囲

4.(1) b)から放水銃の放水流量(3.2m³/分)は境内の防火水槽より水を供給するものとすれば、この条件下では下・上錫屋町においても、本願寺水道の余力で1基の消火栓に水を供給可能であることが明らかとなった。ただし第二段階からの防災活用を検討している下京中学校の防火水槽(100m³)は有限であるため、東本願寺の堀水や鴨川も消防水利としての利用を検討しておくことが望ましい。このような消防水利は阪神淡路大震災でも事例があった大量送水工作車による送水を検討する必要がある。

小結

本節を通して得られた結果を次に整理する。

- (1) 東本願寺境内における防災設備の設計担当者へのヒアリングを行い、既設の消防設備の仕様を確認することで消防水利システム運用時の必要な水量を明らかにした。現状、境内の消防水利システムは1基の防火水槽(227m³)より給水され50分間の放水を想定している一方で、通常火災から大規模延焼火災と危惧される3段階の火災時は50分以上の消防活動時間が必要とされるため不安が残る。
- (2) かつて境内の防火水槽までに給水されていた本願寺水道の境内配管を再生し、バイパス管として消防設備の送水管に直結することで、現状防火水槽のみである一系統の防災水利設備は二系統の給水システムとして運用が可能になることを明らかとした。
- (3) 本願寺水道により東本願寺境内に供給可能な最大5.4m³/分の流量による給水を通して、境内3基の加圧送水設備(ポンプ)の中2基分に当たる消防設備の運用が可能である。本願寺水道の消防水利を基に、境内の防火水槽の227m³の水を残り1基分の消防設備へ給水することで、安定的な消防水利の運用が可能となることが明らかになった。
- (4) 下・上錫屋町を対象として3段階の火災規模の消防に必要な整備と方法を検討し、東本願寺と両方を対象として、同時給水の可能性を明らかとした。これらの内容をまとめると図3-9となる。
- (5) (第一段階) 初期小規模火災時の消防のために、下・上錫屋町には易操作性1号消火栓の整備を検討した結果、地区内全ての街路において消防水利を有するためには、最大28基の易操作性1号消火栓が必要とされることが明らかとなった。本願寺水道から東本願寺境内への給水を優先すると、下・上錫屋町における同時に起動可能な易操作性1号消火栓の数は12基と限られることが明らかになった。
- (6) (第二段階) 数棟規模火災時の消防のために、東本願寺では自衛消防隊により屋内、屋外消火栓を操作する消火活動と、スプリンクラーによる自動散水消火が行われる。これと同時に下・上錫屋町は1m³/分の放水量を持つ消火栓の40分放水を想定し、2基以上使える環境を整える必要がある。本願寺水道からは境内で想定される消火活動に充当する流量と、下・上錫屋町での消火栓1基に充当する流量に対して給水が可能であることが明らかになった。

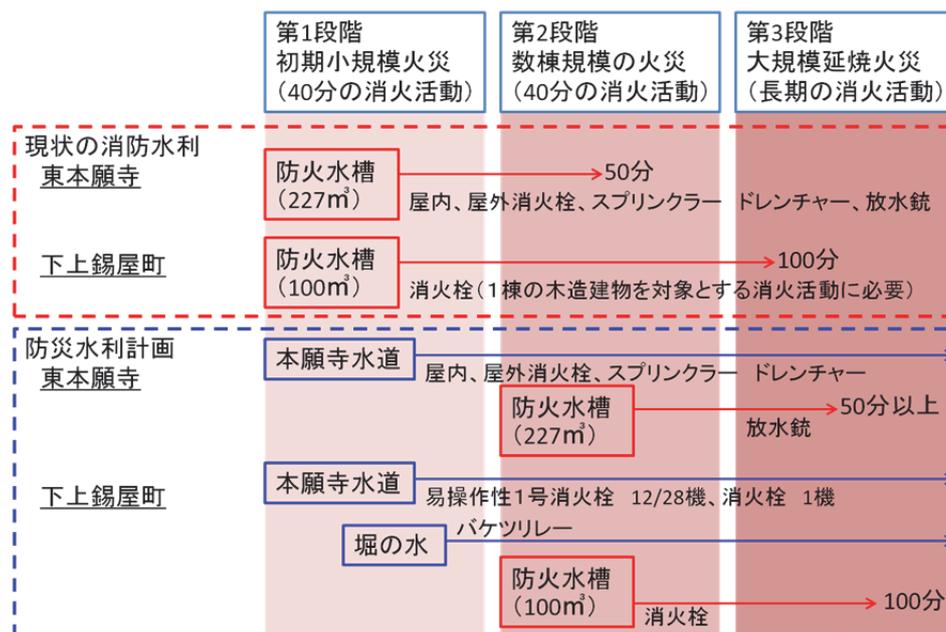


図3-9 本願寺水道の給水による東本願寺と下上錫屋町の消防水利運用

- (7) (第三段階) 大規模延焼火災時の消防のために、東本願寺では延焼防止のために水幕を張るドレンチャーの放水に必要される流量 (3.18m³/分) を本願寺水道より給水可能である。同時に境内の放水銃の放水に必要とされる流量 (3.2m³/分) は本願寺水道からの給水では圧力が十分でないことが明らかとなった。第三段階では境内の防火水槽の水も給水するものとするれば、下・上錫屋町においても、本願寺水道の余力で1基の消火栓に給水が可能であることが明らかになった。

第一段階と第三段階の火災時には再生する本願寺水道からの給水だけでは防災水利の運用に限界があった。より安全側としては、東本願寺の境内や下・上錫屋町に備えている防火水槽の水源や、かつては本願寺水道を水源としている堀水、広域的な鴨川の水も防災水利としての運用を検討する必要がある。

補注

- 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。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、地域の備えられている消防水利を基準に必要水量に対して消防水利が足りない340m×170mの不足群として挙げている¹⁾。
- 東本願寺境内の防災設備設計を担当した設計会社の担当者や設備会社の担当者にヒアリング調査を行った。

3. 標準的な木造家屋を火災から防御するためには 40 分間放水が必要とされる（消防力の基準研究所, 2000)
4. ホースの長さは最長 30m に至るが, 道路の屈曲を考慮する
5. 参考文献 5), pp.73-74 より花折断層を震源とした地震の出火予測件数は下京区が最大 7 件とされる (冬 18 時基準). 本研究では対象地域内で 7 件出火することと仮定した

参考・引用文献

- 1) 京都市消防局：京都市消防局震災消防水利整備計画, p.17, 京都市消防局, 2004.
- 2) 財団法人建設工学研究所：阪神・淡路大震災の神戸市の上水道管被害復旧状況－神戸 JIBANKUN の構築ならびに被害と分析－, 神戸市, 2003.
- 3) 京都市消防局：京都市防災水利構想, p.19, 防災水利構想委員会, 2003.
- 4) 土岐憲三：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, p.222, 京都大学, 2002.
- 5) 京都市：京都市第 3 次地震被害想定, pp.56-89, 京都市, 2003.

○第3章 本願寺水道の防災活用とその有効性の評価

第2節 送水管沿線上の市街地を対象とする防災水利としての有効性評価

－祇園南地区での延焼抑止放水システム整備の検討－

-
1. 本節の目的
 2. 評価の方法と手順
 3. 大規模延焼火災を想定したケーススタディエリアの選定
 4. 対象エリアにおける延焼抑止放水システム（WSS）を整備する路線の検討
 5. WSSの整備に必要な条件の検討
 6. WSSの整備による延焼抑止効果の検証

小結

1. 本節の目的

(1) 大規模延焼火災の対策としての本願寺水道の活用

前節では、東本願寺の地震火災時における消防に必要とされる水のバックアップ以上に、周辺地域にも余力の水を供給できることを明らかにし、地震時を想定する数棟規模の火災（第2段階）において京都市消防局により既に算出されている周辺地域の必要な消防水利^{補注1}を基に、本願寺水道からの供給可能性が検証した。しかしながら、耐震性能を有する市街地配管として再生活用できれば、建物崩壊や、道路閉塞、水道管の破裂に起因する大規模延焼火災（第3段階）の対策にも活用できると考えられる。

(2) 延焼抑止放水システムの整備

1995年の阪神・淡路大震災においては、総出火件数285件から焼失棟数7,483件に及ぶ延焼被害を受けている。地震直後の同時多発の出火に対応できず被害が拡大された背景には、現有消防力を上回る同時多発火災の発生、救助活動の優先、情報伝達の混乱、交通障害、消火栓被害などの消防水利の不足などが挙げられる¹⁾。

これらの背景を踏まえて京都市では、木造密集市街地における延焼火災対策として「延焼抑止放水システム（Water Shield System：以下WSSと略称）」が計画されている²⁾。着火していない木造建物の壁面に事前放水する水の蒸発熱で温度上昇を抑えて周りからの延焼を防ぐ街路壁面散水設備である（図3-10）。なお、WSSは自動式の放水設備として計画されているため、大規模震災時に人力による消火活動が困難になると想定される街区へ設置することでその効果が発揮できると考えられる。これに加えて本願寺水道をWSSの配水源として整備することで、耐震化された水利の供給も期待できる。

以上より本節では、大規模延焼火災（第3段階）の対策として、既設本願寺水道の沿線上でWSSの整備を検討する。また本整備計画における有効性の評価を行うことを目的とする。



図3-10 WSSのイメージ（延焼されている反対側へ散水）

2. 評価の方法と手順

ケーススタディと手順として、本願寺水道の沿線上で延焼火災の被害がもっとも大きくなるエリアを抽出する。そのエリアにおいては道路閉塞確率を基に公設消防による消火活動が不能になると想定される道路を抽出する。抽出される対象道路の延焼火災対策として WSS の整備を検討する。WSS ノズルの散水範囲を基に路線上の配備を行い、放水が可能なノズルの数についてはその圧力低下を有効水頭で確認しその最大数を算出する。WSS 整備計画はその延焼抑止効果についてシミュレーション³⁾を通して評価を行う。

以上、ケーススタディの方法と手順を下記の図としてまとめる（図 3-11）。

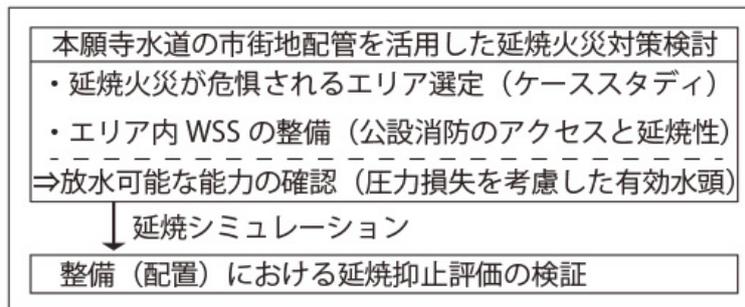


図 3-11 本願寺水道の消防水利による延焼抑止効果の検証フローチャート

3. 大規模延焼火災を想定したケーススタディエリアの選定

前節での消防水利としての運用では、本願寺水道から送水される水量は様々な場所で同時に利用されると圧力上の限界があった。一方、エリアを限って送水することで圧力低下を抑えられると考えられたため、市内送水管路が通っている沿線上、大規模地震により延焼被害が最も大きくなるエリアを抽出しケーススタディを行う。

沿線上の市街地を、放任火災の場合にもそれ以上延焼が広がらない緊急輸送道路^{補注2}と、延焼遮断帯となる幅員が 12m 以上ある道路を基準としてエリア分けを行った（図 3-12）。その結果、区切られたエリア別の建物数、建築面積、延焼建ぺい率^{補注3}、木防建ぺい率を次の表にまとめる（表 3-1）。

放任火災の場合、木防建ぺい率が 40%を超える区域では延焼によりほとんど焼失する可能性が高いとされている⁵⁾。A~G のエリアの中では、D のエリアにおいて建物数が一番多く建築面積が一番広いため、ひとたび火災が発生するとエリア内の延焼被害が最も大きくなると考えられる。従って本研究におけるケーススタディエリアは「祇園南地区（図 3-12、表 1 中 D）」とする。

祇園南地区は 2001 年（平成 13）に設立された NPO 法人「祇園町南側地区まちづくり協議会」より地区内の景観整備活動を行うとともに、防火防災に対する啓発、私設消火栓の整備、地域の

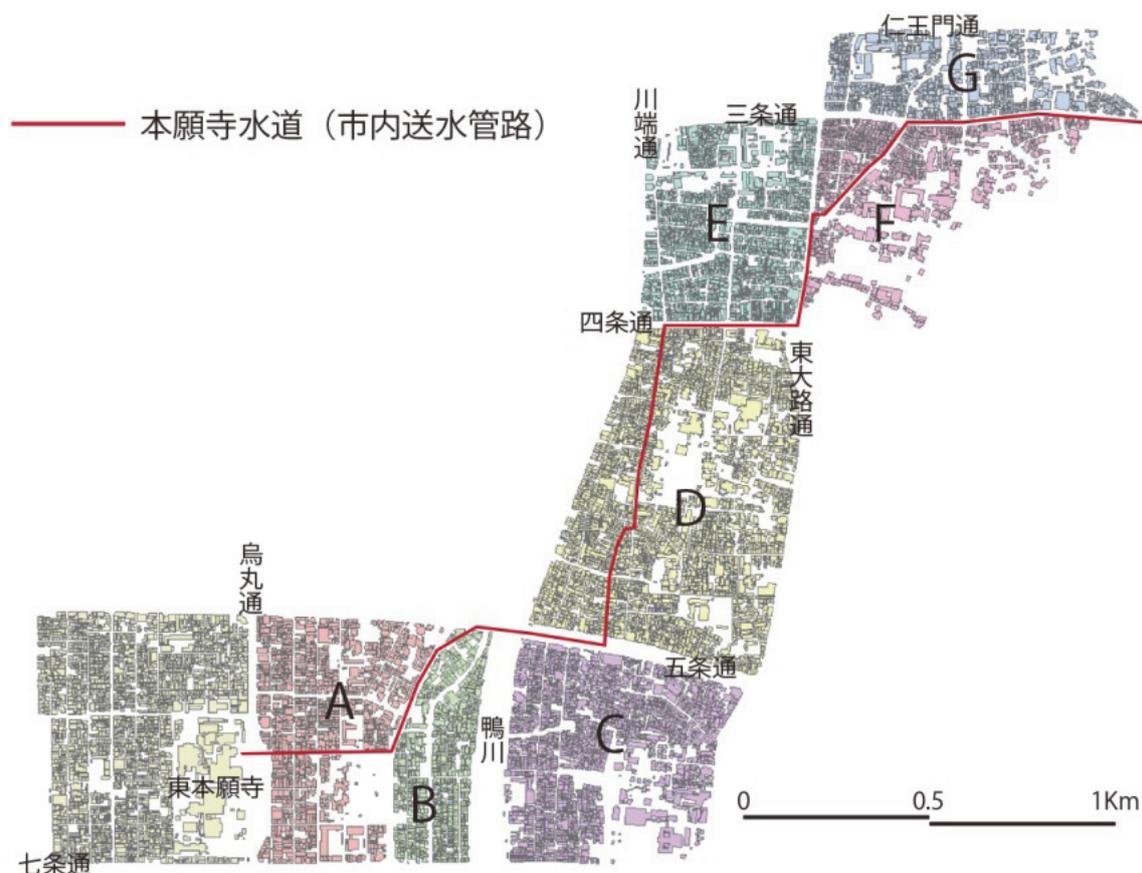


図3-12 京都市本願寺水道の設置場所とケーススタディエリアの選定

表3-1 本願寺水道沿線上、延焼火災に関わる各エリアの属性

エリア	建物数	建築面積 m ²	延焼建ぺい率	木防建ぺい率
A	1068	146573	0.488077	0.427826
B	764	82581	0.573316	0.531994
C	1770	197433	0.519567	0.487104
D	2853	306824	0.529849	0.468807
E	1734	139386	0.485239	0.363942
F	1046	111158	0.365131	0.297855
G	874	90393	0.380418	0.311655

方々が参加される定期的な防災訓練などが行われている^{補注4}。さらに本地区は東山消防署があり、17基の防火水槽が設置されていることから、地区内の消防団や消防隊により消火活動を行う上では十分な水利を確保していることとする^{補注5}。一方、本地区内の市民による消火活動が期待される第1段階「初期小規模火災」と、消防隊による消火活動が期待される第2段階「数棟規模の火災」に関しては、消防力として定量化することが難しいことと、最も水量を必要とする第3段階「大規模延焼火災」について水量の有効性の検証を行うことができれば、それより少ない必要水量による消防活動は十分可能だと考えられるため、本節では扱わないこととする。

4. 対象エリアにおける延焼抑止放水システム（WSS）を整備する路線の検討

4-1. 道路閉塞の推定

ケーススタディエリア内の道路について、人による消防力として代表される消防隊や消防団が進入及び通行できなくなる幅員を抽出する。その幅員については以下の条件に従って定める。

- ・道路が交わる交差点をノードとし、交差点同士を結ぶ道路をリンクとする。
- ・リンクを中心として両側に対面する建物の隣棟間隔が最も短い距離をそのリンクの道路幅員として定義する。

以上の結果、対象地域内には幅員が4m以下の道路から25m以上の道路が存在する（図3-13）。

災害時の交通マネジメントを検討した安らの研究⁶⁾では、道路通行可能確率0.6以下の京都市の道路に対して、災害時に閉塞される可能性を指摘している^{補注6)}。道路幅員に基づく阪神・淡路大震災の被害状況の分析結果による通行可能確率と、京都市内の実情を反映した沿道建物の倒壊可能性を基に、震災時における道路通行可能確率が計算されている塚口らの研究⁷⁾では、「道路

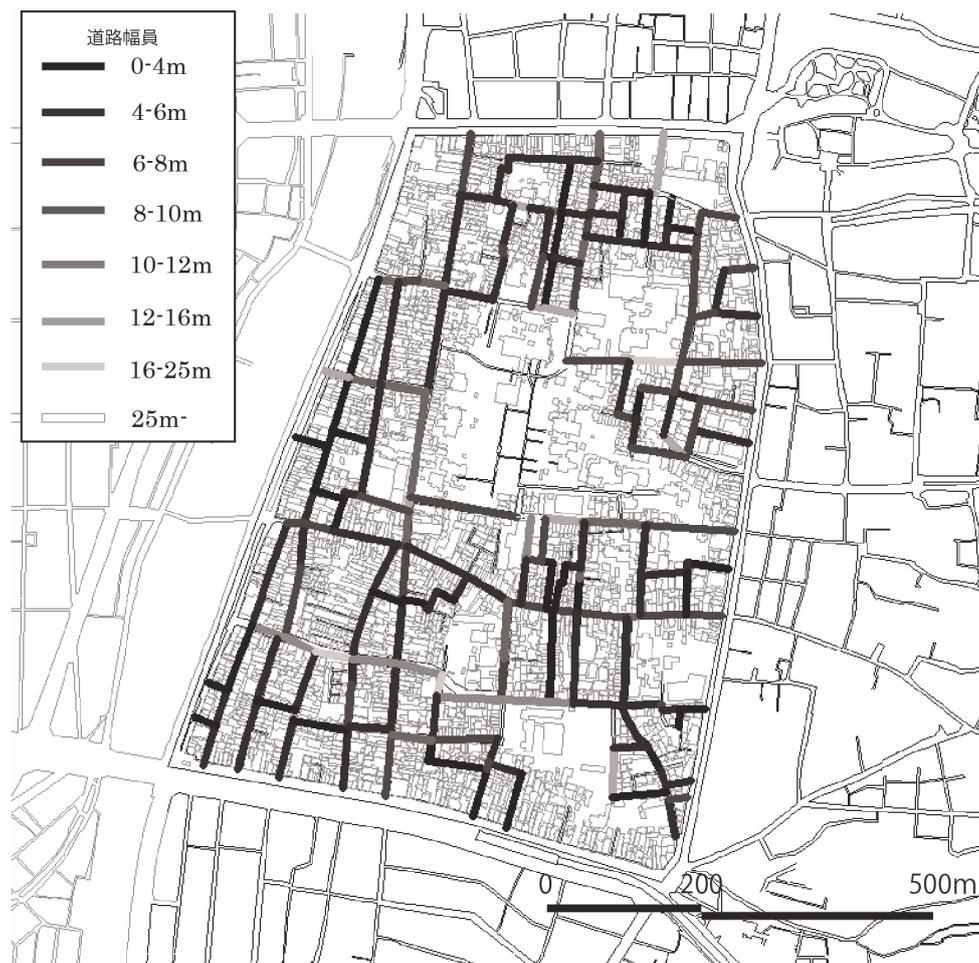


図3-13 京都市本願寺水道の設置場所とケーススタディエリアの選定

幅員と沿道建物の倒壊を考慮した場合」には 6m 以下の道路が道路通行可能確率 0.6 以下となっている。そのため、本研究の対象エリアにおいても道路幅員 6m 以下のリンクは震災時に閉塞され、通行が不可能になる確率が考えられる一方、WSS を整備する上でより安全面で検討するために一律的に 6m 以下の道路は進入及び通行ができないこととした。

4-2. 祇園南地区において WSS の整備が必要な路線の検討

これより周りの幹線道路からエリア内に進入できる道路は 30 本存在するが、大震災時による道路閉塞を考慮した場合、進入及び通行が可能となる道路は 14 本となる。この 14 本の進入・通行可能道路における消火活動を想定する。通行が可能な道路上の消火栓は、上水道の断水により使えない可能性がある。一方、大規模な震災時にも有効な消防水利と活用できる鴨川からは、ホース最大延長 2km の大量送水工作車を用いて各通行可能道路の進入口までに送水することが可能である。進入口からは消防ホース延長 400m の範囲（半径約 280m：ホースの最大延長 $\div 2 \times \sqrt{2}$ ）で到達するため^{補註7}、震災時にも消防隊員による消火活動が可能になると考えられる（図 3-14）。幅員が 6m 以上であるためエリア内での通行は可能だと想定される道路のリンクでも、進入口から連続されないと鴨川からの消防水利が届かないことから消火活動が不可能になると考えられるため、エリア内への進入と通行が両方可能になる道路を除くすべての道路には WSS

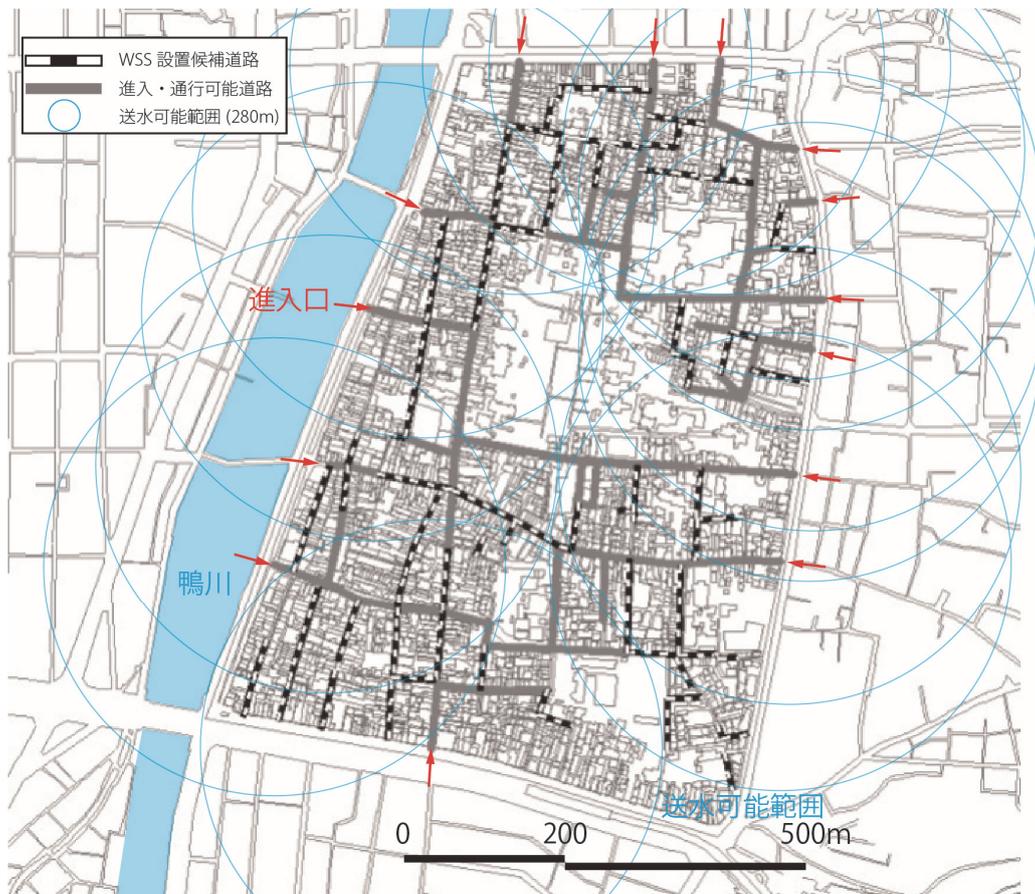


図 3-14 WSS の設置候補道路と、公設消防の進入・通行可能道路

の整備を検討する。但し、整備を検討する道路のうち 4m 以下の道路では接炎の影響から WSS を設置しても十分に延焼を抑止することができない可能性⁸⁾を考慮し、整備しないものとして考えた。

これらのことを踏まえて、市街地の延焼が跨ぐ幅員 4m 超過 12m 未満の道路の中で震災時の道路閉塞によりエリア外からの公設消防が進入できず人力による消防水利が供給されにくくなる道路を対象として WSS を整備することとした (図 3-14 中 WSS 設置候補道路)。

5. WSS の整備に必要な条件の検討

5-1. WSS ノズルの散水能力設定

本研究における WSS ノズルの性能は、大窪ら⁹⁾により開発の途中であるため、その設計仕様を基に検討を行った。

木材に対する延焼抑止効果を得るためには $1.35\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ の散水量が必要とされる¹⁰⁾が、既往の研究では、木造外壁材に加熱と散水を行い、WSS を基に延焼を抑止するために必要な散水量は安全率を見込んで $2\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ としている⁹⁾。また、高さ 10m (木造 3 階建て相当)、横幅 20m の木造町並みの全面に散水することとして、既往のノズルを組み合わせることで 200m^2 の散水面積を目標されている。

対象エリアにおいて WSS の整備が必要とされる道路は、その幅員が 4~12m と散水距離が変化するが、本研究では距離には関係なく、目標としている散水面積 200m^2 に $2\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ の散水量が確保されるように設計を行い、WSS 一つ一つのノズルより放水される流量は $400\text{L}/\text{min}$ (目標散水面積×必要散水量) とした。

既往の研究では、伝統的な木造地区における 4~10m の散水距離からより厳しいと考えられる 10m への散水距離を目標に実験を行っている⁹⁾。目標散水面積を基に WSS ノズルを 20m の間隔で設置を行う場合、一つのノズルから散水される角度により散水面積が重複する区間が生じるため、散水距離が 10m を超え 12m になっても十分な必要散水量が確保されると考えられる (図 3-15)。

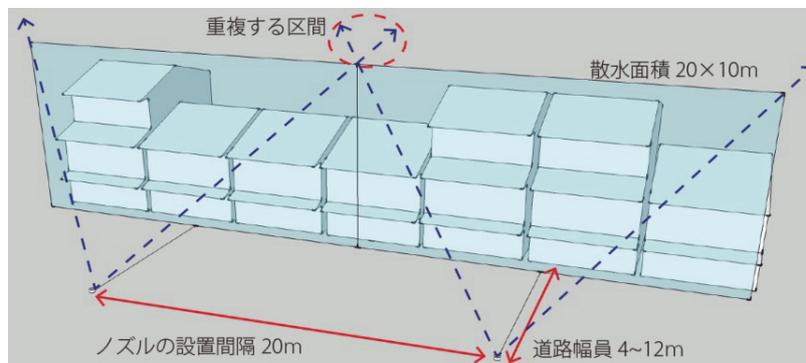


図 3-15 WSS ノズルの散水距離と、道路上の設置間隔

5-2. 本願寺水道より散水可能な WSS ノズル数の算出

本願寺水道の再生によりケーススタディエリア内にもたらされる内径 238.8 mm の送水管(第2章)から, WSS 設置候補道路へ 150 mm の配水管を分岐することと仮定する(図3-16). 配水管内に流れる水の圧力損失を最小限にするために, WSS 設置候補道路を通る配水網はすべて2系統以上となるようにした.

この配水管上に 20m の間隔で WSS のノズルを配置する. 供給される水量は琵琶湖疏水(8.35m³/s)を水源としているため無限と仮定できるが, 圧力面での送水能力は限界がある.

供給される流量は水源地と対象エリアとの標高差(約 35m 強)と距離(約 2 km)によって決まる. エリア内の送水管から WSS 散水ノズルに配水される距離と, エリア内の標高差による圧力損失によって, 送水管よりノズルへ供給可能な水は限られると考えられる. 本研究では, 一つのノズル(流量 400 L/min)から放水される水は最大散水距離 20m を必要とされるため^{補注8}, 同時に起動し 20m の有効水頭が確保されるノズル数の最大値と最小値を算出した. なお, 管網解析はヘーゼンウイリアムズの式を基本としている¹¹⁾.

その結果, 対象エリアに通る送水管から近いノズルに関しては最大 30 基に対して 20m の有効水頭が確保された. 一方, 送水管からの配水距離が比較的遠く, 標高が高い東南部エリアでは最小値である 18 基に対して 20m の有効水頭が確保できることが明らかとなった.

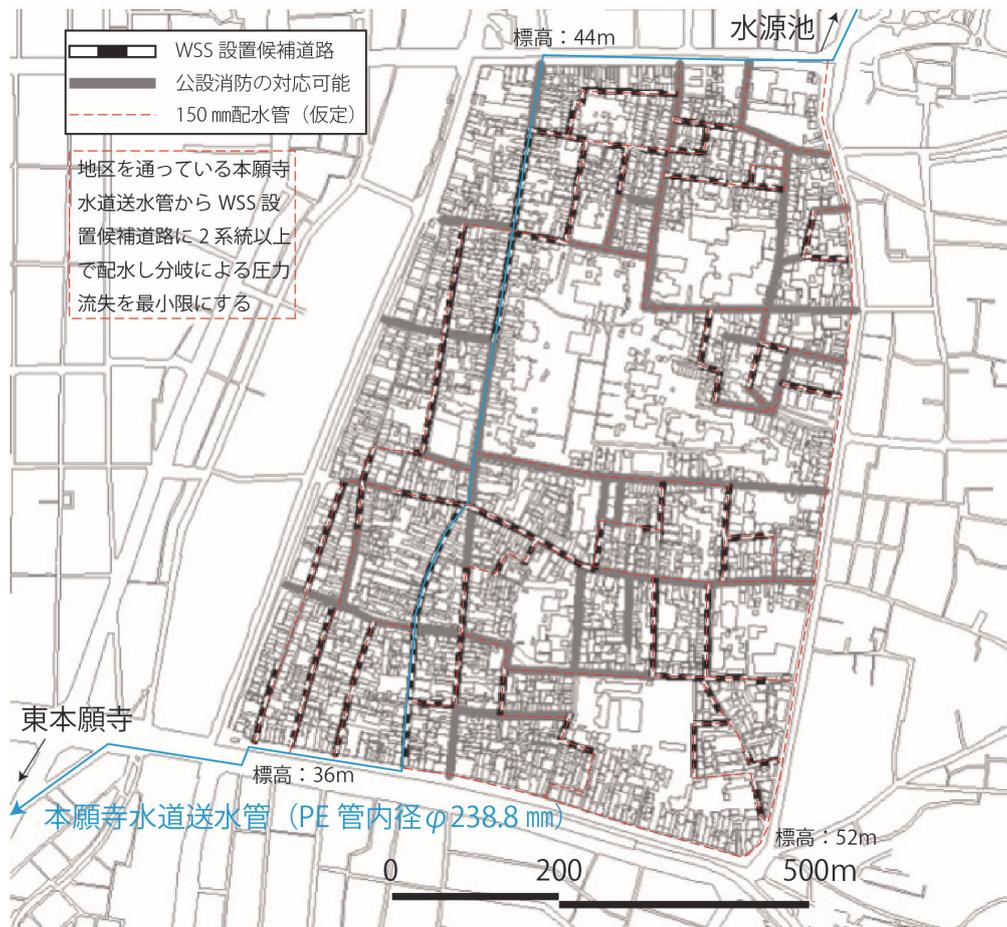


図3-16 本願寺水道からの配水管路設定 (配水管内径φ150mm)

6. WSS の整備による延焼抑止効果の検証

6-1. 延焼シミュレーション設定の条件

5章と6章を通して計画検討を行った祇園南地区におけるWSS整備の延焼抑止効果を検証する。そのシミュレーションのために樋本らが開発した物理的延焼性状モデル¹²⁾を使い、モンテカルロ法によって対象地域の延焼確率を算出した。シミュレーション設定の条件は以下の通りである。

京都市東山区における出火件数は4件と算出されており、東山区全体の面積7.46km²の中で祇園南地区(0.3068km²)の面積は約4%に過ぎないが安全側に考えてエリア内において出火が想定される建物の数は1件とし^{補注9}、着火場所はランダムになることとした。計算条件は無風状態(熱気流による温度上昇と飛び火の影響を考慮した延焼抑止のシミュレーションはできなかったため)で、出火から24時間(対象地域での延焼が端から端まで到達する時間)までとし、計算回数は平均焼失建物数が定常状態となる500回とした。シミュレーションでは500回の計算を通して、建物の延焼される回数を確率として算出するため、その結果でWSS整備による延焼抑止効果を分析することはできない(図3-17)。

そのためにWSSを整備してない「放任火災の場合(case1)」と、本研究で主に検討された「WSS

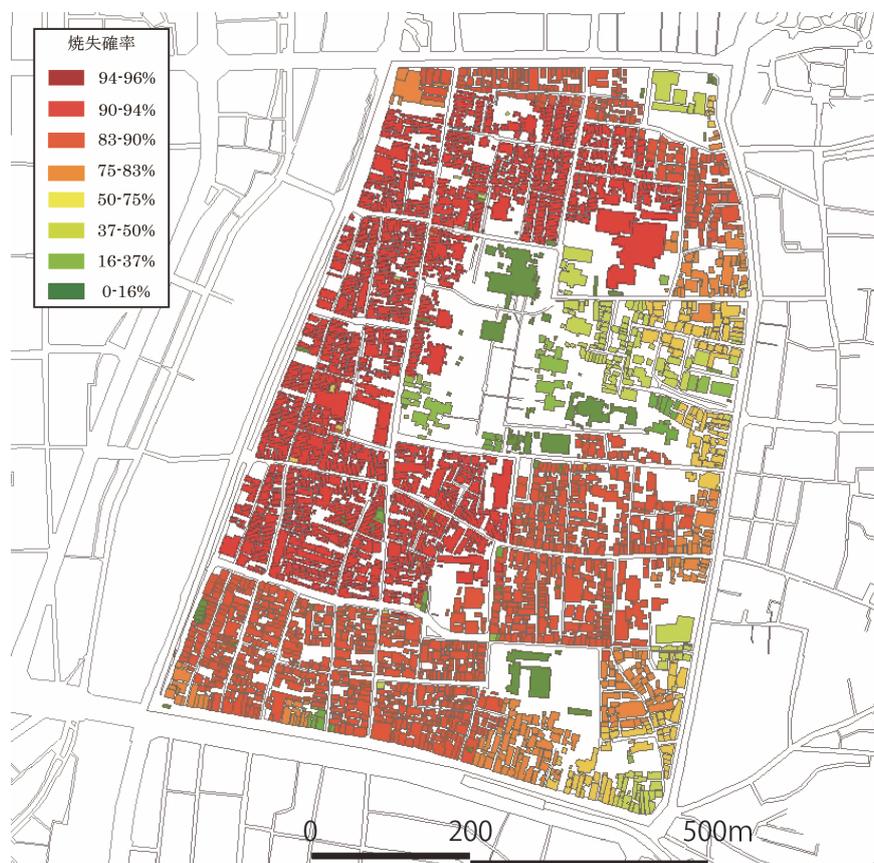


図3-17 延焼シミュレーション結果 (case1 放任火災の場合)

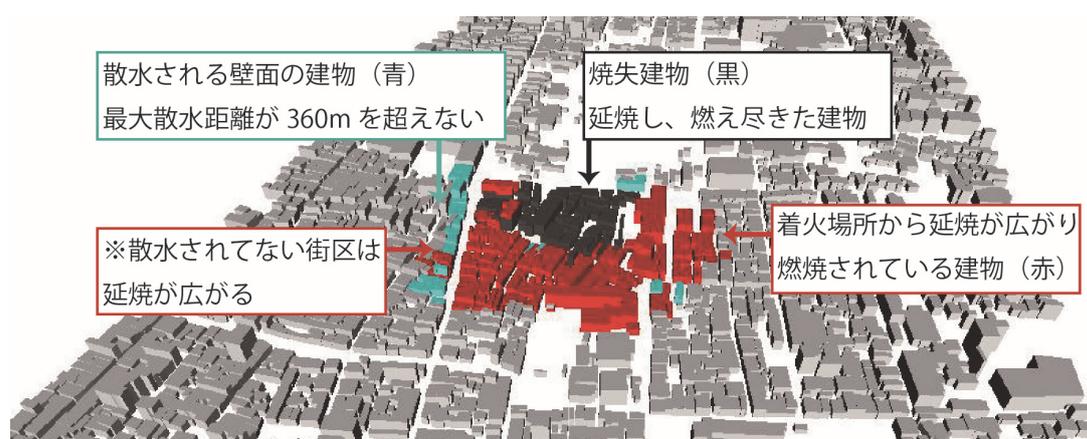


図 3-18 延焼シミュレーションの設定 (例)

整備による延焼抑止効果(case2)」の結果を比較する。さらにエリア内に公設消防の到達が可能な道路 (図 3-16) ついて完全に延焼を止められることと仮定した、「WSS の整備+消防隊員による消火活動の場合(case3)」も延焼計算を行った。case3においては、消防隊が6m 超過~12m 未満の道路に進入し、本願寺水道意外の水源 (鴨川など) を使って延焼抑止活動を行うものと仮定した(その活動による延焼抑止効果は算定ができず、完全に延焼を抑止できるものと仮定した)。

同時に散水可能なWSSノズルの数は18~30基と場所によって差があることが算出されたが、安全面を考慮してシミュレーション上では、どの着火場所でも最小値の18基までが起動されることとした。

ランダムな着火場所から建物が延焼しWSSが整備されている道路までに拡大されると、道路を中心として反対側に横幅20m (高さ10m) の単位でノズルが起動される。シミュレーション上、同時に稼働できる18基のWSSの最大散水距離 $w_{s,max}$ は合計で360mとなる (図 3-18)。

一旦WSSのノズルが起動されると反対側の燃焼建物が焼失し延焼が止まるまで散水され、延焼を抑止した後は他の延焼が拡大されているところのノズルが起動される。もし最大散水距離より道路に面する延焼建物の面積が大きい場合には、散水されてない面から延焼は拡大される。

6-2. 延焼シミュレーションの結果

各 case における時間変化に伴い焼失される建物数の平均をまとめた (図 3-19)。

図 10 に示されたように本研究により検討したWSS整備 (case2) は、放任火災 (case1) と比べて、毎時間あたり延焼建物数が半分以下に収まっていることが確認できる。

WSSに加えて消防隊員が進入することで延焼を抑止することができれば (case3) 大規模な地震火災時における焼失建物数を100棟以下に収められる。但しこのシミュレーションの結果は、消防隊員による消防活動は完全に延焼を抑止することと定量的に設定した理由によるものだと考えられる。

これらの結果、震災時の道路閉塞等の理由により十分な消火活動ができない状況下においても、本願寺水道を水源とするWSSの整備は、ケーススタディエリア内の延焼から焼失建物数を半減しうる一定の効果が得られることが明らかとなった。

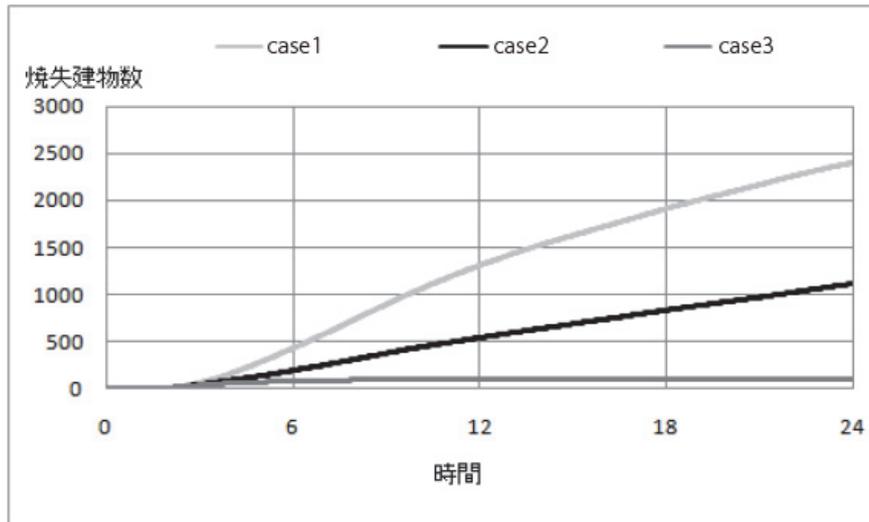


図3—19 時間変化に伴う焼失建物数（平均）

小結

本章では、京都の市街地に敷設されている本願寺水道の防災活用を検討し、大規模地震に伴う都心部の延焼火災対策として試した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 放任火災の場合、木防建べい率が40%を超え、延焼により地区内ほとんどの建物が焼失する可能性が危惧される祇園南地区には、震災時に閉塞の可能性がある道路通行可能確率0.6以下の6m以下の道路が存在することから、消防隊の進入による消火活動が期待できない街路が生じる。火災の路線防御のためには自動式散水設備であるWSS（延焼抑止放水システム）の整備を通して本願寺水道の消防水利を活用することが可能である
- (2) WSSは現在開発中でもあるため、一つのノズルから放水時に必要される水は最大散水距離20m（有効水頭）とし、同時に起動可能なノズルの最大数と最小数を算出した。その結果、対象エリアに通る送水管から近いノズルに関しては最大30基、一方で送水管からの配水距離が比較的遠く、祇園南地区内の標高が高い東南部エリアでは最大18基に対して20mの有効水頭が確保できることが明らかになった。
- (3) 祇園南地区に本願寺水道の配管を基にするWSS整備の延焼抑止性は、延焼シミュレーション（田中、樋本による物理的延焼性状予測モデルの延焼シミュレーション）を通してその効果を確認した結果、放任火災時に比べて焼失建物数が毎時約半分以下になることが明らかとなった。本願寺水道からの給水による祇園南地区内のWSSは、放任火災と比べて毎時間あたり延焼建物数が半分以下に収まっていることが明らかになった。
- (4) WSSによる消防に加えて、地区内に進入が可能な道路に関しては消防隊員が完全に延焼を抑止することができれば、大規模な地震火災時における焼失建物数を100棟以下に収めら

れることが明らかになった。

補注

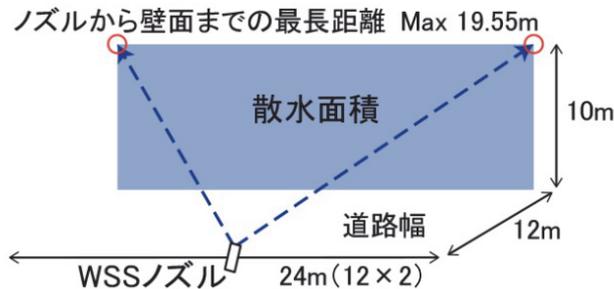
1. 京都市では「京都市防災水利構想」(2002)を通して地震などの大規模災害時に想定される三段階の火災規模(第1段階初期小規模火災—第2段階数等規模の火災—第3段階大規模延焼火災)と、その消火活動に必要とされる消防水利を整理している。なお、京都市消防局(2004)「京都市消防局震災消防水利整備計画」では、地震時の公設消防による数棟規模の火災(第2段階)の対応のために、延焼危険度と人口密度を基に地域別の火災危険度をランク付け、対象地域に必要な量の消防水利を算出している。
2. 京都市では災害時に確保すべき緊急輸送道路を1次から3次までに区分して指定している⁴⁾。三条通や東大路通、五条通、等が該当し、十分な道路幅員を有するため、延焼遮断帯としても機能する。
3. 延焼建ぺい率は、「木造(防火造を含む)+準耐火造の各建築面積が地区面積に占める割合」である⁵⁾。
4. 祇園町南側地区まちづくり協議会の活動報告書を基に推定。
5. 京都市消防局、「京都市消防局震災消防水利整備計画」, pp.5-20, 2004.では上記、補注1の内容通りに延焼危険性が高い地域に必要なとされる消防水利を、対象地域内における既設の消防水源や周辺の大きな河川から引水できる可能性などで考慮している。祇園南地区は高い延焼の危険性は挙げられるが、不足される水量が報告されていない。



(参考図：図中◎は防火水槽17基)

6. 安⁶⁾らは震災時を考慮した交通マネジメントを検討している。本研究では、通行可能率0.6以下の道路の閉塞を考慮することでより厳しい災害状況を想定することとしている。
7. 一台の消防ポンプ車当たり、一般的には20mのホースを10本つないだ200mのホースを2組使用して消火活動にあたる。地震火災時にはその2組をさらにつなげることで400mまで延長することが可能である。

8. 管網解析シミュレーションシステム PIPE-mini Win を用いて水理計算モデルを作成し、管網の解析を行っている。なおノズル1基の有効水頭は、空気や風による抵抗損失はないこととして、最大散水距離 19.55m (ノズルから一番遠い壁面まで離れている距離) に満たすこととして 20m と設定した。(下記：参考概念図)



9. 京都市、「京都市第3次地震被害想定報告書」, p.23, 京都市, 2003.を参照した。

参考・引用文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 建築編 - 6 火災・情報システム, 日本建築学会 p.47, 1998.10.
- 2) 京都市消防局, 京都大学地球環境学堂：清水地域の地域特性に応じた消火システムに関する調査研究委託業務報告書, pp.68-70, 2007.
- 3) IMOTO Shunsuke, OKUBO Takeyuki, HIMOTO Keisuke, TANAKA Takeyoshi: A Study on Installation planning of the "Water Shield System" -an Area-wide Water Discharge System for Protecting Historical Wooden City from Post-Earthquake Fire Spread -Evaluating its Effectiveness by Using the Fire Spread Simulation Model in the Kiyomizu area, Kyoto-, Journal of International City Planning, pp.759-768, ISCP2010, 2010.
- 4) 京都市：京都市第3次地震被害想定報告書, p.23, 京都市, 2003.
- 5) 京都市消防局：京都市消防局震災消防水利整備計画, p.4, 2004.
- 6) 安隆浩, 塚口博司, 久下紗緒里, 小川圭一：文化遺産防災のための歴史都市における災害時交通マネジメントに関する研究, 歴史都市防災論文集, Vol.5, pp.42-44, 2011.7.
- 7) 塚口博司, 小川圭一, 田中耕太, 本郷伸和：歴史都市における道路機能障害の推定, 歴史都市防災論文集, Vol.3, pp.257-258, 2009.6.
- 8) 前掲書 4) pp.57-97
- 9) 大窪健之, 荒川昭治, 菊間陽介, 田中哮義, 井元駿介：延焼火災から歴史街区を守る街路壁面散水設備の開発～低負荷で効果的な Water Shield System の仕様検討～, 歴史都市防災論文集 Vol.5, pp.117-124, 2011.7.
- 10) 土橋常登, 田坂茂樹, 吉田正友, 田中哮義：加熱を受ける壁面への事前散水による延焼防止効果に関する実験, 学術講演梗概集, A-2, 防火, 海洋, 情報システム技術, 社団法人日本建築学会, pp.29-30, 2007.
- 11) 今本博健, 板倉忠興, 高木不折：水理学の基礎 新体系土木工学 21, 技報堂出版, 土木学会編, pp.35-62, 2007.
- 12) 樋本圭佑, 田中哮義：都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発, 日本建築学会環境系論文集, 607, pp.15-22, 2006.

○第4章

歴史的な水利環境を防災活用するための計画プロセスの考察

-
1. 計画プロセス構築の方法と目的
 2. 消防水利として活用するための計画プロセス
 3. 市街地延焼火災に備える延焼抑止放水システム整備の計画プロセス
- 小結

1. 計画プロセス構築の方法と目的

前章までは、歴史的な本願寺水道を再生する方法を検討し、再生する本願寺水道を消防水利として活用するケーススタディを通してその活用可能性を明らかとした。

このような具体的なケーススタディを通じた計画方法を一般化ができれば、少なくとも「水道」、「水利」、「水路」、「疏水」、「用水」のキーワードに関わる水道関連の国指定文化財 190 件^{補注1}の防災活用を考える保全方法の検討も可能であると考えられる。また、今までにも文化財建造物を対象として配備された重力式放水システムは、東大寺金堂、醍醐寺金堂、五重塔、久能山東照宮、大滝山三重塔、春日大社、日吉大社から確認ができた^{補注2}。現状のシステムは、国宝と重要文化財建造物のみを対象として配備されているが、境内のその他木造建造物においても元のシステムより防災活用することも可能であると考えられる（図4-1）。

本章では、本願寺水道の再生と活用を検討する一連のプロセスを整理し、歴史的な水利環境を防災活用のための汎用的な計画プロセスを構築する。計画プロセスは、第2章と第3章第1節で検討した研究内容を基に「消防水利として給水活用する計画プロセス」と、第3章第2節で検討した研究内容を基に「市街地の延焼抑止放水システム整備の計画プロセス」の二つとして構築を行った。

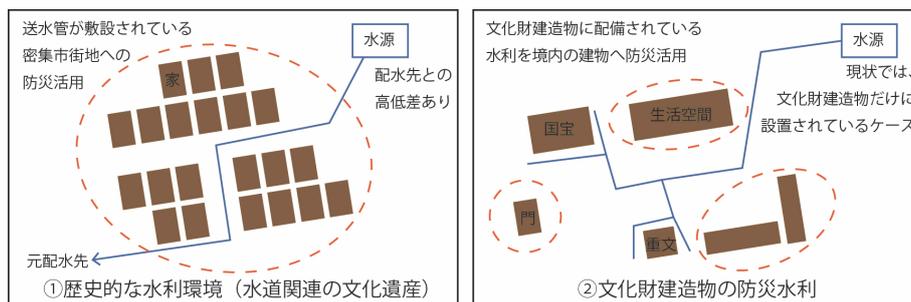


図4-1 計画プロセスの適用が可能となる水利

2. 消防水利として活用するための計画プロセス

まず「歴史的な既設の水利環境」のシステムは、自然流下式もしくは独立した動力源による給水が可能であるのか機能評価を行うべきである（第1章での検討内容）。

次には、文化財としての保全と防災水利としての耐震化が可能となる再生技術を基に、再生される水利における能力評価を行うべきである。なお実施に向けた保存状況の確認は、文化財を保全するためにも極力の非破壊検査を行う。

消防水利として活用する計画の立案においては、まず歴史的な既設の水利環境を通して給水が可能となる対象地域の消防水利とそれら運用を含めた既存の消防計画に関して調べる必要がある。その項目は「消防体制」、「消火活動の段階」、「放水設備」、「システムの耐震性」であると考えられる。これらの既存の計画内容を基にし、初期小規模火災—数棟規模の火災—大規模延焼火災といった第3段階の火災規模に応じた消火活動を計画する。

それぞれ段階の消火活動に必要とされる放水設備の整備を検討する。本計画プロセスでは、放水設備を動かす消火活動を想定し、1号消火栓、屋内消火栓、屋外消火栓、消火栓などによる「消火可能範囲」に基づいてその配備を計画する。配備する放水設備に対して、歴史的な既設の水利環境より給水することで同時に放水が可能な設備の数を算出する。同時に放水できる設備の数に限界がある際には、地域に備えられている水源を消防水利として活用すること、もしくは新たな消防水源を拡充する。

上記、消防水利としての計画と評価における検討内容をフローチャートとしてまとめた計画プロセスは次の図となる（図4-2）。

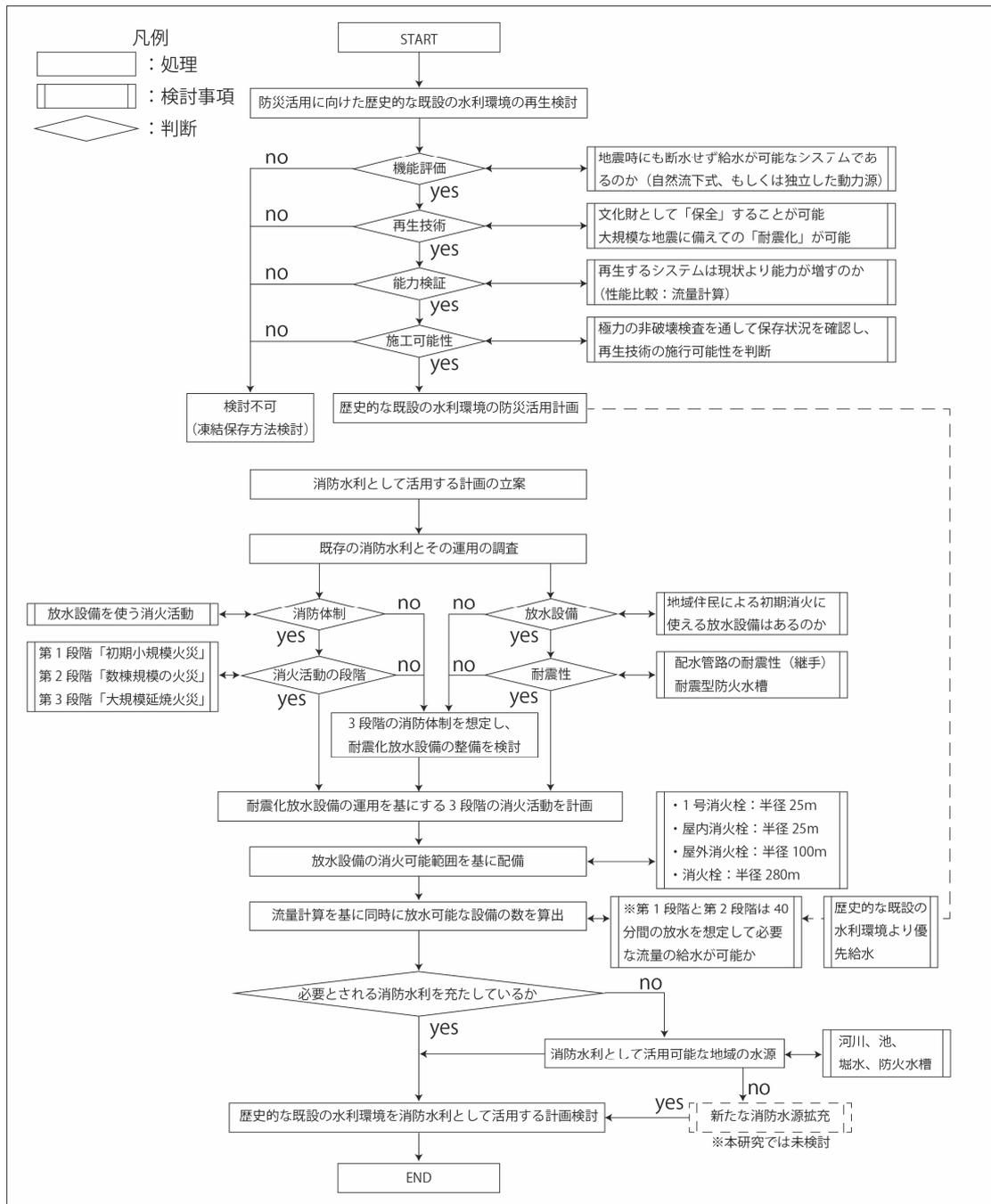


図4-2 歴史的な水利環境を消防水利として活用するための計画プロセス

3. 市街地延焼火災に備える延焼抑止放水システム整備の計画プロセス

市街地延焼火災に備える延焼抑止放水システムとしての計画の立案においては、まず送水管の沿線上に本システムの導入が必要とされる地域を選定する。幅員 12m 以上の延焼遮断帯となる道路を基に区切った市街地の中で、放任火災の場合に焼失する可能性が高い木防建べい率が 40%を超える地区は、システム整備の対象として検討する。

対象地区の中では、道路幅員と大規模な地震時の沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率が 0.6 以下の道路に加えて、0.6 超過の道路でも幹線道路からの進入から奥までの到達が不可能となる「消防隊が到達不可能な道路」として延焼抑止放水システムの整備を検討する。整備対象道路は 4m 超過～12m 未満の幅員になる。

延焼抑止放水システムの散水ノズルは（散水流量：400L/m²min）20m 間隔で対象道路上に配置を行い、歴史的な既設の水利環境による給水を基に対象地区内で同時に放水が可能なノズルの数を算出する。システムの最大放水を基に対処地区内での延焼抑止効果を評価する。毎時間に対する焼失建物数を算出し、放任火災時と算出結果と比較を行う。

計画プロセスを構築する上で、本研究の中で検討ができなかった項目は、第 3 章第 1 節における「新たな消防水源拡充」と第 3 章第 2 節における「水源を拡充して給水を補助」の内容である。本願寺水道の防災活用プロセスの中では、ケーススタディエリア全域に整備を検討したすべての放水設備に消防水利を給水することは一部限界があったことから、地域の水源である河川や、堀水も消防水利として活用することを検討した。もし地域に備えられている水源を用いても消防水利が不足される場合には、新たな水源を拡充する必要があると考えられる。

上記、市街地延焼対策としての整備と評価における検討内容をフローチャートとしてまとめた計画プロセスは次の図となる（図 4-3）。

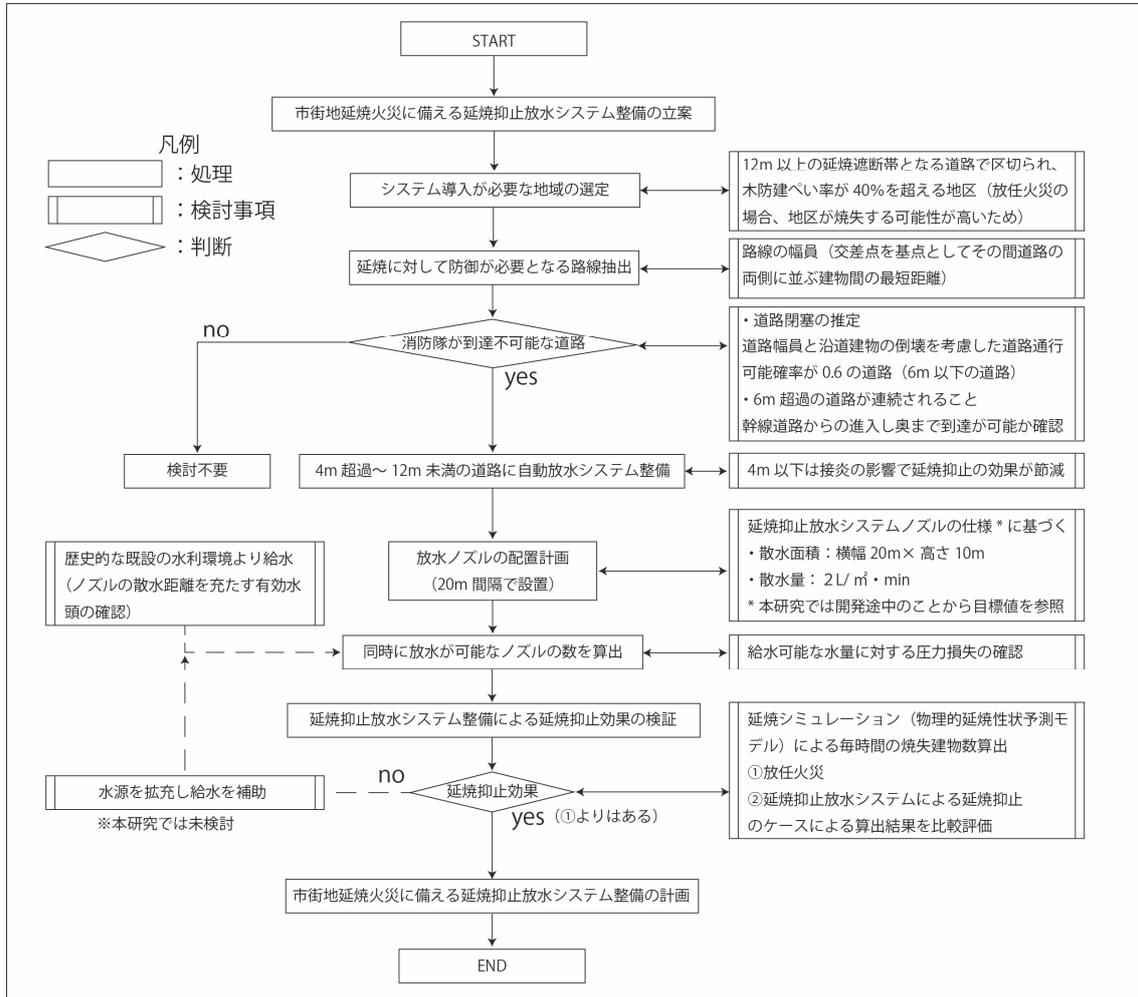


図4-3 市街地延焼火災に備える延焼抑止放水システム整備の計画プロセス

小結

上記のように本願寺水道の防災活用のために検討した二つのケーススタディを基に、歴史的な消防水利を防災活用する計画プロセスを汎用化へ向けて整理することができた。

補注

1. 国指定文化財から「水道」、「水利」、「水路」、「疏水」、「用水」のキーワードを基に検索を行った結果、190件の文化財を抽出できた。本リストの中には水道記念館といった建造物も挙げられるが、総合的な水道施設として捉えて水利環境として活用が可能なものと考えられる。
2. 東大寺金堂に関しては益田兼房氏(立命館大学 歴史都市防災研究所 客員研究員, 元文化庁建造物課)のヒアリング調査と李の調査研究¹⁾より確認した。醍醐寺金堂と五重塔は防災施設強化工事図面²⁾よ

り、久能山東照宮³⁾、大滝山三重塔⁴⁾、春日大社⁵⁾、日吉大社⁶⁾はそれぞれにおける防災設備工事報告書を基にその重力式防災水利を確認した。

参考・引用文献

- 1) 李明善：文化財建造物防火史に関する基礎的研究，歴史都市防災論文集，Vol.1，pp.88-91，立命館大学，2007.6.
- 2) 杉山隆建築設計事務所：総本山醍醐寺国宝醍醐寺五重塔ほか10棟緊急防災施設強化工事完成図：沢部消火配管境内埋設配管・消火設備，2002.
- 3) 重要文化財久能山東照宮（建造物）防災工事実施委員会：重要文化財久能山東照宮（建造物）防災施設工事報告書，1973.
- 4) 重要文化財大滝山三重塔防災施設工事委員会：重要文化財大滝山三重塔防災施設保存修理工事報告書，1972.
- 5) 春日大社編集：春日大社防災施設工事報告書，1983.
- 6) 日吉大社：日吉大社国宝重要文化財防災施設工事報告書，1966.

○第5章

結 論

-
1. 本研究で得られた知見
 - 1-1. 本願寺水道の耐震化再生の可能性
 - 1-2. 再生する本願寺水道の消防水利としての活用可能性
 2. 結論

1. 本研究で得られた知見

1-1. 本願寺水道の耐震化再生の可能性（第2章）

第2章では、大規模な地震火災時にも断水しない送水管として本願寺水道を現代に再生する技術の検討を行った。既設の本願寺水道の配置に適した管更生工法の検討と、その実施可能性を検証するために管内の検査を行い、次のような知見が得られた。

- (1) 東本願寺に収蔵されている設計図や実測図と文献、2002年の実測調査により明らかになった16か所の本願寺水道の実測図を基に、本願寺水道の配置を確認した。
- (2) 東本願寺から近い管路には、かつて東本願寺前の噴水、堀の水、東本願寺の別院である涉成園の池に枝管が分岐され本願寺水道より水が注がれていた。また四条大和大路通交差点から東大路通と白川の交差点に至る管路にも、かつて大谷祖廟への枝管が併設されている。このことから将来的に少なくともこれらの枝管への分岐を含めた利用と、その間の区間となる伝統的な町家の密集する祇園南地区での防災活用の可能性も考慮して、この範囲では、分岐が可能となるパイプインパイプ工法での再生が必要であることが明らかになった。
- (3) 一方で当該区間より上流となる水源地から東大路通と白川の交差点までの区間ではできるだけ多くの水量を確保することが必要となるが、クローズフィット工法での再生は、既設管内に密着され内径は縮小するものの铸铁管の既設管より流速計数が高くなることで流量が増す。これらのことから、本願寺水道の再生には二種類の管更生工法による組み合わせが適していることが明らかになった。
- (4) 二種類の管更生工法により再生した場合の本願寺水道の送水能力を計算した結果、 $5.4\text{m}^3/\text{分}$ の流量が得られた。現状本願寺水道の漏水箇所を直すなど最小限の修復を行うことを仮定し、築70年以上が経つ铸铁管をそのまま利用した場合、 $3.5\text{m}^3/\text{分}$ の流量が得られたため、管更生工法により再生する本願寺水道は、送水能力面で現状に比べてより多くの流量が得られることが明らかになった。
- (5) 上述の再生技術に対して実際の施工可能性を検討するため、本願寺水道の管路診断を行った。X線による非破壊検査で投影されたフィルムを基に、管路の上流部として代表される白川橋下の管路と下流部として代表される涉成園北の管路の管内腐食状況を比較した。その結果、上流部に比べて下流部の管路の検査を通して錆こぶと腐食である鱗模様と黒い斑点が多く検出され、劣化がより酷いことが明らかになった。
- (6) 試掘された配管を対象に人力による簡易式の洗浄作業を通して管内の錆を落とすことができたため管更生工法の施工が可能であることが明らかになった。

管更生工法による耐震化再生工法は、既設の铸铁管内に新しく耐震性の高いポリエチレン管を通すため、明治期から残る既存の管路を保全し、本願寺水道の管路が持つ文化遺産としての価値を継承することが可能となる。また、管路沿線の防災水利が必要とされる市街地への分岐配管が

可能な工法も選択できる。非破壊 X 線検査と管内カメラ調査の結果を通しては管路全体の腐食程度を推定し、簡易式洗浄作業の結果から本管更生工法の実施は可能であると考えられるために、本願寺水道を耐震化消防水利として再生することが可能であることを明らかとした。

1-2. 再生する本願寺水道の消防水利として活用可能性（第3章）

第3章では、本願寺水道の地域を含めた消防水利としての潜在能力を探るために二つのケーススタディを行い、重力圧送式の消防水利システムによる給水能力を試算し、大規模延焼火災対策として活用した際の有効性を明らかにした。

(1) 既存の消防計画への支援給水

かつて本願寺水道からの水利を防災水源としていた東本願寺と、付近の震災時に消防水利が他地区と比較して不足すると想定されている下・上錫屋町周辺を対象として、3段階の火災規模に対して消防に必要なとされる給水能力を明らかにした。必要とされる給水能力に対して本願寺水道を水源にする消防水利の運用可能性を検討し、次のような知見が得られた。

- (1) 東本願寺境内における防災設備の設計担当者へのヒアリングを行い、既設の消防設備の仕様を確認することで消防水利システム運用時の必要な水量を明らかにした。現状、境内の消防水利システムは1基の防火水槽（227m³）より給水され50分間の放水を想定している一方で、通常火災から大規模延焼火災と危惧される3段階の火災時は50分以上の消防活動時間が必要とされるため不安が残る。
- (2) かつて境内の防火水槽までに給水されていた本願寺水道の境内配管を再生し、バイパス管として消防設備の送水管に直結することで、現状防火水槽のみである一系統の防災水利設備は二系統の給水システムとして運用が可能になることを明らかとした。
- (3) 本願寺水道により東本願寺境内に供給可能な最大 5.4m³/分の流量による給水を通して、境内3基の加圧送水設備（ポンプ）の中2基分に当たる消防設備の運用が可能である。本願寺水道の消防水利を基に、境内の防火水槽の227 m³の水を残り1基分の消防設備へ給水することで、より安定的な消防水利の運用が可能になることが明らかになった。
- (4) 下・上錫屋町を対象として3段階の火災規模の消防に必要な整備と方法を検討し、東本願寺と両方を対象として、同時給水の可能性を明らかにした。
- (5) （第一段階）初期小規模火災時の消防のために、下・上錫屋町には易操作性1号消火栓の整備を検討した結果、地区内全ての街路において消防水利を有するためには、最大28基の易操作性1号消火栓が必要とされることが明らかとなった。本願寺水道から東本願寺境内への給水を優先すると、下・上錫屋町における同時に起動可能な易操作性1号消火栓の数は12基と限られることが明らかになった。
- (6) （第二段階）数棟規模火災時の消防のために、東本願寺では自衛消防隊により屋内、屋外消火栓を操作する消火活動と、スプリンクラーによる自動散水消火が行われる。これと同時に

下・上錫屋町は $1\text{m}^3/\text{分}$ の放水量を持つ消火栓の 40 分放水を想定し、2 基以上使える環境を整える必要がある。本願寺水道からは境内で想定される消火活動に充当する流量と、下・上錫屋町での消火栓 1 基に充当する流量に対して給水が可能であることが明らかになった。

- (7) (第三段階) 大規模延焼火災時の消防のために、東本願寺では延焼防止のために水幕を張るドレンチャーの放水に必要される流量 ($3.18\text{m}^3/\text{分}$) を本願寺水道より給水可能である。同時に境内の放水銃の放水に必要とされる流量 ($3.2\text{m}^3/\text{分}$) は本願寺水道からの給水では圧力が十分でないことが明らかとなった。第三段階では境内の防火水槽の水も給水するものとするれば、下・上錫屋町においても、本願寺水道の余力で 1 基の消火栓に給水が可能であることが明らかになった。

(2) 都心内の延焼火災対策を目的とする放水システム

第 2 節では、本願寺水道の沿線上で延焼火災の被害が危惧される祇園南地区を対象として、本願寺水道の給水による対策を検討した。特に (第三段階) 大規模延焼火災時には道路閉塞などの理由により公設消防による消火活動が不能になる可能性がある地区内の道路を抽出し、WSS (延焼抑止放水システム) の整備を検討することで、次のような知見が得られた。

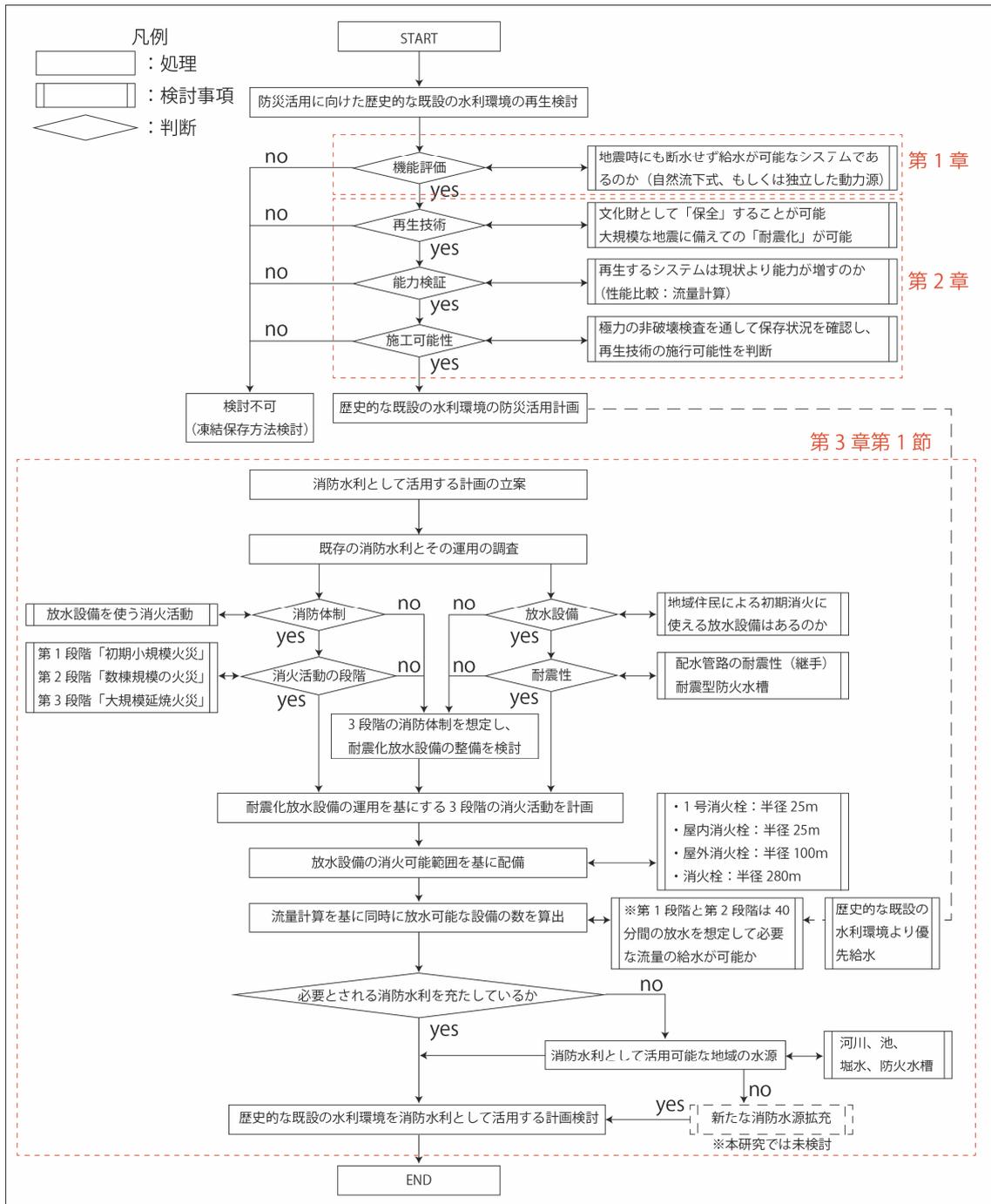
- (1) 放任火災の場合、木防建べい率が 40% を超え、延焼により地区内ほとんどの建物が焼失する可能性が危惧される祇園南地区には、震災時に閉塞の可能性がある道路通行可能確率 0.6 以下の 6m 以下の道路が存在することから、消防隊が進入および到達できず消火活動が期待できない街路が生じる。火災の路線防御のためには自動式散水設備である WSS (延焼抑止放水システム) の整備を通して本願寺水道の消防水利を活用することが可能である。
- (2) WSS は現在開発中でもあるため、一つのノズルから放水時に必要される水は最大散水距離 20m (有効水頭) とし、同時に起動可能なノズルの最大数と最小数を算出した。その結果、対象エリアに通る送水管から近いノズルに関しては最大 30 基、一方で送水管からの配水距離が比較的遠く、祇園南地区内の標高が高い東南部エリアでは最大 18 基に対して 20m の有効水頭が確保できることが明らかになった。
- (3) 祇園南地区に本願寺水道の配管を基にする WSS 整備の延焼抑止性は、延焼シミュレーション (田中、樋本による物理的延焼性状予測モデルの延焼シミュレーション) を通してその効果を確認した結果、本願寺水道からの給水による祇園南地区内の WSS は、放任火災と比べて毎時間あたり焼失建物数が半分以下に収まっていることが明らかになった。
- (4) WSS による消防に加えて、地区内に進入が可能な道路に関しては消防隊員が完全に延焼を抑止することができれば、大規模な地震火災時における焼失建物数を 100 棟以下に収められることが明らかになった。

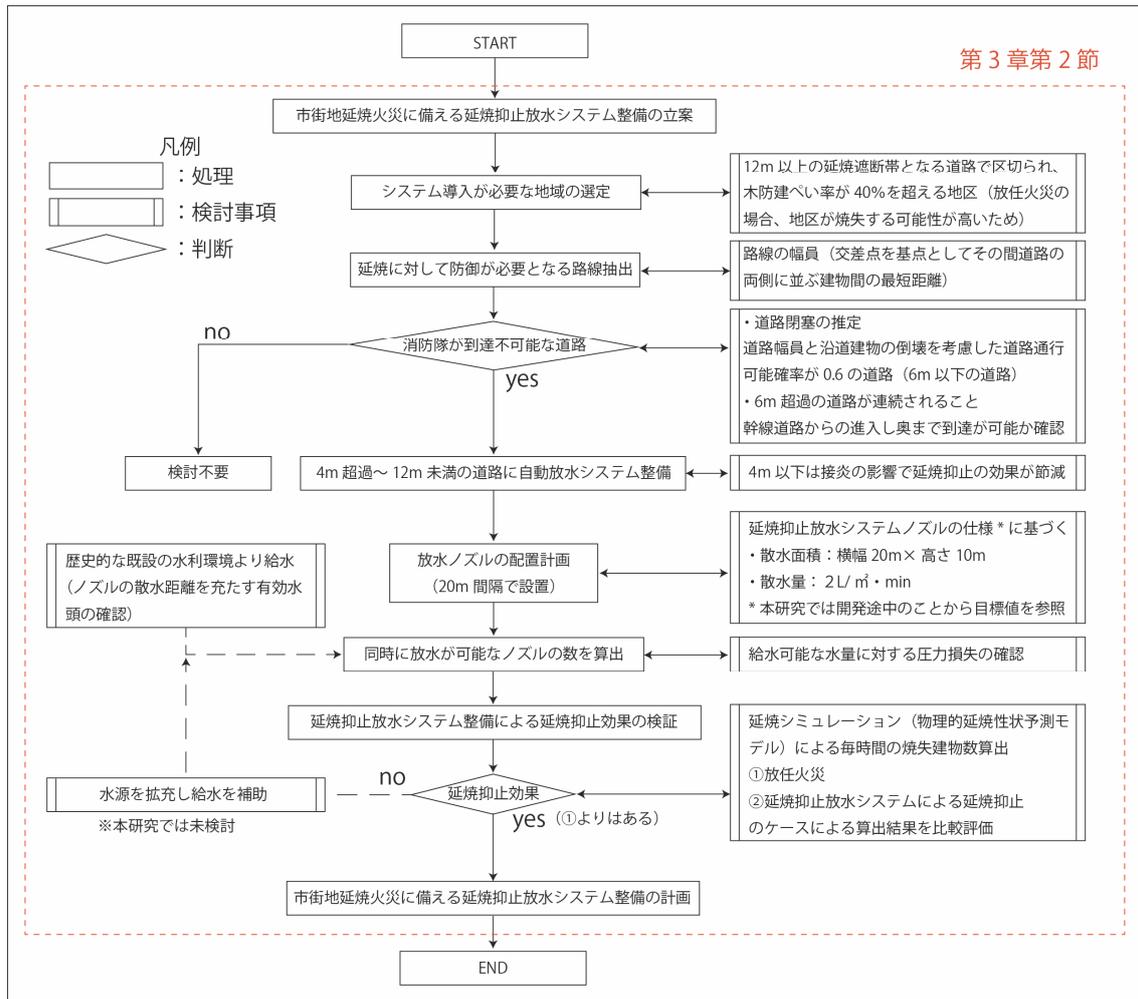
二つのケーススタディを通して、各対象地域における消防水利としての本願寺水道の有効性を明らかとした。琵琶湖疏水を水源としているために給水量に限界はないが、送水圧力に限界があ

そのため同時に放水できる消防設備の数が限られる一方で都市防火に対して一定の有効性があることが明らかになった。

2. 結論 (第4章)

これらの知見を基に、第4章では本願寺水道の再生と活用を検討する一連のプロセスを整理し、歴史的な既設の水利環境を防災活用のための汎用的な計画プロセスを構築した。





以上、本論文の各章における検討事項を基に、歴史的な水利環境の防災活用を目指した計画プロセスを構築した。第1章を基には「大規模地震火災の対策として給水が可能なシステムであること」、第2章を基には「歴史的な価値を保全すること、現状より能力が増すこと、再生工法の実施が可能であること」、第3章第1節を基には「第3段階の消防計画における消防水利として活用するプロセス」、第3章第2節を基には「消防隊による消防活動が困難とされ、延焼火災の恐れがある市街地を対象とする延焼抑止放水システムとして活用するプロセス」として整理することが可能であった。以上、本願寺水道の防災活用プロセスから、汎用化を目指して構築した計画プロセスを持って本研究の結論とする。

○おわりに

環境防災水利としての本願寺水道の再生を目指して

謝 辞

環境防災水利としての本願寺水道の再生を目指して

筆者が、本研究の主人公である「本願寺水道」に出会ったきっかけは 2009 年度の文化遺産防災アイデアコンペティションである。立命館大学 GCOE「歴史都市を守る『文化遺産防災学』推進拠点」(2008～2012)により主催・開催された、文化遺産を重心とした都市の防災をテーマとするアイデア設計競技の第一回目は「東本願寺とその周辺地域」が対象であった¹⁾。本コンペティションでは 2008 年から送水を停止した「本願寺水道」を再生活用するアイデアが求められ、結果的に全国の大学生より夢あふれる作品が募集された。筆者も応募者の一人であり、東本願寺前の緑地帯には歴史的な防災遺産である本願寺水道を眺められるアンダーパス、寺内町には再生する本願寺水道の水を流す小水路を設計した。

これからも 100 年以上前に建設された明治期の技術を現代に再生するために、まず着目したのは、本コンペティションの共催者であり、目に見えない防災遺産を一般に知らせるために 2004 年から活動²⁾している「東本願寺と環境を考える市民プロジェクト」である。本願寺水道から水が注がれていた東本願寺周りのお堀水を用いたバケツリレーの企画や、本願寺水道市内送水管 4.6km のルートを辿るウォーキングイベントなどの企画を行っている。2010 年からは本市民団体と東本願寺、筆者の所属している歴史都市防災研究室、NPO 災害から文化財を守る会・技術部会共同の「本願寺水道再生研究会」を発足し、現在までに至っている。

本願寺水道再生研究会を通しては、2011 年度、2012 年度の二回にかけて本願寺水道の再生意義とその活用可能性に関する報告書を執筆し、東本願寺へと提出した。これらの活動はマスコミからの取材などのきっかけもあり、京都市河川整備課や京都市上下水道局、下京区役所などの行政機関からも注目されている。現在は、本願寺水道を再生する場合の「水」をどのように使っていくのかを検討している段階であり、東本願寺前(烏丸通)緑地帯とお堀を一体とする防災緑地公園としてリノベーションし、その水源として活用することを構想している(写真 6-1)。現状 4000m²を超える緑地帯とお堀の水辺、歩道を一体化する公園は 7000m²以上の敷地を防災拠点として活用することが可能となる。また、歴史都市京都を訪れる玄関である京都駅から徒歩 5 分(約 300m)圏内にあることから、大規模な地震災害後の帰宅困難者の一時的な避難場所と

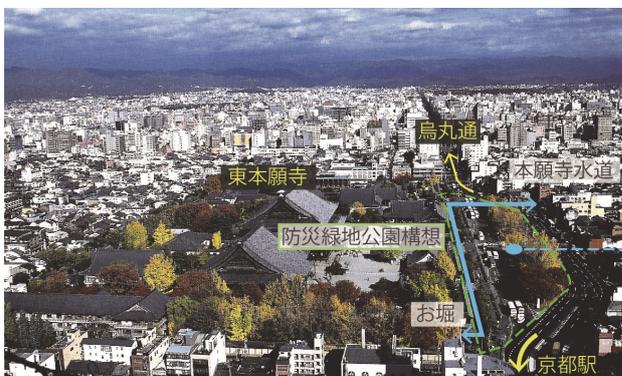


写真 6-1 防災緑地公園の構想(写真の上に加筆)



写真 6-2 公園内蓮型噴水(武田五一作)

しても期待できる。本願寺水道の水を緑地公園の水として使うことは、本来であれば非常時のみに使う消防水利を日常からも活用し維持管理も可能となる。よみがえる「水」と「緑」再利用の組み合わせで、かつて本願寺水道より給水されていた東本願寺前の蓮型噴水（写真 6-2）とお堀も本来のせせらぎを取り戻すことにもなる。

そもそもの「本願寺水道の再生プロジェクト」は、歴史都市を守る「環境防災水利構想」から始まったものである。環境防災水利とは「風土に備わる自然水利を活かすことを通じて、歴史に磨かれ、環境面でも優れた性能を持つ日本の伝統的木造文化を、地域市民の参加を含めて地震などの万一の災害による大規模火災から守り、平常時から利用できる豊かな水のある美しく安全な地域環境を実現すること」³⁾を目的としている。日本を代表する木造文化都市である京都を大規模な地震火災より守るため、「災害時にも断水することのない」地域固有の自然水利を活用した水利環境の整備を目指している。

将来的には、歴史都市京都ならではの「水利環境の整備」を構想してみる。本願寺水道を再生することで東本願寺と西本願寺を結び、現在は枯れている西本願寺のお堀にもせせらぎを復活させる。2009 から再び流れを戻した「堀川」とも繋ぎ合せ、現状は地下水や上水道により給水している公園の池や、世界遺産東寺の堀と池へと循環する水環境を備える。最終的には西高瀬川もしくは高瀬川へと合流させることで鴨川に放流され、循環する水環境を整えることが可能となる。

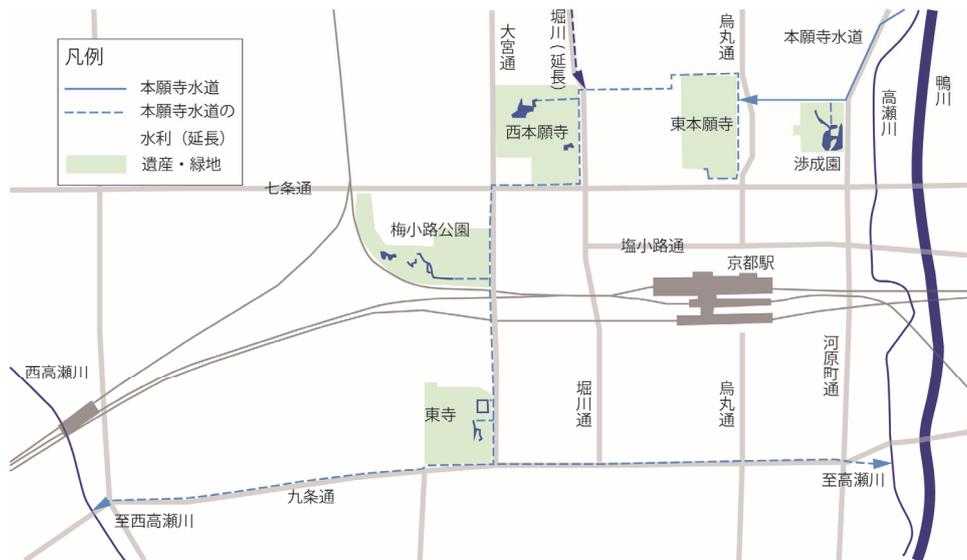


図 6-1 水利環境整備構想

参考・引用文献

- 1) 立命館大学グローバル COE「文化遺産防災学」推進拠点文化遺産防災アイデアコンペティション実行委員会：歴史都市を守る歴史都市をつくるー第一回文化遺産防災アイデアコンペティション，建築ジャーナル，2010.
- 2) 摩場美紀：東本願寺防災ワークショップレポートお堀の水でバケツリレー，情報ネット，NPO 法人災害から文化財を守る会，p.7，2010.
- 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，No.2，pp.88-94，日本建築学会，2004.2.

謝 辞

本論文の主査であり小職の指導教官である立命館大学工学部都市システム工学科大窪健之教授には、研究の方向性、方法、論文の執筆に至るすべての過程においてご指導を賜りましたことを心より深く御礼申し上げます。5年間に亘り先生からお教え頂いた「実社会へすぐに貢献できる実践的な研究者」としての姿勢は、一生の志として学びました。

本論文の副査を引き受け頂きました立命館大学工学部建築都市デザイン学科山崎正史特任教授には、本論文をまとめるにおいていつも励ましと心が暖くなる肯定的なご指導を賜りました。また、立命館大学工学部都市システム工学科塚口博司教授には、修士論文から引き続き博士論文の副査をも引き受け頂きました。いつも研究論文としての根源なる部分について大事なご意見を賜りました。副査を引き受け頂きました立命館大学工学部都市システム工学科小川圭一准教授には、水理計算やシミュレーションの設定条件などの本論文の質を高める上で必要な細かいご指導を賜りました。心より深く御礼を申し上げます。

立命館大学工学部都市システム工学科林倫子助教には、日出新聞より本願寺水道の記事を探して頂いたことや、歴史的土木建造物関連研究への情報共有を賜りました。心より深く御礼を申し上げます。

本研究を進めるにおいて、多くの方からのご協力を多大に賜りました。

建設技術研究所の荒川昭治様には、水理計算を行う上でご協力を賜りました。「NPO 災害から文化財を守る会・技術部会」の片桐信先生、横山昇様には多大な協力とご指導を頂きました。また、元部会員である岡崎直人様には本願寺水道の再生する管更生工法の組み合わせの可能性についてご一緒に検討を頂きました。

東本願寺の延澤栄賢様、蒲池誓様、下野真人総務部長様には関連する資料の提供を忌憚なく頂き、本願寺水道の再生案にご意見も頂きました。「東本願寺と環境を考える市民プロジェクト」のメンバーには、定例会議等を通して多大なご助言を頂きました。また、本願寺水道再生研究会の立ち上げにおいても関係者方々よりご協力とご指導を頂きました。心より深く御礼を申し上げます。

東本願寺の防災設備に関するヒアリング調査では日建設計の村上義弘様、能美防災の西口通久様において、境内の消防システムについては東本願寺中村遙様において貴重なお時間を頂きご教授を賜りました。本願寺水道の現状に関わる資料は岡野組の宇田辰雄部長様より頂きました。心より深く御礼を申し上げます。

第2章における本願寺水道の管内X線調査には、(株)大検の中川利昭様、栗山真人様、岡英輝様のご協力を賜りました。管内カメラ検査と錆こぶ落とし検査には、セキスイ管材テクニクス株式会社の西川源太郎様、山口建太郎様、山本祐司様のご協力を賜りました。また管内カメラ検査においてクボタシーアイ(株)の東健一郎様、西海貴史様のご協力を賜りました。

第3章第2節における延焼シミュレーションは、2011年度に終了した井元駿介君との協力によるものです。心より深く御礼を申し上げます。

文部科学省からは4年間にかけて国費奨学金を通して留学生活と学費における経済的な支援を頂きました。心から御礼を申し上げます。

5年間に亘る日本での留学生活を通して親友鄭韶永氏と京都の家族の皆様からはいつも心暖かい声援を賜りました。

また、立命館大学工学部歴史都市防災研究室と合同ゼミメンバーの諸兄、諸姉、同期の檀上君、松宮さんには多くのご応援と励ましを頂きました。末尾ながら皆様に厚く御礼を申し上げます。

最後に、小職の博士号取得を誰よりもお待ち望みながら大きな心の支えになって頂きました韓国の家族に感謝を送ります。

*

本研究は、立命館大学 GCOE「歴史都市を守る『文化遺産防災学』推進拠点」、「2011年度近畿建設協議会研究補助金」、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「文化遺産を核とした観光都市を自然災害から守るための学術研究拠点」、歴史都市防災研究所「研究施設運営支援（防災技術）」に基づく研究成果の一部であります。ここに記して謝意を申し上げます。

今日までに賜りました恩恵は、歴史都市と美しい文化を守る研究者として、これからは社会へ還元致します。

2014年2月 金 度源 (KIM DOWON)

おわりに

○資料編

文化遺産リスト

本願寺水道の現状把握に関わる検討資料（写真，図面，新聞記事）

本願寺水道再生に掛かるコスト・管更生工法

管内検査の結果

水理計算の設定条件・結果

	文化財種類	名称	棟名	時代
消防				
1	登録有形文化財(建造物)	旧鶴岡町消防組第八部消防ポンプ庫		大正
2		旧大阪市中央消防署今橋出張所(今橋ビルヂング)		大正
3		智頭消防団本町分団屯所		昭和前
4		四国村瀧元消防組第四部新馬場消防屯所		大正
防火				
5	登録有形文化財(建造物)	高龍寺防火堀		明治
6		黒沢治助商店防火堀		大正
7		荻野家住宅防火壁		大正
8		佐野家住宅防火壁		明治
9		中野金物店防火壁		大正
10		旧陸軍知覧飛行場防火水槽		昭和前
水道				
11	国宝・重要文化財(建造物)	旧大湊水源地水道施設	乙水槽	明治
12			第一引入口	明治
13			沈澄池堰堤	明治
14	登録有形文化財(建造物)	米内浄水場水道記念館		昭和前
15	国宝・重要文化財(建造物)	藤倉水源地水道施設	堰堤	明治
16			管理橋	明治
17			放水路	明治
18	登録有形文化財(建造物)	水戸市水道低区配水塔		昭和前
19		宇都宮市水道戸祭配水場配水池		大正
20		宇都宮市水道今市水系第六号接合井		大正
21		宇都宮市水道資料館(旧管理事務所)		大正
22		緑町配水場水道計量室		昭和前
23		緑町配水場水道山記念館(旧事務所)		昭和前
24		桐生市水道局高区配水池		昭和前
25		桐生市水道局高区量水室		昭和前
26		桐生市水道局低区配水池		昭和前
27		桐生市水道局低区量水室		昭和前
28		桐生市立西公民館機械室(旧水道倉庫)		昭和前
29		桐生市立西公民館本館(旧水道事務所)		昭和前
30		水道山記念館(旧配水事務所)		昭和前

31		水道資料館（元宿浄水場旧事務所）		昭和前
32		前橋市水道資料館（旧浄水構場事務所）		昭和前
33		千葉県水道局千葉高架水槽		昭和前
34		横須賀市上下水道局逸見浄水場ベンチュリーメーター室		大正
35		横須賀市上下水道局逸見浄水場緩速ろ過池調整室Ⅰ		大正
36		横須賀市上下水道局逸見浄水場緩速ろ過池調整室Ⅱ		大正
37		横須賀市上下水道局逸見浄水場緩速ろ過池調整室Ⅲ		大正
38		横須賀市上下水道局逸見浄水場緩速ろ過池調整室Ⅳ		大正
39		横須賀市上下水道局逸見浄水場配水池西入口		大正
40		横須賀市上下水道局逸見浄水場配水池東入口		大正
41		横須賀市水道局走水水源鉄筋コンクリート造浄水池		明治
42		横須賀市水道局走水水源煉瓦造貯水池		明治
43		横浜市水道局青山水源事務所旧青山取水口		明治
44		横浜市水道局青山水源事務所旧青山沈殿池		明治
45		旧横浜居留地煉瓦造下水道マンホール		明治
46		亀田町上水道高架水槽		昭和前
47		三条市水道局大崎浄水場1号・2号及び3号緩速ろ過池		昭和前
48		三条市水道局大崎浄水場旧番宅		昭和前
49		三条市水道局大崎浄水場事務室棟		昭和前
50		三条市水道局大崎浄水場取水ポンプ場ポンプ室		昭和前
51		三条市水道局大崎浄水場取水ポンプ場門		昭和前
52		三条市水道局大崎浄水場洗砂場		昭和前
53		三条市水道局大崎浄水場送水ポンプ室		昭和前
54		三条市水道局大崎浄水場着水井（送水井）		昭和前
55		三条市水道局大崎浄水場調整池		昭和前
56		三条市水道局大崎浄水場配水池		昭和前
57		三条市水道局大崎浄水場門		昭和前
58		三条市水道局大崎浄水場量水器室		昭和前
59		水道タンク		昭和前
60		福井市水道記念館（旧足羽揚水ポンプ場）		大正
61		旧岡谷上水道集水溝		昭和前
62		上野市上水道水源地送水機関室		昭和前
63	国宝・重要文化財(建造物)	舞鶴旧鎮守府水道施設	岸谷川上流支流砂防堰堤	明治
64			旧岸谷川上流本流取水堰 堤	明治

65			旧岸谷川上流支流取水堰堤	明治
66			旧接合井	明治
67			岸谷川下流取水堰堤	大正
68			旧第一配水池	明治
69			旧第二配水池	明治
70			与保呂川支流砂防堰堤	明治
71			桂取水堰堤	明治
72			桂量水堰堤	明治
73	登録有形文化財(建造物)	水道記念館 (旧柴島浄水場送水ポンプ場)		大正
74		旧神戸居留地煉瓦造下水道		明治
75		神戸市水道局烏原立ヶ畑堰堤 (烏原ダム)		明治
76		神戸市水道局千苅堰堤 (千苅ダム)		大正
77	国宝・重要文化財(建造物)	布引水源地水道施設	布引水路橋 (砂子橋)	明治
78			雌滝取水堰堤	明治
79			谷川橋	大正
80			五本松堰堤	明治
81			放水路隧道	明治
82			締切堰堤	明治
83			分水隧道	明治
84			分水堰堤附属橋	明治
85			分水堰堤	明治
86	国宝・重要文化財(建造物)	旧美歎水源地水道施設	量水器室	昭和
87			五号濾過池	昭和
88			接合井	大正
89			四号濾過池	大正
90			三号濾過池	大正
91			二号濾過池	大正
92			一号濾過池	大正
93			貯水池堰堤	大正
94			美歎川上流量水堰	大正
95			通り谷量水堰	大正
96	登録有形文化財(建造物)	呉市水道局宮原浄水場低区配水池		明治
97		呉市水道局三永水源地堰堤		昭和前
98		呉市水道局二河水源地取入口		明治

99		呉市水道局平原浄水場低区配水池		大正
100	国宝・重要文化財(建造物)	本庄水源地堰堤水道施設	第一量水井	大正
101			堰堤	大正
102			丸井戸	大正
103	登録有形文化財(建造物)	下関市水道局高尾浄水場4号円形濾過池		明治
104		下関市水道局高尾浄水場4号円形濾過池付設調節井		明治
105		下関市水道局高尾浄水場着水井		明治
106		下関市水道局高尾浄水場配水池		明治
107		下関市水道局水道資料室(旧日和山浄水場事務所)		昭和前
108		下関市水道局内日第2貯水池溢水隧道入口		昭和前
109		下関市水道局内日第一貯水池取水塔		明治
110		下関市水道局内日第二貯水池取水塔		昭和前
111		下関市水道局内日貯水池事務所		明治
112		山口市水道局電気室(旧宮島水源地ポンプ室)		昭和前
113		徳島市水道局佐古配水場ポンプ場		大正
114		徳島市水道局佐古配水場源水井		大正
115		徳島市水道局佐古配水場集合井		大正
116		高松市水道資料館P R 館(旧事務室)		大正
117		高松市水道資料館歴史館(旧ポンプ室)		大正
118		熊本市水道記念館(旧八景水谷貯水池ポンプ場)		大正
119		豊後水道海事博物館(旧水ノ子島灯台吏員退息所)		明治
120		豊後水道海事博物館塀(旧水ノ子島灯台吏員退息所塀)		明治
水利				
121	国宝・重要文化財(建造物)	白水溜池堰堤水利施設	主堰堤	昭和
122			副堰堤	昭和
水路				
123	登録有形文化財(建造物)	旧島守発電所余水路		大正
124	国宝・重要文化財(建造物)	藤倉水源地水道施設	放水路	明治
125	登録有形文化財(建造物)	花貫川第一発電所第3号水路橋(めがね橋)		大正
126		賀美発電所放水路及び余水路		大正
127		小里川発電所放水路		大正
128		小里川発電所余水路		大正
129	国宝・重要文化財(建造物)	石岡第一発電所施設	水槽余水路	明治
130			第二号水路橋	明治
131			第一号水路橋	明治

132	登録有形文化財(建造物)	石岡第二発電所余水路		大正
133		徳田発電所放水路		大正
134		徳田発電所余水路		大正
135	国宝・重要文化財(建造物)	那須疏水旧取水施設	導水路及び余水路	明治
136	登録有形文化財(建造物)	西野谷用水路		大正
137	国宝・重要文化財(建造物)	富岩運河水閘施設(中島閘門)	放水路	昭和
138	登録有形文化財(建造物)	駒橋発電所落水路橋		明治
139		鹿留発電所うそぶき水路吐口部		大正
140		鹿留発電所うそぶき水路呑口部		大正
141	国宝・重要文化財(建造物)	八ツ沢発電所施設	第一号水路橋	明治
142			第四号水路橋	明治
143			第二号水路橋	明治
144			水槽余水路	明治
145			第三号水路橋	明治
146			大野調整池余水路	大正
147	国宝・重要文化財(建造物)	牛伏川本流水路(牛伏川階段工)		大正
148	登録有形文化財(建造物)	己り地沢石張水路工		明治
149		滝の下沢石張水路工		明治
150	国宝・重要文化財(建造物)	読書発電所施設	柿其水路橋	大正
151	登録有形文化財(建造物)	富吉沢石張水路工		明治
152		葉師沢石張水路工		明治
153	国宝・重要文化財(建造物)	旧八百津発電所施設	余水路	明治
154	登録有形文化財(建造物)	長良川発電所下須原谷水路橋		明治
155		長良川発電所第二沈砂池排水路暗渠		明治
156		長良川発電所湯之洞谷水路橋		明治
157		長良川発電所日谷水路橋		明治
158		長良川発電所余水路横断橋		明治
159	国宝・重要文化財(建造物)	布引水源地水道施設	布引水路橋(砂子橋)	明治
160			放水路隧道	明治
161	登録有形文化財(建造物)	小田井灌漑用水路小庭谷川渡井		明治
162		小田井灌漑用水路中谷川水門		明治
163		小田井灌漑用水路木積川渡井		大正
164		小田井灌漑用水路龍之渡井		大正
165		奥津発電所一号水路橋		昭和前
166		奥津発電所三号水路橋		昭和前

167		奥津発電所四号水路橋		昭和前
168		上斎原発電所池河川水路沈砂池		昭和前
169		上斎原発電所天王川水路沈砂池		昭和前
170		洞松寺水路石垣及び石橋		明治
171		平作原発電所恩原貯水池堰堤余水路		昭和前
172		平作原発電所幹線水路沈砂池		昭和前
173		天山酒造旧精米所立型水車及び水路		昭和前
174	国宝・重要文化財(建造物)	三角旧港（三角西港）施設	東排水路	明治
175			西端排水路	明治
176			西排水路	明治
177			後方水路	明治
178	登録有形文化財(建造物)	橋詰水路橋		江戸
179		真宗大谷派四日市別院石橋及び水路石垣		江戸
180		享保水路井堰		明治
181		享保水路太鼓橋		明治
疏水				
182	登録有形文化財(建造物)	安積疏水麓山の飛瀑		明治
183	国宝・重要文化財(建造物)	那須疏水旧取水施設	西水門	明治
184			導水路及び余水路	明治
185			東水門	明治
186	史跡名勝記念物	琵琶湖疏水		明治
用水				
187	登録有形文化財(建造物)	二ヶ領用水久地円筒分水	土木構造物	昭和前
188	史跡名勝記念物	辰巳用水 附土清水塩硝蔵跡		
189	史跡名勝記念物	堀川用水及び朝倉揚水車		
190	重要文化的景観	通潤用水と白糸台地の棚田景観		
東本願寺				
190	登録有形文化財(建造物)	真宗本廟東本願寺阿弥陀堂		明治
191		真宗本廟東本願寺阿弥陀堂門		明治
192		真宗本廟東本願寺阿弥陀堂門南側築地堀		明治
193		真宗本廟東本願寺菊の門		明治
194		真宗本廟東本願寺菊の門北側築地堀		明治
195		真宗本廟東本願寺玄関門		明治
196		真宗本廟東本願寺玄関門北側築地堀		明治

197		真宗本廟東本願寺御影堂		明治
198		真宗本廟東本願寺御影堂門		明治
199		真宗本廟東本願寺御影堂門南側築地塀		明治
200		真宗本廟東本願寺御影堂門北側築地塀		明治
201		真宗本廟東本願寺鐘樓		明治
202		真宗本廟東本願寺造合廊下		明治
203		真宗本廟東本願寺大玄閤		江戸
204		真宗本廟東本願寺大寢殿		明治
205		真宗本廟東本願寺二筋廊下		明治

※国指定文化財等データベースを基に作成（文化庁）

http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index_pc.asp（2013年12月参照）

※本願寺水道の現状把握に関わる検討資料（写真，図面，新聞記事）は全て東本願寺様よりご提供を頂いた。

出典

P77 写真 1 噴水防火大試験（1897 年）：東本願寺旧教学研究倉庫，両再 206-24

P78 図 1 大師堂側面縮図：東本願寺旧教学研究倉庫，両再 208-26-3

P79 図 2 大谷派本願寺火防用引水路線略図：東本願寺旧教学研究倉庫，両再 152-2

P80 図 3 真宗大谷派本願寺大谷別院測量図：東本願寺旧教学研究倉庫，両再 207-14



写真 1 噴水防火大試験（1897 年）

※本写真を通して，御影堂（大師堂：高さ約 38m）の軒下までに放水できる建設当時（1897 年）の性能を推定することができる。（当時，五条大橋あたりの配管に不具合があったので，七割程度の水圧を得られたと記録が残る）

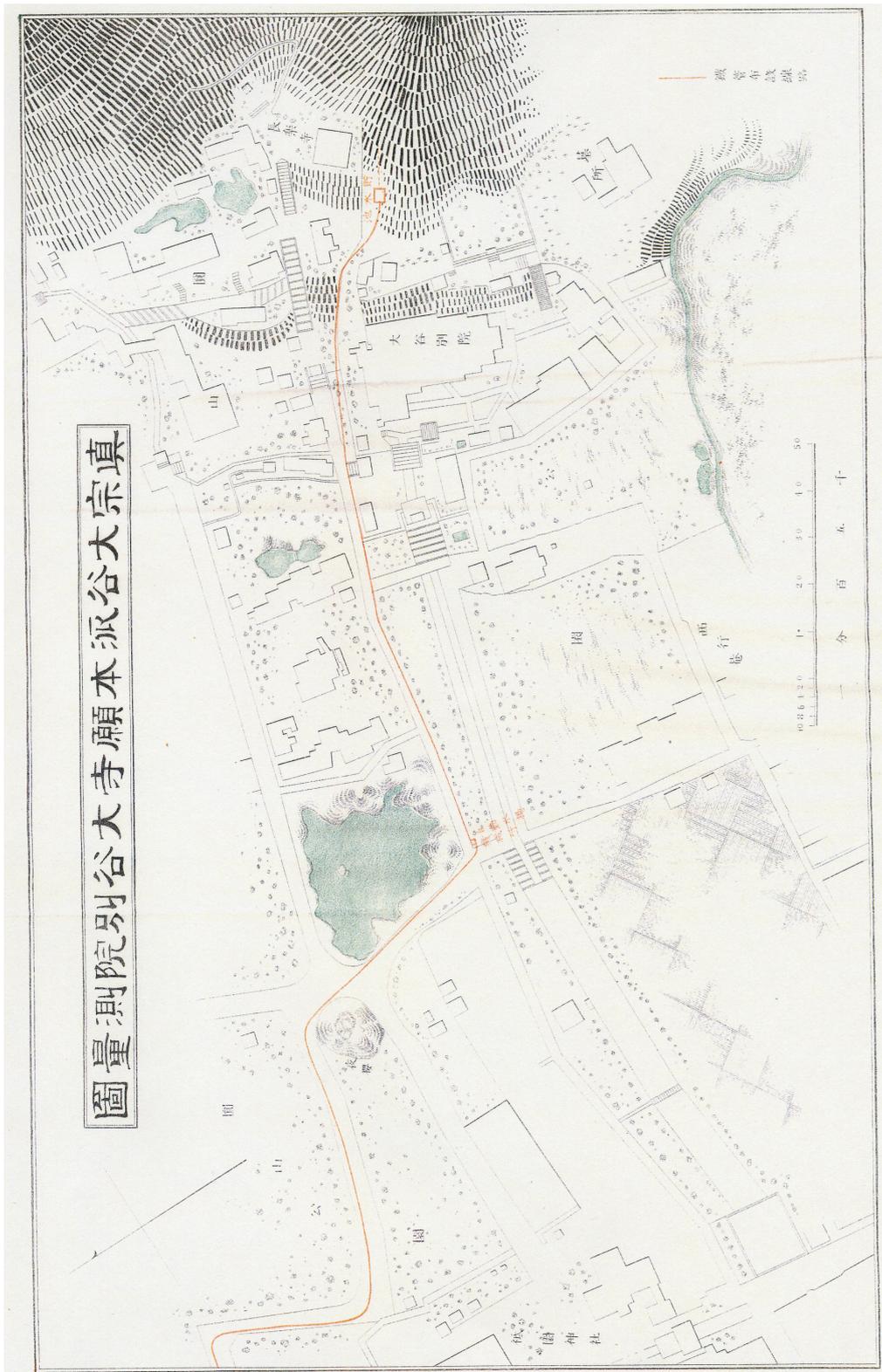
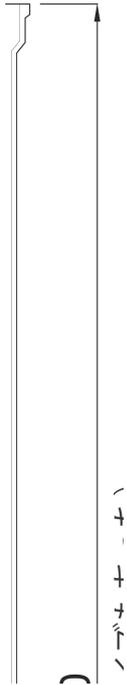
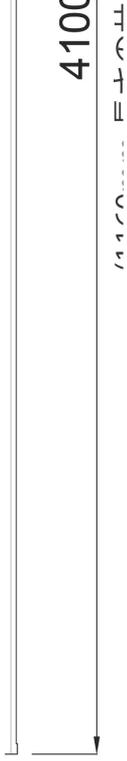


図3 真宗大谷派本願寺大谷別院測量図

※本願寺水道市街地送水管から（四条通祇園交差点辺りからだと推定）円山公園—大谷祖廟への分岐配管を確認できる図面（図中の赤線）



ノボリ付 (+ + + +)



410C
ノボリ付 (+ + + +)

(116mm 長さのワライ入もめつた)

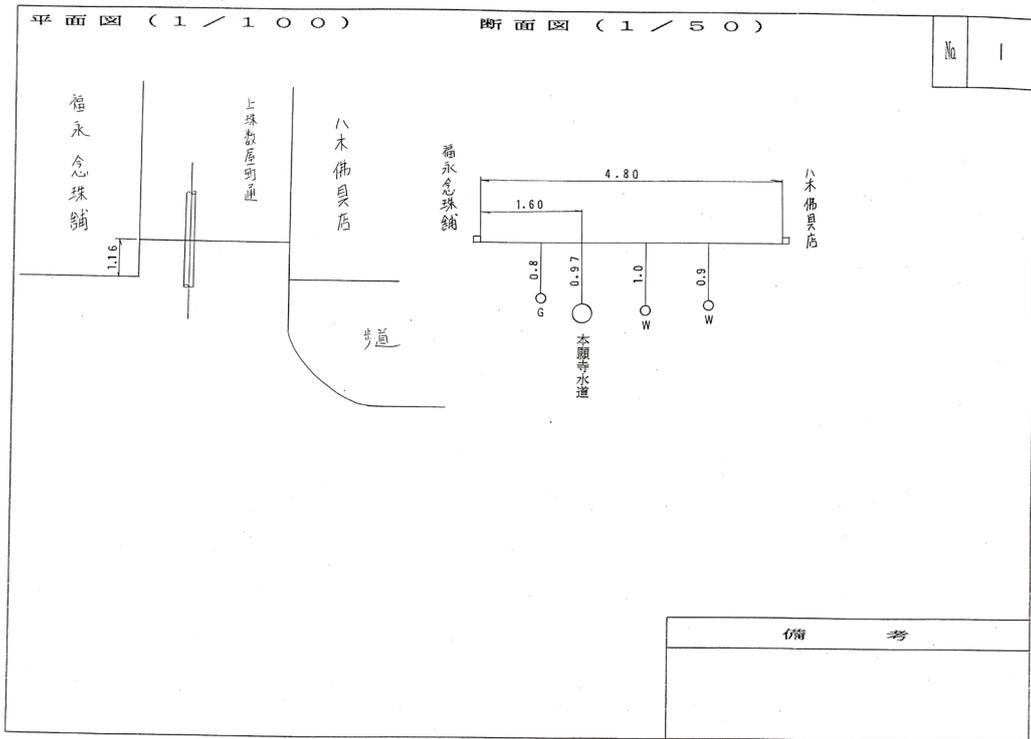
S:1/16



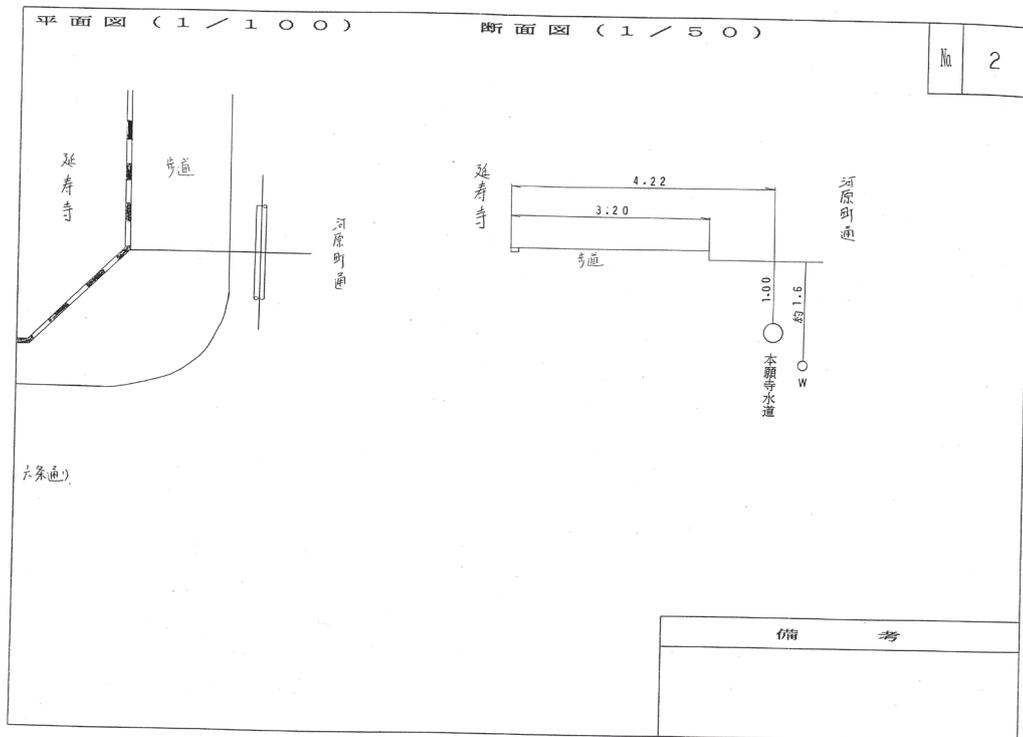
|

|

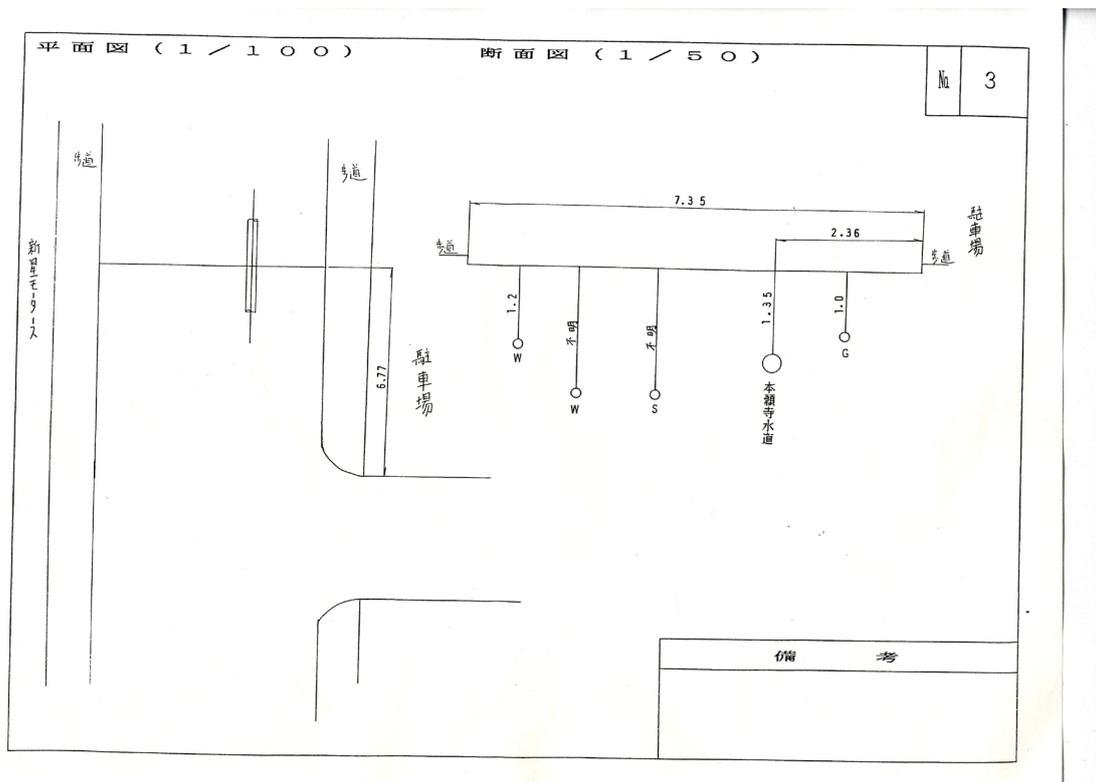
| |



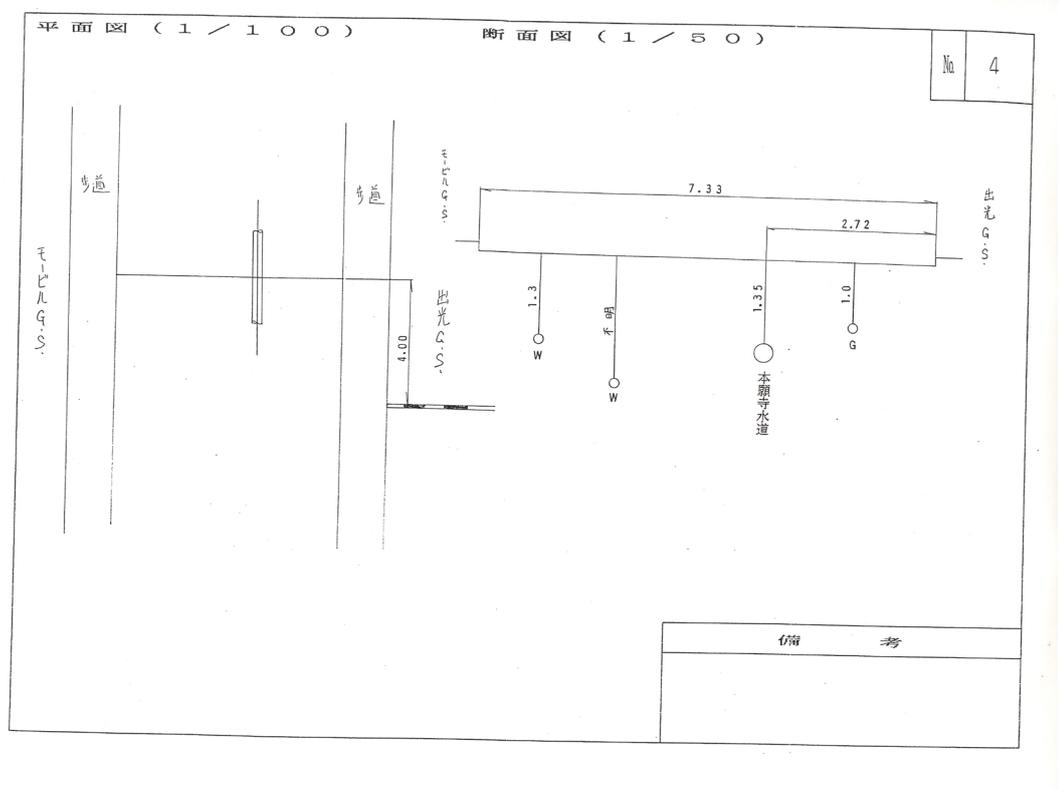
実測図 1



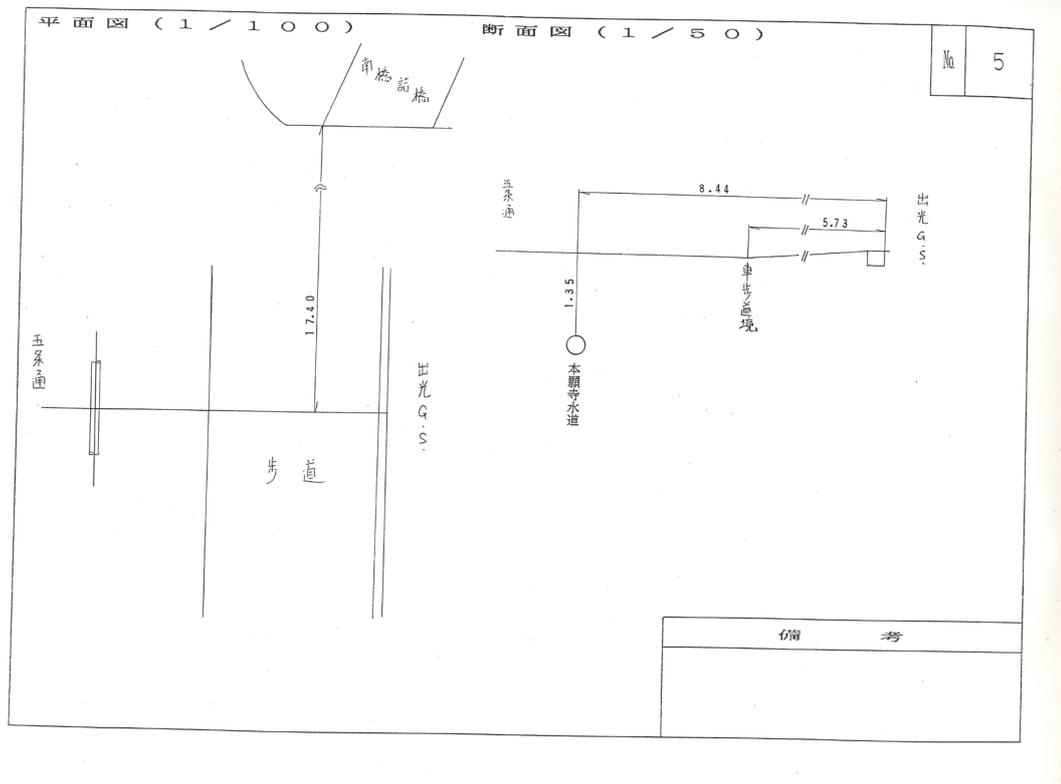
実測図 2



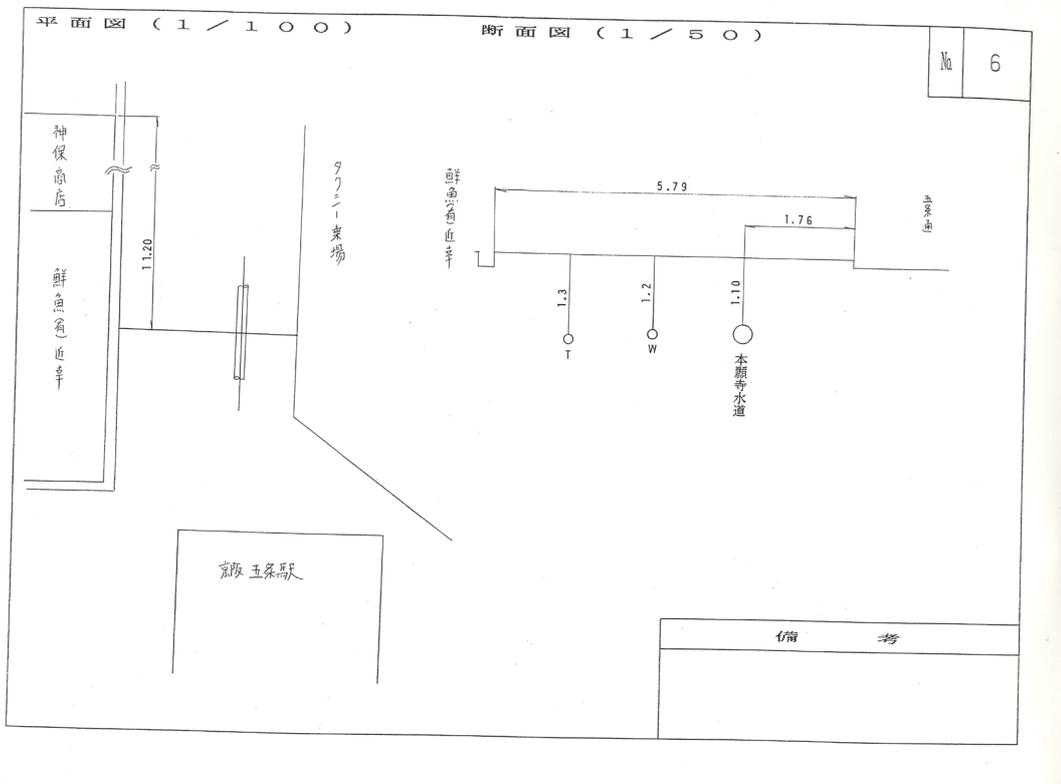
実測図 3



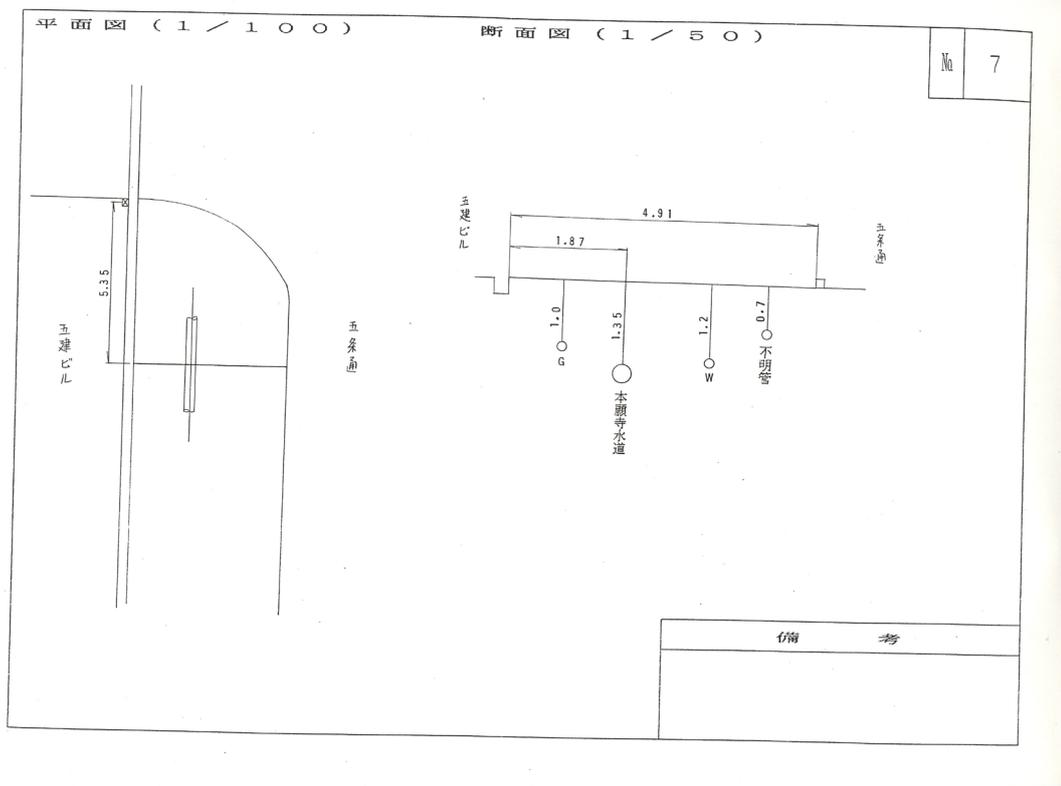
実測図 4



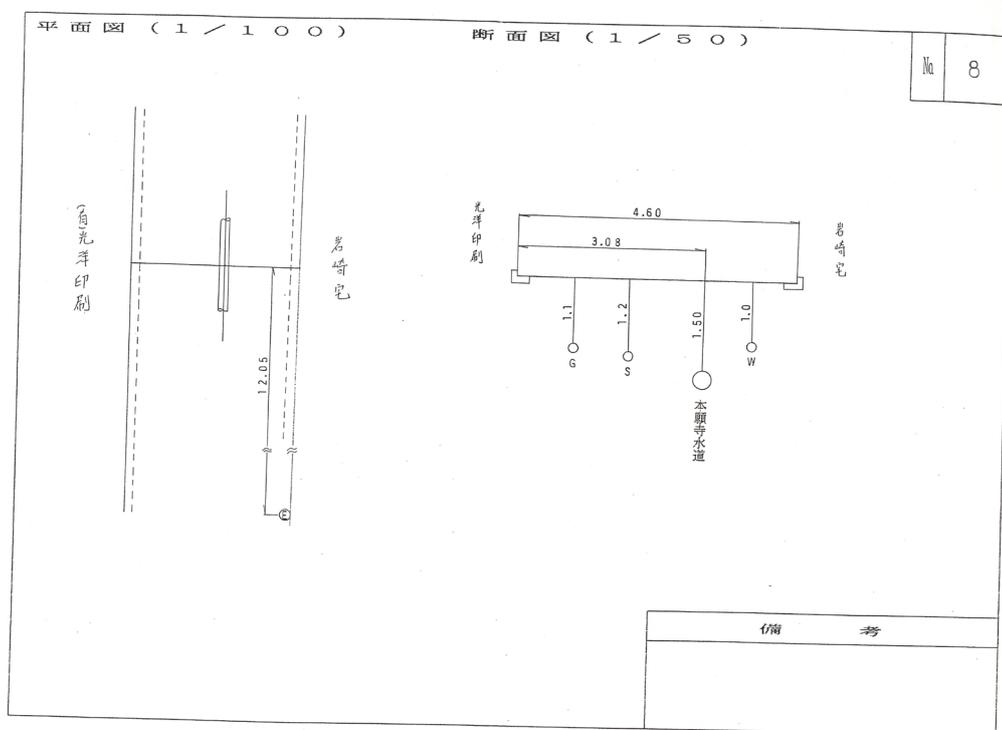
実測図 5



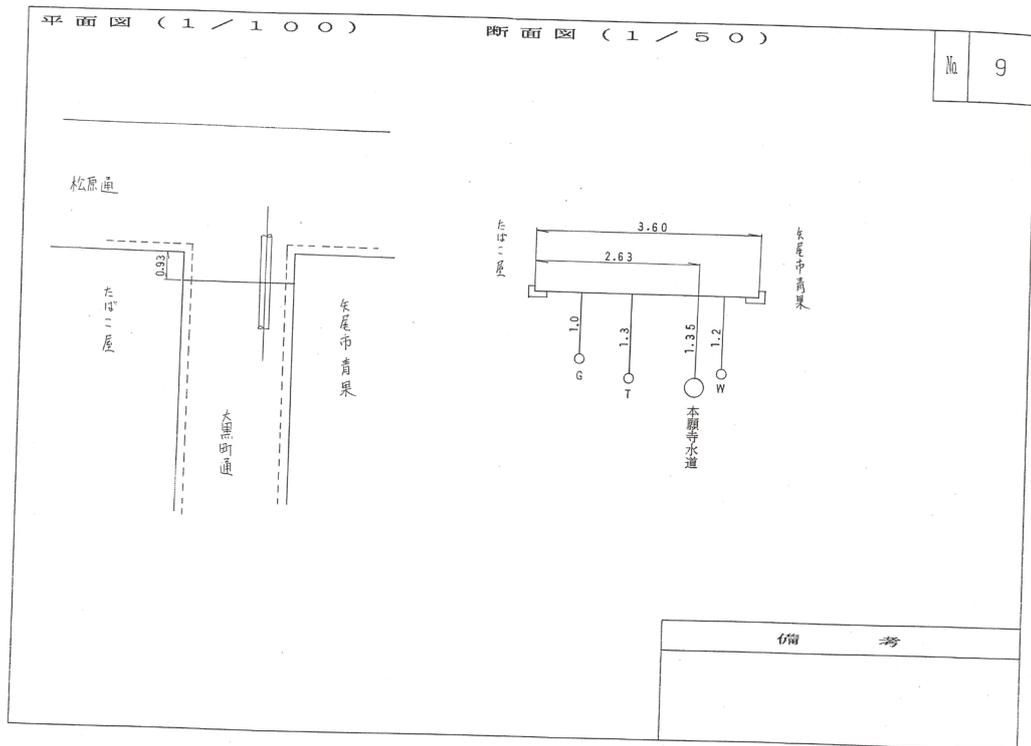
実測図 6



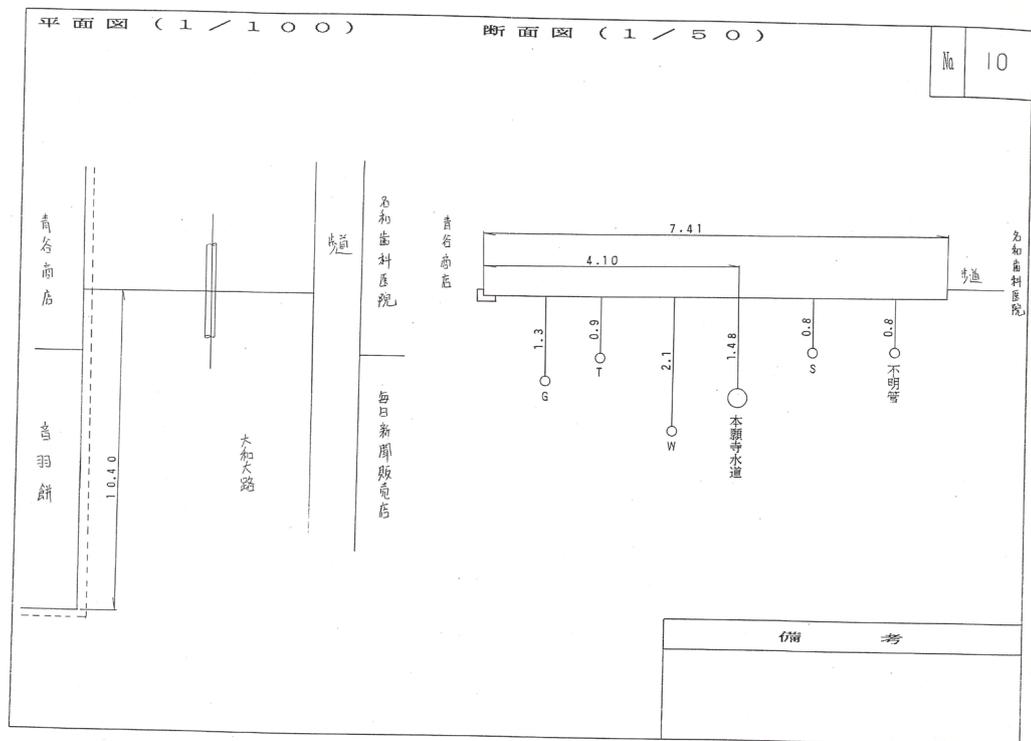
実測図 7



実測図 8



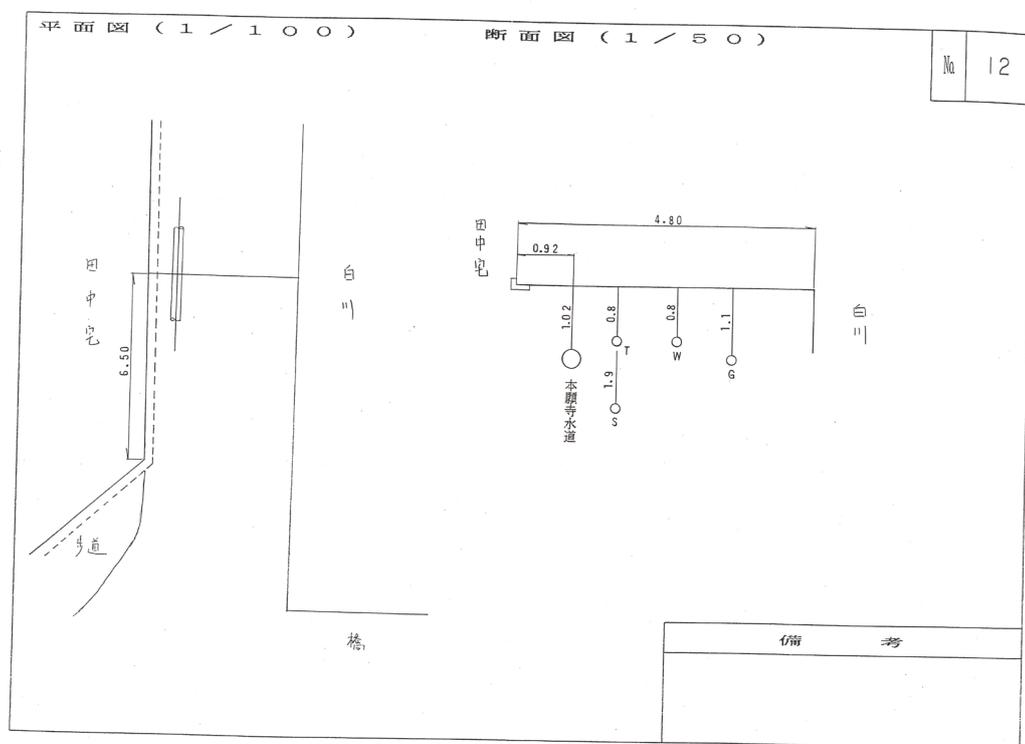
実測図 9



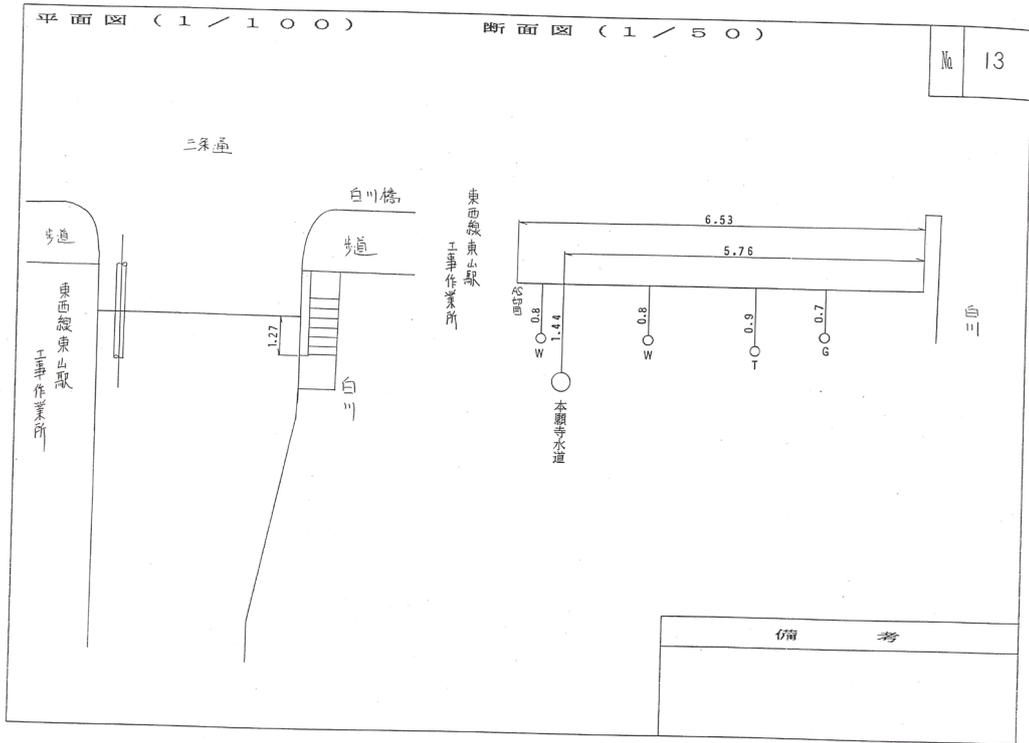
実測図 10



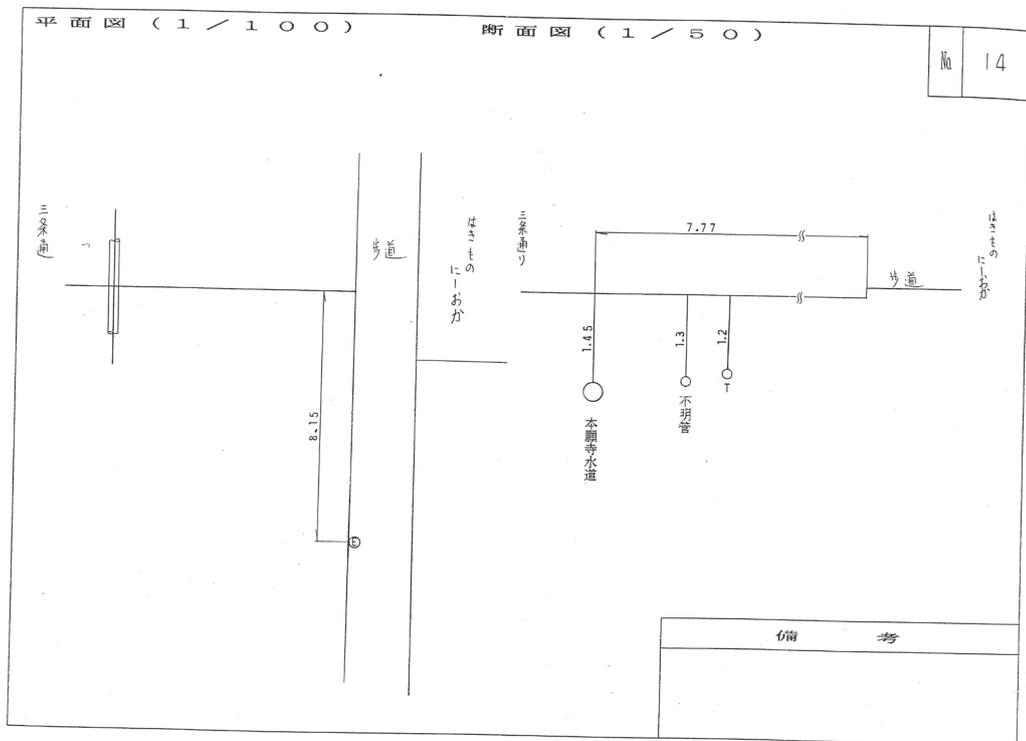
実測図 11



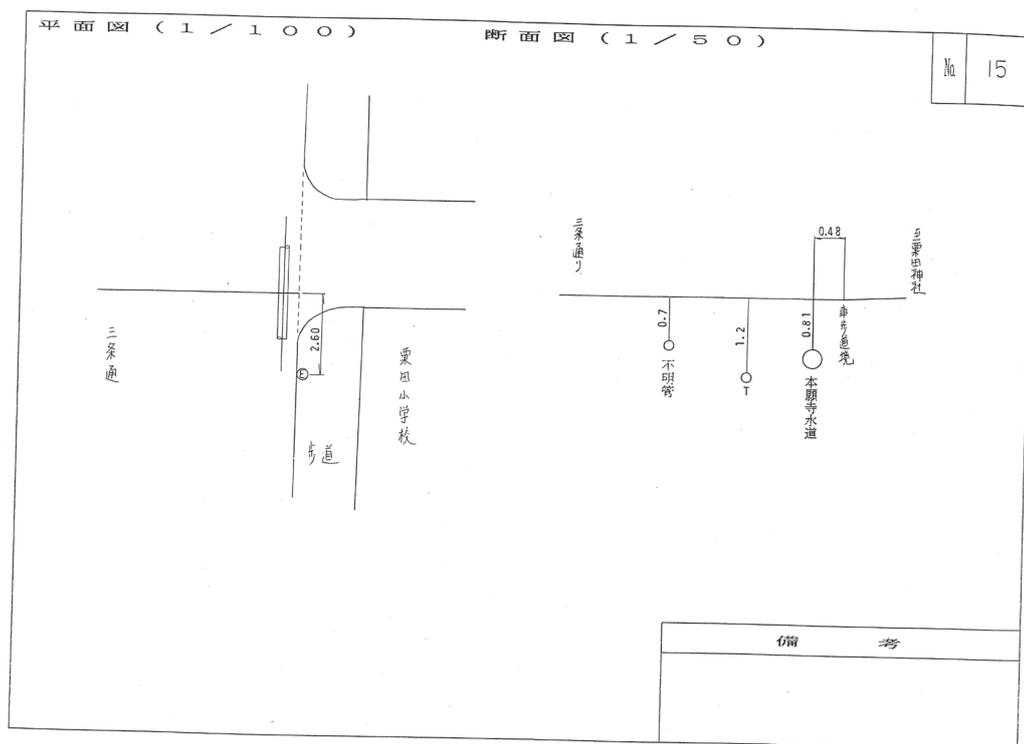
実測図 12



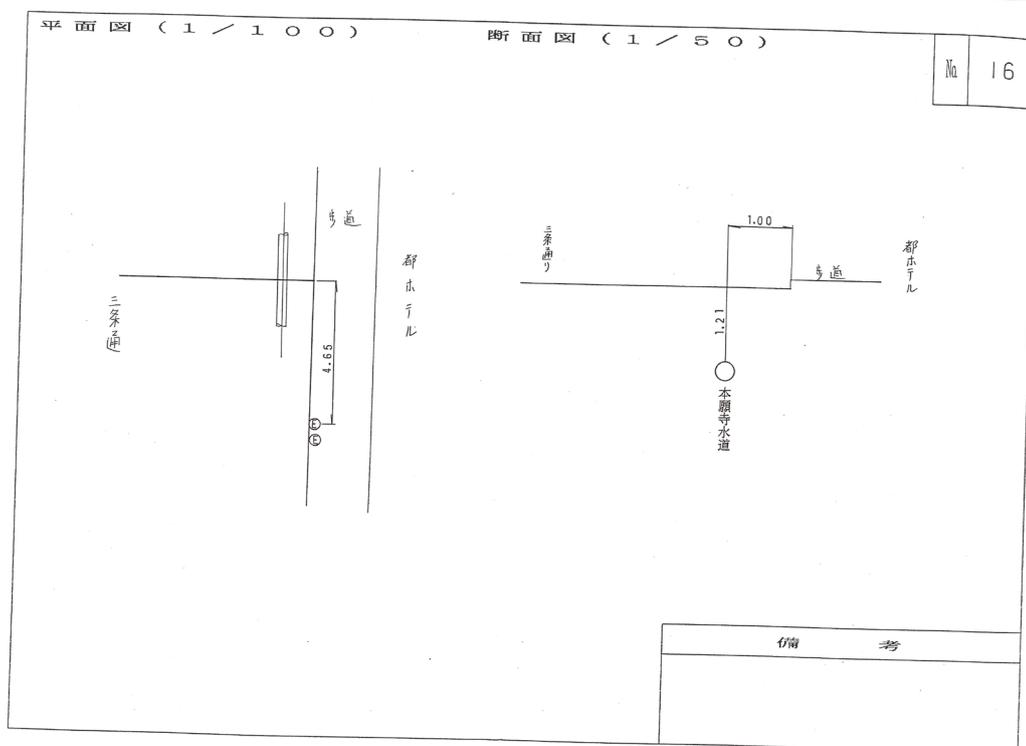
実測図 13



実測図 14



実測図 15



実測図 16



写真1 水源池（蹴上：琵琶湖疏水船溜）



写真2 白川橋下の送水管



写真3 菊屋橋下の送水管



写真4 五条大橋下の送水管

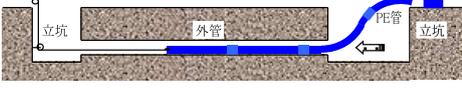
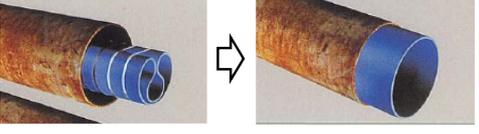
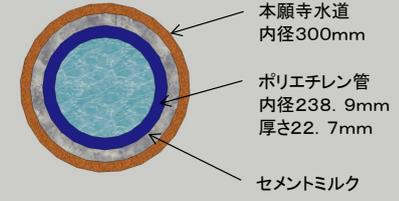
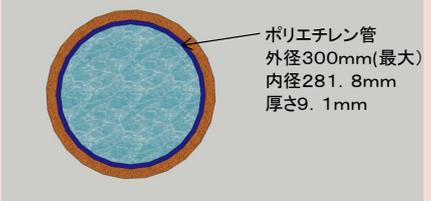
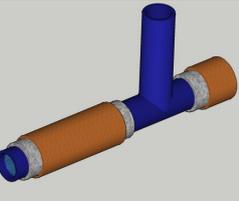
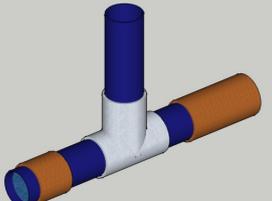
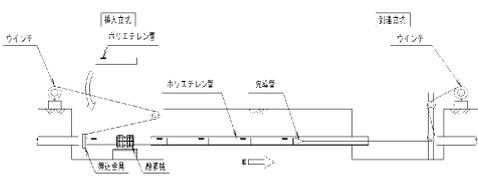


写真5 高瀬川アンダーパスの送水管

目視調査が可能な本願寺水道関連施設

本願寺水道修復・改修のための工法比較

工法	敷設工法(修復)	ハイブインハイブ工法	クロスフィット工法
	内容	内容	内容
使用管材	フランスクエージ水道会社製鋼管	日本水道協会規格及び配水用ポリエチレンハイクラスシステム協会規格である「水道配水用ポリエチレン管」を使用	工場にてJIS規格に準拠して製造された高密度ポリエチレン管を更生材として使用
①接続方法	鋼鉄製の継手で接続する。溶接接合、フランジ接合、管路全てを一体化することが可能	既設管に挿入する範囲は管同士を突き合わせ接合する。ハット融着を基本とする。ハット融着後に発生するヒート(樹脂のはみ出し)は切削するため、既設管内面の段差にひっかかる恐れは極めて少ない。立坑内でのスパン間の接合は鋼鉄製の継手で接合する。管路全てをポリエチレンで一体化することが可能である。	既設管に挿入する範囲は管同士を突き合わせ接合する。ハット融着を基本とする。ハット融着後に発生するヒート(樹脂のはみ出し)は切削するため、既設管内面の段差にひっかかる恐れは極めて少ない。立坑内でのスパン間の接合は鋼鉄製の継手で接合する。
②分岐方法	チーゾ分岐を行うことが可能である。	一般の水道管と同様にチーゾ分岐、サドル分岐を行うことが可能である。ただし、非閉閉分岐作業が出来ないため、分岐は立坑内で行うかまたは掘削が必要である。	φ300についてはサドル分岐継手はない。分岐が必要な場合は、専用の変換継手で他種管に変換した後、他種管でチーゾ分岐、サドル分岐を行うことが可能である。
③構造面(内圧・外圧)	既設管である鋼鉄管は内圧および外圧に対して十分な強度を有する。(一般的に樹脂製ハイブより内圧外圧の強度は高い)	配水用ポリエチレン管は埋設用途の自立管のため、内圧および外圧に対して十分な強度を有する。最高許容圧力は1.0MPa(使用圧力0.75MPa、水撃圧0.25MPaとして)である。外圧に対しては国県道などの車道下での使用が可能な強度を有する。埋設深さ2m、25トントラックの輪荷重、既設管強度を期待しない場合でも、最大曲げ周応力は1.56N/mm ² (許容曲げ周応力8N/mm ²)、たわみは0.64%(許容たわみ率5%)で許容値以下を確保する。	地上で接合し、ハット型に成形した後、曲げながら挿入するため、厚さは薄肉設計となる。SDR(管の外径と厚さの比)は配水用ポリエチレンハイブ11に対してサブライン工法では33を予定している。既設管の強度を期待しない場合、ポリエチレン(肉厚が17mm)になり、サブライン工法での施工は不可となる。既設管強度を期待した場合は、内圧が0.5MPaであれば、最大許容ホイド(腐食穴)の大きさはφ182mm、最大許容間隙幅(継手抜け)は135mmとなる。
④耐久性	将来的に溶接部での漏水が予想される。最長20年耐える	・ポリエチレン管継手部分は長期使用しても腐食による損傷がない ・1MPa(20℃)で50年以上耐える長期静水圧強度を持つ	・金属継手部分が必要に応じて腐食防止対策が必要 ・1MPa(20℃)で50年以上耐える長期静水圧強度を持つ
⑤耐震性	溶接接合は管が一体化されるため、溶接部分の劣化がない場合は地震による危険性はない	管・継手とも耐震性評価実験が多くなく、厚生労働省および日本水道協会より耐震管として認定されている。近年の大地震(新潟県中越地震等)においても配水用ポリエチレン管の被害が発生していない。	管の耐震性は配水用ポリエチレンハイブと同じ樹脂を使用しているため同等レベルと見える。ただしスパン間の接合や異種管との接合は金属継手を使用するため、地震発生時に弱点となる可能性がある。
⑥水利面	(内径300mm、流速係数C80、流量0.082m ³ /s)	・φ200mmの場合、流面積は32016mm ² となり、サブライン工法φ300に比較して51%、既設管(内径300mmとする)に比較して45%の面積となる。 ・粗度係数は0.01 ・流速係数C150、動水勾配0.0109(全長4662m、高低51m)とした場合、流量は0.094m ³ /sである。既設管(内径300mm、流速係数C80、流量0.082m ³ /s)に比較して68%の流量となる。	・管内径の減少は、ポリエチレン管の肉厚減少であり、断面積減少を最小にすることが出来る。粗度係数は0.01(流速係数C=150)であり、既設管に比べ流速を上げることも可能のため、流量を既設管よりも増やすことが出来る。 ・流速係数C150、動水勾配0.0109(全長4662m、高低51m)とした場合、流量は0.130m ³ /sである。既設管(内径300mm、流速係数C80、流量0.082m ³ /s)に比較して159%の流量となる。
⑦施工面	・京都市の重要道路を掘り下げ作業を行うこととなる ・地上での施工スペースも大きくなる	1)立坑寸法 挿入側：幅1.1m・長さ8m・管下0.3m ※直管長さ5mの場合 掘り側：幅1.1m・長さ3.5m・管下0.3m 2)接続方法 挿入側立坑内でポリエチレン管をハット融着。 3)挿入方法 ウィンチにより引き込み。 ・立坑付近で4t車程度の車両1台にて施工可能のため、地上部の作業範囲を小さく出来る。 ・作業は立坑内で行うため、外部への騒音を抑えられる。	地上部の施工スペースは、3m×40m。ハイブインハイブ工法に比較して大きな施工スペースが必要となる。施工可能延長は標準500m、最大1000m。ポリエチレン管の接続は、ハット融着により行い、ハット成形後、ウィンチにて既設管内に引き込み、水圧により円形復元する。 ・地上部で作業するため、周辺への騒音がハイブインハイブ工法に比較して大きい。 ・騒音源は主に発電機、ユニーク車となる。 ・地上での施工スペースが大きいため、裏路地や交通量・人通りの多い場所では不向き。
⑧工期	・ハイブ全体にかけて修復を行うため、工期は長くなる	日進量：約40m ※1日間で直管5m×7~8本程度の挿入 ※200m×1スパンの標準施工期間は約7日間(土木・配管工は含まず)	日進量：約40m ※ハット融着、ハット成形を含む引き込み作業のみの場合 ※地上部作業スペースによって日進量に大きな影響が生じる。
総合評価	・新ステンレス管での修復になるため、元鋼鉄管の文化的価値を損なう可能性がある ・工期が長く、施工スペースの確保が難しい	主に下流部(高圧部)の密集地内に敷設。真本願寺周辺で分岐配管をとることが容易。	主に上流部(低圧部)で、挿入側の施工スペースが確保できる主要道路には可能かも

本願寺水道再生方法比較表	
	<p>パイプリバース工法(パイプインパイプ工法)</p>  <p>概要</p> <p>水道配水用ポリエチレン管を立坑内で繰り返しバット融着し、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。</p>
	<p>サブライン方法(クローズフィット工法)</p>  <p>概要</p> <p>ポリエチレン管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。</p>
使用管材	 <p>本願寺水道 内径300mm</p> <p>ポリエチレン管 内径238.9mm 厚さ22.7mm</p> <p>セメントミルク</p> <p>水道配水用ポリエチレン管(日本水道協会規格および配水用ポリエチレンパイプシステム協会規格)</p>
	 <p>ポリエチレン管 外径300mm(最大) 内径281.8mm 厚さ9.1mm</p> <p>高密度ポリエチレン管を更生材として使用(JIS規格に準拠して製造)</p>
接続方法	<p>基本はバット融着</p> <p>立坑内でのスパン間融合 : EF継手 → 管路全てをポリエチレンで一体化することが可能</p>
	<p>基本はバット融着</p> <p>立坑内でのスパン間融合 : 金属製の継手 → 管路全てをポリエチレンで一体化することが不可能</p>
分枝方法	 <p>(一般の水道管と同様の)チーズ分岐、サドル分岐</p> <p>分岐は立坑内で行うかまたは掘削が必要</p>
	 <p>(金属継手で他種管に変換した後)他種管でチーズ分岐、サドル分岐</p>
構造面(圧力)	<p>最高許容圧力は1.0MPa (使用圧力0.75MPa、水撃圧0.25MPaとして)</p> <p>→ 圧に対しては国道などの車道下での使用が可能な強度</p>
	<p>既設管強度を期待した場合、 内圧が0.5MPaであれば、最大許容ポイド(腐食穴)の大きさはφ182mm、最大許容間隙幅(継手抜け)は135mm</p>
水利面	<p>・内径φ200mmの場合 → 想定流量は0.054m³/s</p> <p>既設管(内径300mm、流速係数C80、流量0.082m³/s)に比較して66%の流量</p>
	<p>・内径φ280mmの場合 → 想定流量は0.130m³/s</p> <p>既設管(内径300mm、流速係数C80、流量0.082m³/s)に比較して159%の流量</p>
耐震性	<p>厚生労働省および日本水道協会より耐震管として認定</p> <p>→ 近年の大地震(新潟県中越地震等)においても配水用ポリエチレン管の被害が発生無</p>
	<p>管の耐震性は配水用ポリエチレンパイプと同じ樹脂を使用しているため同等レベル</p> <p>→ 金属継手の接合部分は地震発生時に弱点となる可能性有</p>
施工面	 <p>1) 立坑寸法 挿入側 : 幅1.1m・長さ8m・管下0.3m ※直管長さ5mの場合 到達側 : 幅1.1m・長さ3.5m・管下0.3m</p> <p>2) 接続方法 挿入側立坑内でポリエチレン管をバット融着。 ※許容曲げ半径は19m以上</p> <p>3) 挿入方法 ウィンチにより引き込み ※エルボは11°×1箇所まで</p>
	 <p>1) 立坑寸法 地上部の施工スペースは、3m×40m。 ※施工可能延長は標準500m、最大1000m</p> <p>2) 接続方法 挿入側立坑内でポリエチレン管をバット融着。</p> <p>3) 挿入方法 ウィンチにより引き込み、水圧により円形復元</p>
環境面	<p>・立坑付近で4t程度の車両1台にて施工可能なため、地上部の作業範囲を小さく出来る。</p> <p>・作業は立坑内で行うため、外部への騒音を抑えられる。</p>
	<p>・地上部で作業するため、周辺への騒音がパイプインパイプ工法に比較して大きい。騒音源は主に発電機、ユニック車となる。</p> <p>・地上での施工スペースが大きいため、裏路地や交通量・人通りの多い場所では不向き。</p>
工期	<p>日進量 : 約40m ※1日間で直管5m×7~8本程度の挿入</p>
	<p>日進量 : 約40m ※地上部作業スペースによって日進量に大きな影響が生じる</p>

番号	名称	品種・形状寸法	数量	単位	単価	金額	摘要
	本願寺水道工事	開削工法 L=4662m					
	土工事	舗装本復旧費含む	4,662	m	52,820	246,246,840	
	管材費	φ300水道用ダクタイル 仕切弁 空気弁 共	4,662	m	19,000	88,578,000	
	配管工事		4,662	m	4,460	20,792,520	
	直接工事費計					355,617,360	
	共通仮設費		1	式		38,000,000	
	現場管理費		1	式		110,000,000	
	一般管理費		1	式		46,382,640	
	合計					550,000,000	

本願寺水道敷設替積算

本願寺水道 管更生工法 設計価格比較表

見積もり条件

- ・直接工事費のみとする
- ・埋設深さは1.2m(一定)とする。
- ・全長は4662mとする
- ・高低差は51mとする。
- ・多少の曲がりを含む直線部でも全て既設管内の挿入が可能と仮定する。
- ・分岐は含めない。
- ・工事は昼間とし、夜間は含まないとする。
- ・直管部は挿入、到達立坑のみ開削とする。
- ・エルボは蹴上→90°→90°→90°→90°→45°→45°→東本願寺とする。
- ・エルボは全て開削で接合する。
- ・バルブは含めない
- ・両端での既設管・異種管との接続作業は含めないとするが、両端はフランジ継手とする。
- ・五条大橋の全長は70mとする。

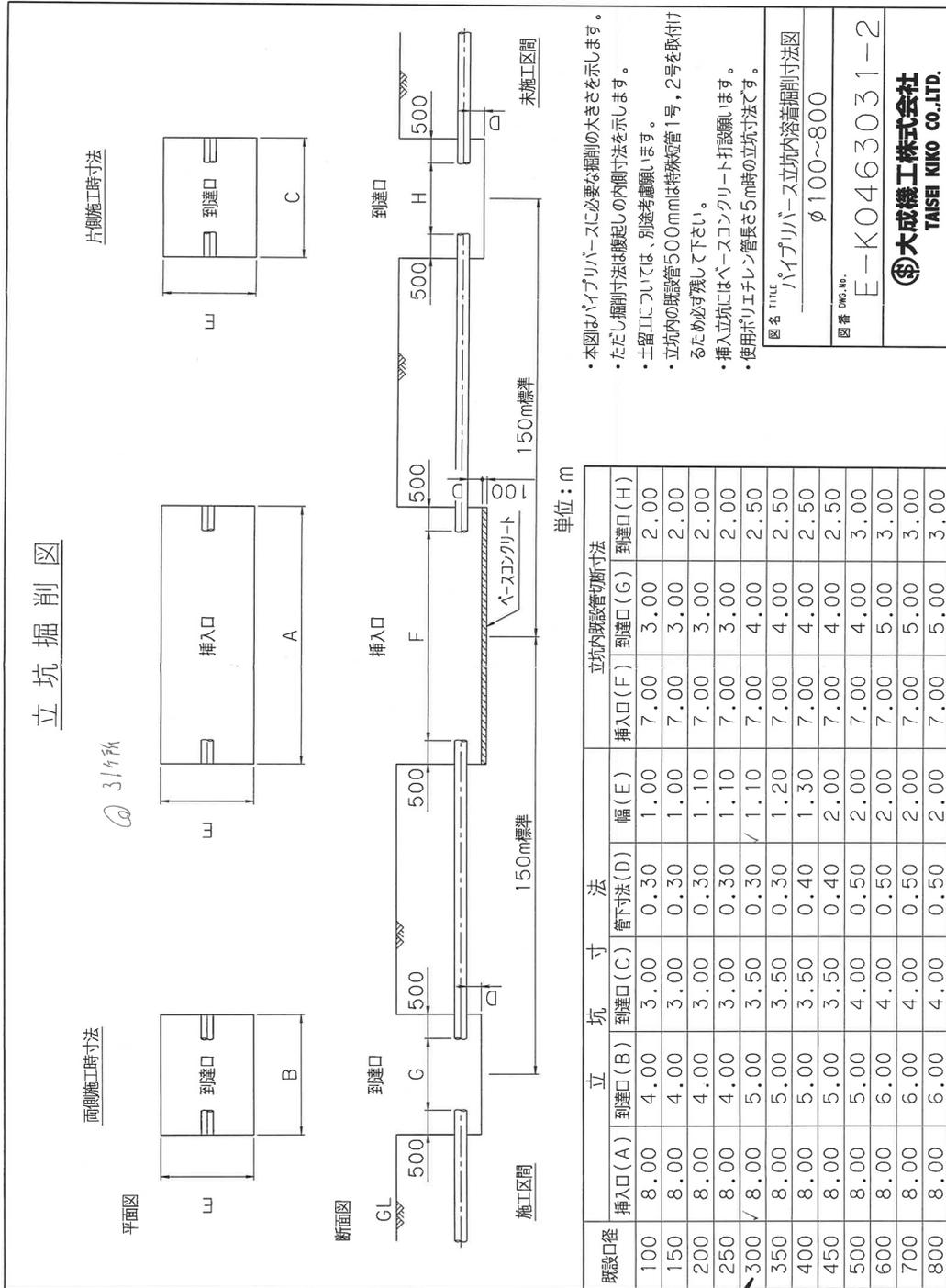
サブライン工法(クローズフィット工法) φ300薄肉管更生						
種別	内訳	単位	数量	単価	金額	適用
材料費	PE直管	m	4662	28,400	132,400,800	φ300×10m管 バンディングテープ含む
	バンド90°	個	4	340,000	1,360,000	両端フランジ付き
	バンド45°	個	2	328,000	656,000	両端フランジ付き
	ライナーグリップ	個	18	737,000	13,266,000	フランジ付き 9スパン×両端
	小計					147,682,800
工事費	水替え工	日	2	30,659	61,318	
	管内洗浄工	m	4662	11,100	51,748,200	
	管内調査工	m	4662	1,470	6,853,140	
	バット融着準備工	箇所	9	313,343	2,820,087	9スパン
	PE管成形準備工	箇所	9	138,960	1,250,640	9スパン
	バット融着工	箇所	467	55,990	26,147,330	10m管×467箇所
	PE管成形工	m	4662	669	3,118,878	
	PE管引き込み準備工	箇所	9	318,246	2,864,214	9スパン
	PE管引き込み工	m	4662	658	3,067,596	
	復元準備工	箇所	9	111,601	1,004,409	9スパン
	復元工	m	4662	506	2,358,972	
	PE管端末処理工	箇所	18	18,428	331,704	9スパン×両端
	最終管内調査工	m	4662	735	3,426,570	
	最終管内洗浄仕上げ工	m	4662	297	1,384,614	
小計					106,437,672	
立坑費用	立坑費用	箇所	10	1,450,000	14,500,000	
	その他				13,170,000	
	小計					27,670,000
合計	合計				281,790,472	材料費+工事費
単価	60,444					m単価
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・9スパンとします。(1スパン平均長さ518m) ・立坑数は両端2箇所、直管2箇所、バンド6箇所の合計10箇所とします。 ・五条大橋部も上記立坑から更生できると仮定します。 ・バンド6箇所以外は更生管が挿入できる直線管路と仮定します。 ・機械設置に際しての障害物の除去及び軟弱地盤の整備は含まれていません。 ・施工前管内処理費(洗浄工で取り除くことの出来ない突起)は含まれていません。 ・安全対策費及び仮設配管費は含まれていません。 ・現場への大型トラックの侵入が可能なものとして。また、既設道路より挿入ピット及びウィンチピットまでの資材運搬用道路または工事車輛等の駐車スペースが確保できるものとして。軟弱地盤の場合は鉄板敷(見積外)にて確保できるものとして。 ・使用する水は支給していただくこととします。 ・産業廃棄物処理費(水処理等)は含まれていません。 ・諸経費及び消費税は含まれていません。 ・この見積もり数量及び仕様に変更が生じた場合は別途とします。 					

本願寺水道 管更生工法 設計価格比較表

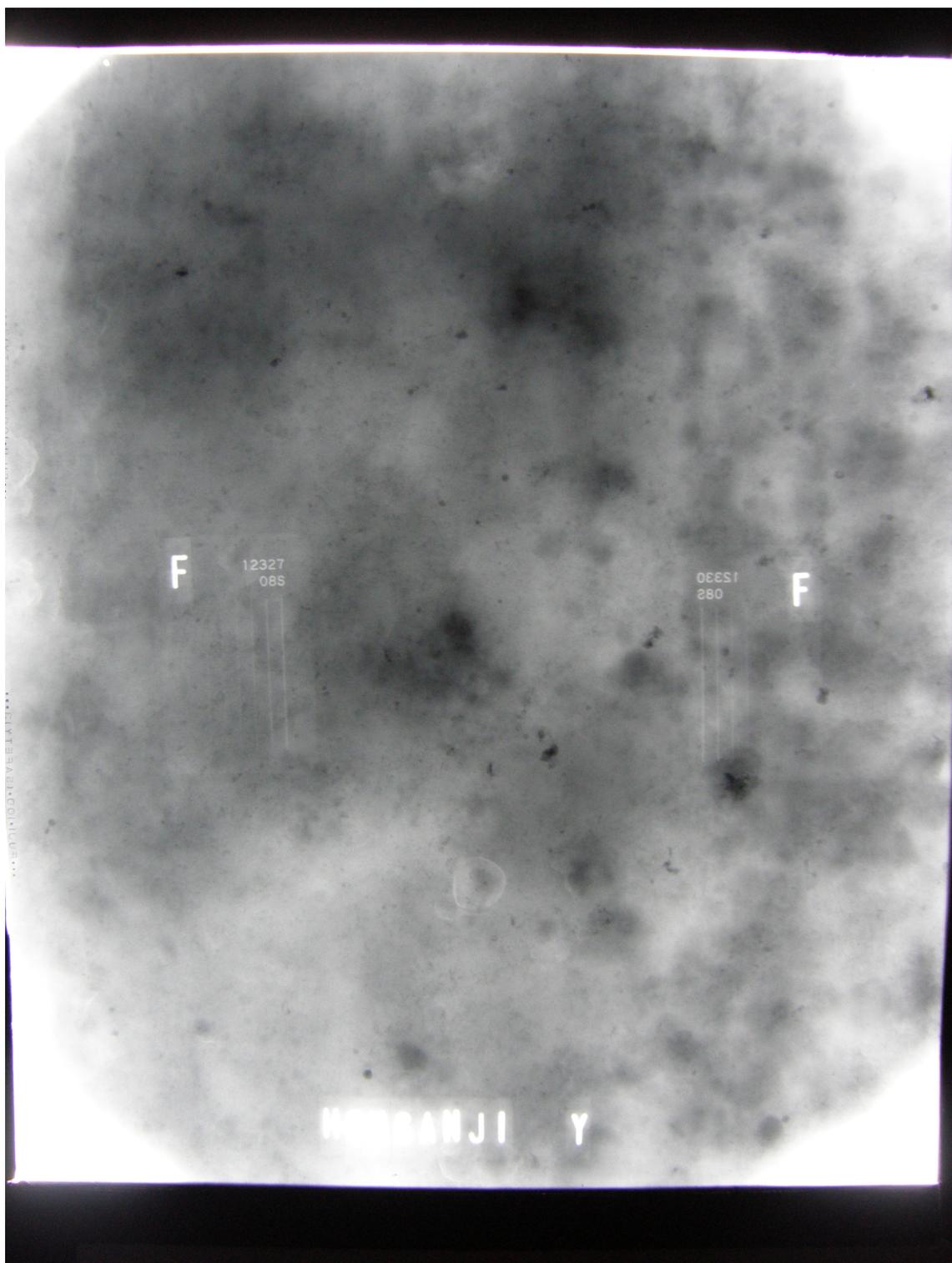
工法共通見積もり条件

- 1 直接工事費のみとします。
- 2 埋設深さは1.2m(一定)とします。
- 3 全長は4662mとします。
- 4 高低差は51mとします。
- 5 多少の曲がりを含む直線部でも全て既設管内の挿入が可能と仮定します。
- 6 分岐は含めていません。
- 7 工事は昼間とし、夜間は含まないものとします。
- 8 直管部は挿入、到達立坑のみ開削とします。
- 9 エルボは蹴上→90° →90° →90° →90° →45° →45° →東本願寺とします。
- 10 エルボは全て開削で接合とします。
- 11 バルブは含んでいません。
- 12 両端での既設管・異種管との接続作業は含まないとするが、両端はフランジ継手とします。
- 13 五条大橋の全長は70mとします。
- 14 31スパンとします。(1スパン平均長さ150m)
- 15 立坑数は両端2箇所、直管23箇所、バンド6箇所の合計31箇所とします。
- 16 五条大橋橋も上記立坑から更生できると仮定します。
- 17 バンド6箇所以外は更生管が挿入できる直線管路と仮定します。
- 18 スパン間の接合は全てEF接合で一体化配管可能と仮定します。
- 19 更生管はポリエチレン管(SDR13.6)の外径φ 280です。
- 20 EFソケットの数量72個は両端フランジ接合2個、立坑23箇所×2個、バンド6箇所×4個の合計とします。
- 21 セメントミルク注入は両端部を仮栓を用いての注入とします。
- 22 既設管内面の錆コブが多い場合、施工不可の可能性があります。
- 23 土留工は含まれていません。
- 24 安全対策費及び仮設配管費は含まれていません。
- 25 管内の汚泥等・産業廃棄物処理費は含まれておりません。
- 26 保安要員(ガードマン)は含まれておりません。
- 27 諸経費及び消費税は含まれておりません。
- 28 その他現場状況により見積もり金額が変更になる場合があります。

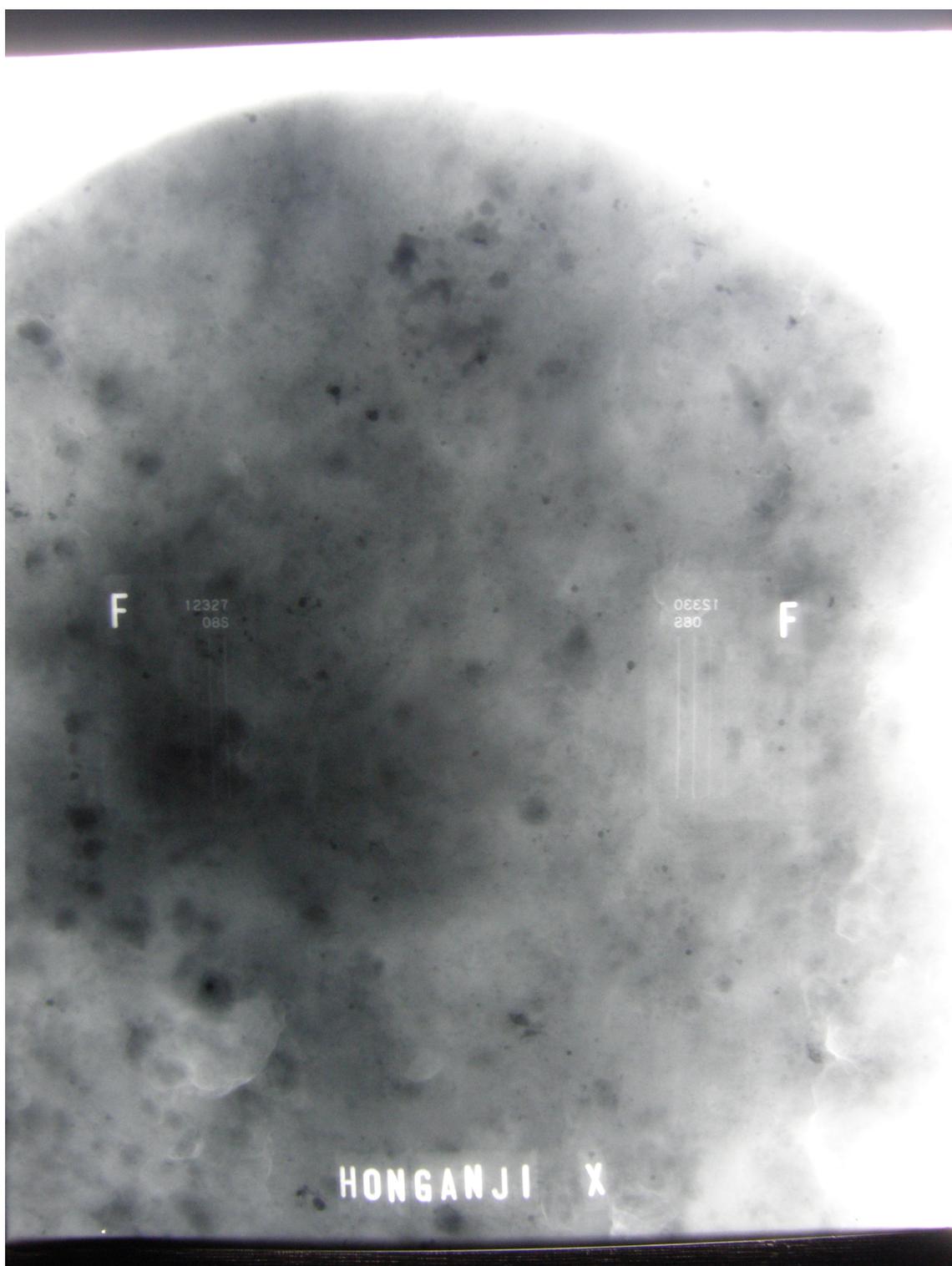
パイプリパース工法(パイプインパイプ工法) φ280自立管更生(大成機工)						
種別	内訳	単位	数量	単価	金額	適用
材料費	PE直管	本	933	68,000	63,444,000	φ280×5m管
	セメント	袋	1834	500	917,000	
	セメントミルク添加剤	kg	137.6	3,500	481,600	
	バンド90°	個	4	69,500	278,000	
	バンド45°	個	2	69,500	139,000	
	EFソケット	個	72	30,070	2,165,040	
	PE挿し口付フランジ短管	個	2	140,080	280,160	
	小計				67,704,800	
工事費	クリーニング工	m	4662	7,223	33,673,626	
	融着挿入工	m	4662	7,531	35,109,522	
	漏水試験工	m	4662	1,922	8,960,364	
	セメントミルク注入工	m	4662	3,083	14,372,946	既設管との隙間のみ
	EFソケット融着工	箇所	72	13,825	995,400	
	配管据付工	箇所	29	25,064	726,856	スパン間の接合
	配管切断工	箇所	72	2,087	150,264	
	小計				93,988,978	
立坑費用	直接工事費	箇所	31	1,297,600	40,225,600	
	その他				36,074,400	
	小計				76,300,000	※岡野組より積算
合計			合計	237,993,778	材料費+工事費+立坑費用	
単価				51,050	m単価	



パイプラインパイプ工法施工略図



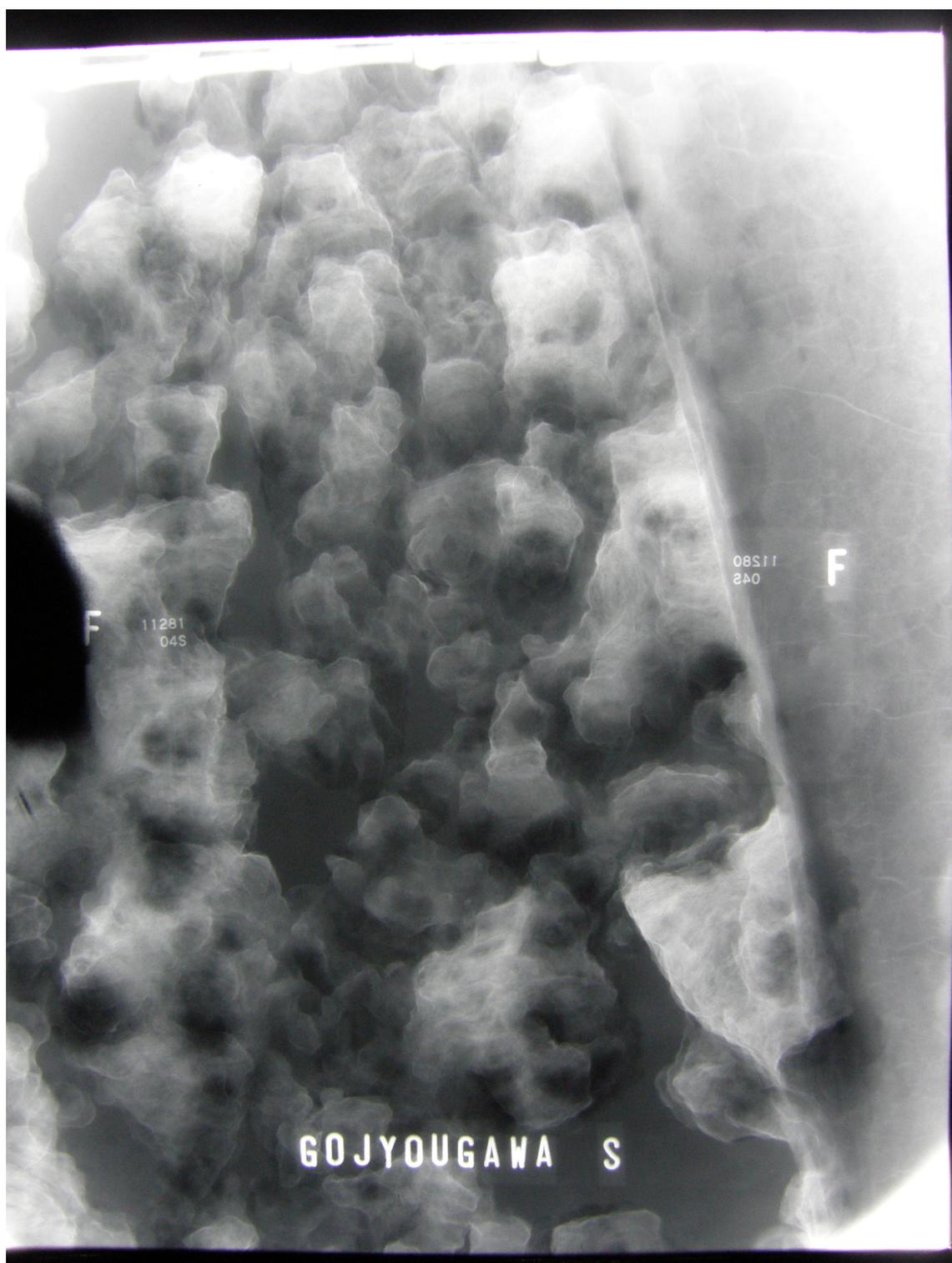
X線フィルム1 東本願寺に展示されている配管 (Y軸撮影)



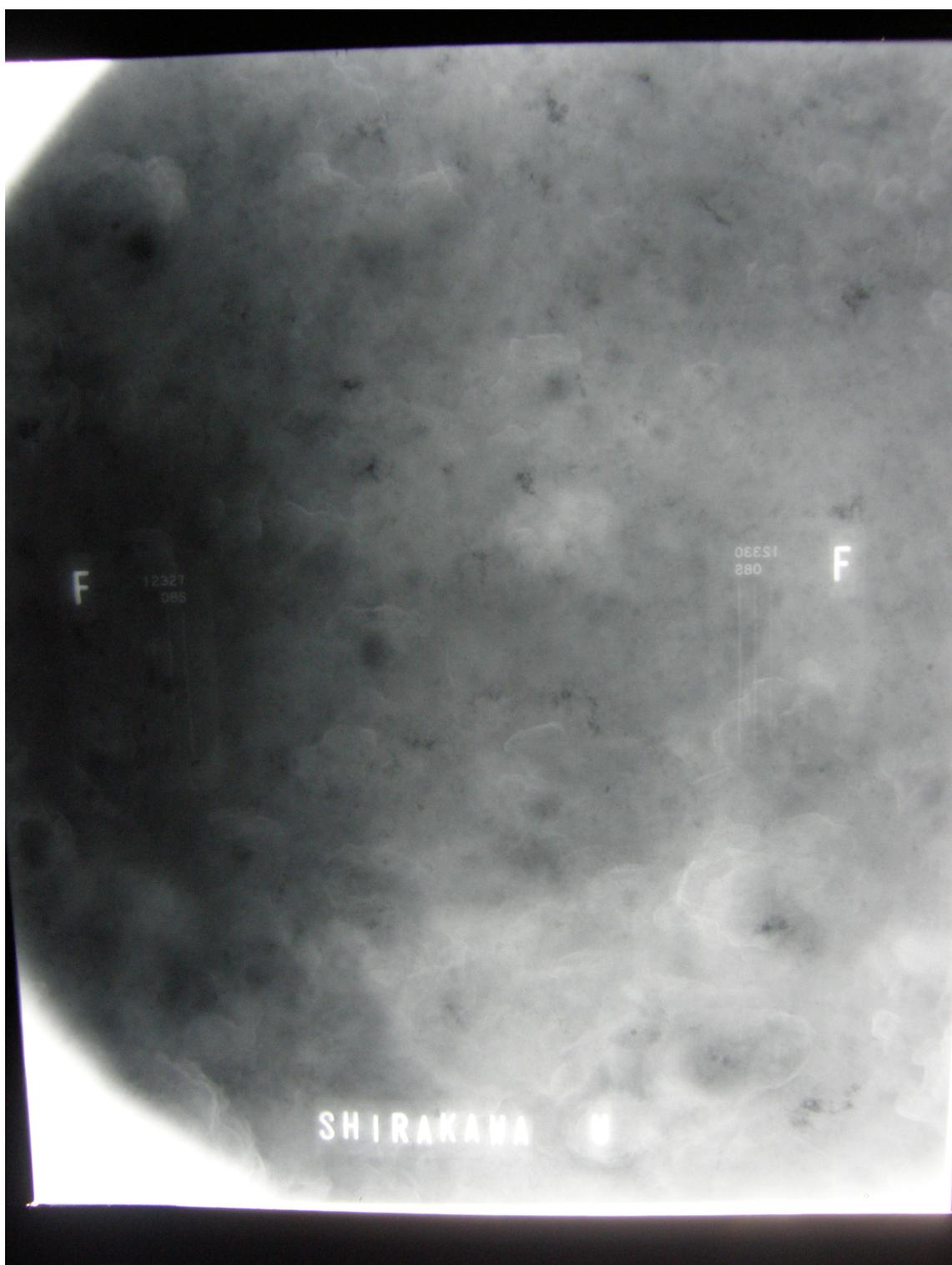
X線フィルム2 東本願寺に展示されている配管 (X軸撮影)



X線フィルム3 五条大橋下の送水管（上から撮影：鉄管）



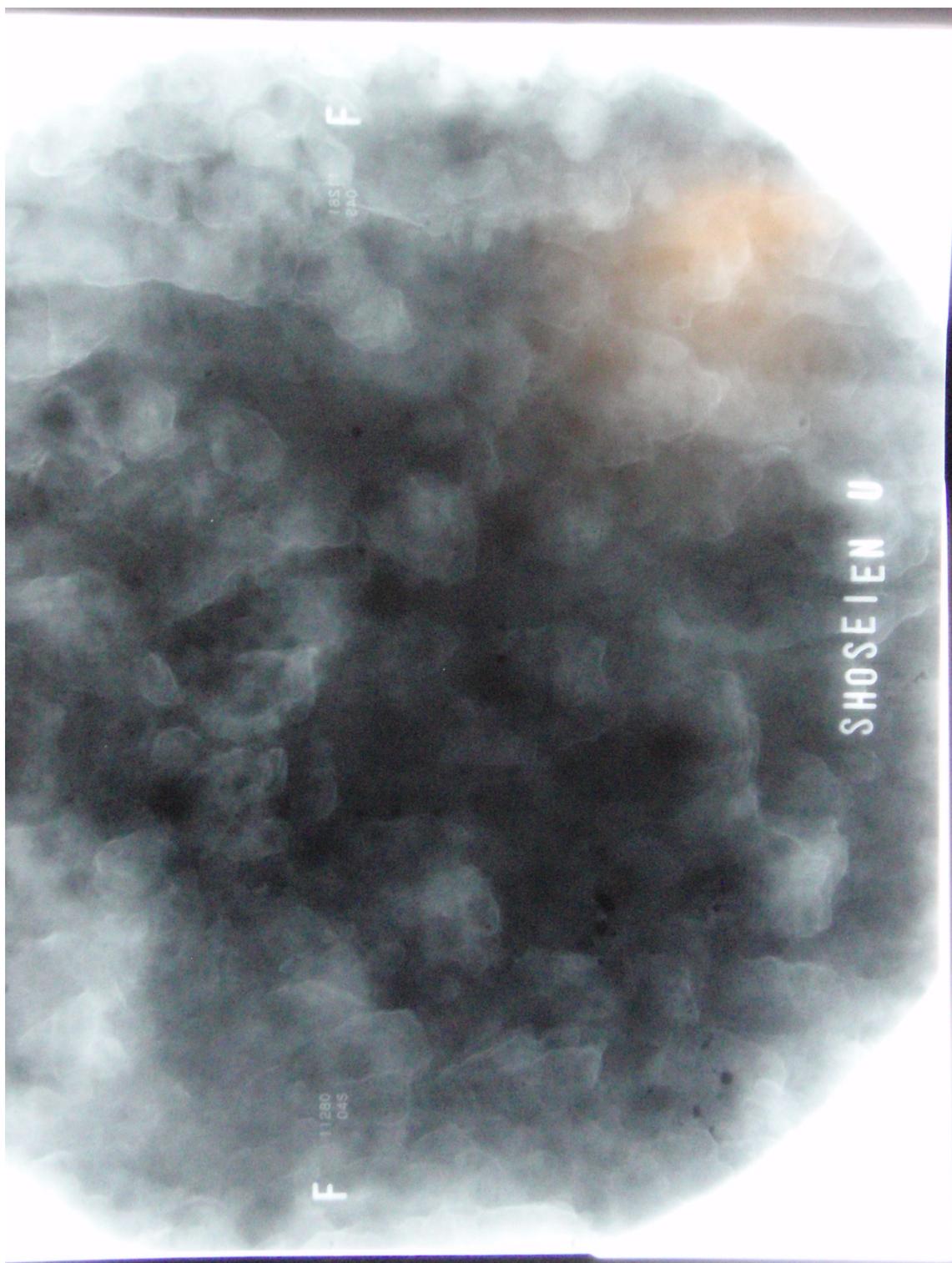
X線フィルム4 五条大橋下の送水管（側面から撮影：鉄管）



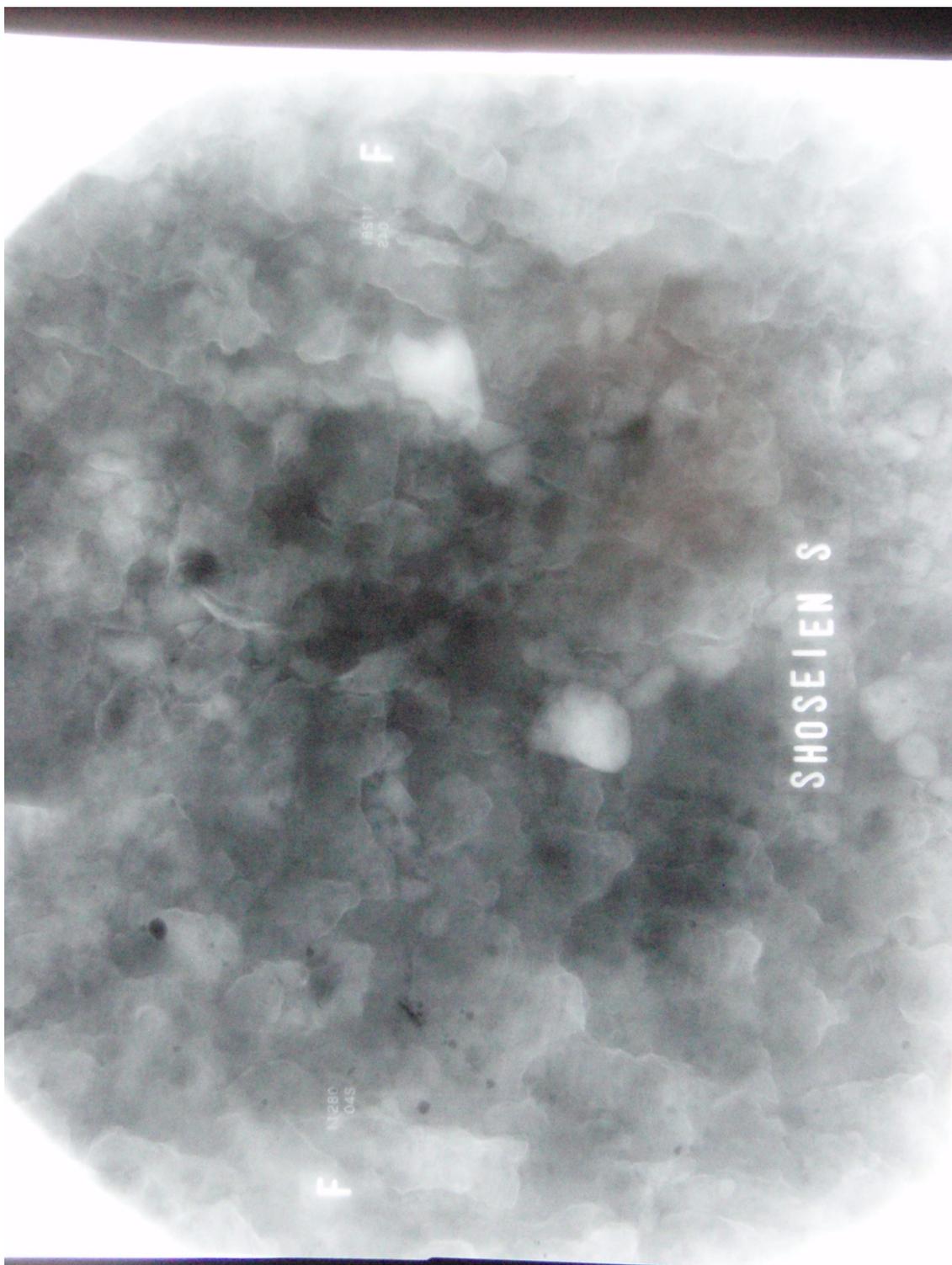
X線フィルム5 白川橋下の送水管（上から撮影：铸铁管）



X線フィルム6 白川橋下の送水管（側面から撮影：鑄鉄管）



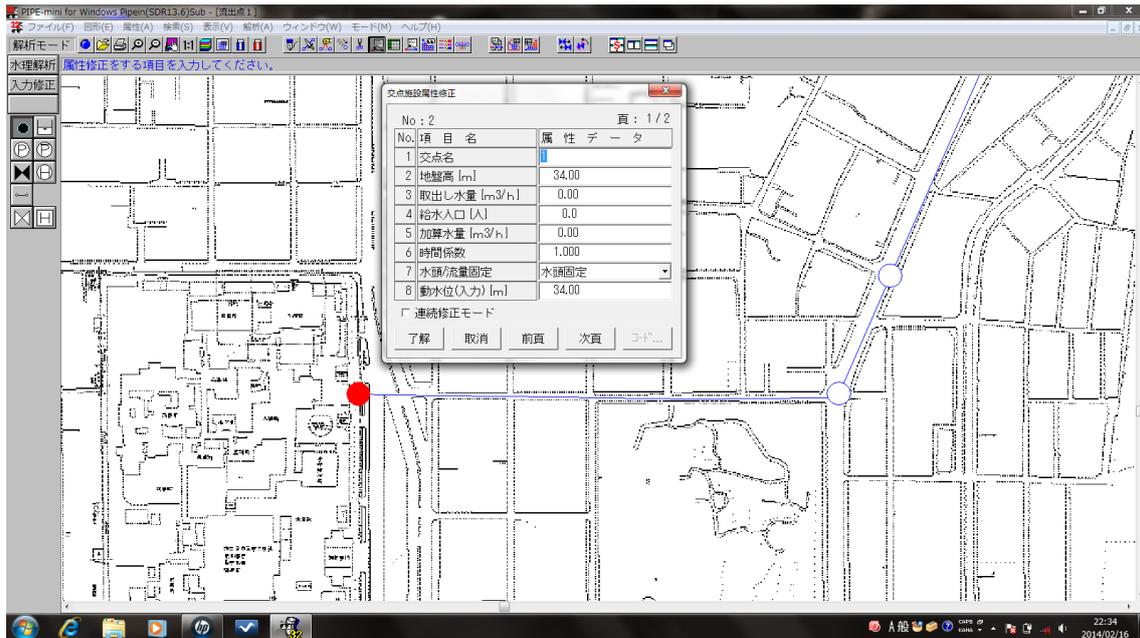
X線フィルム7 涉成園北で掘削された送水管（上から撮影：鑄鉄管）



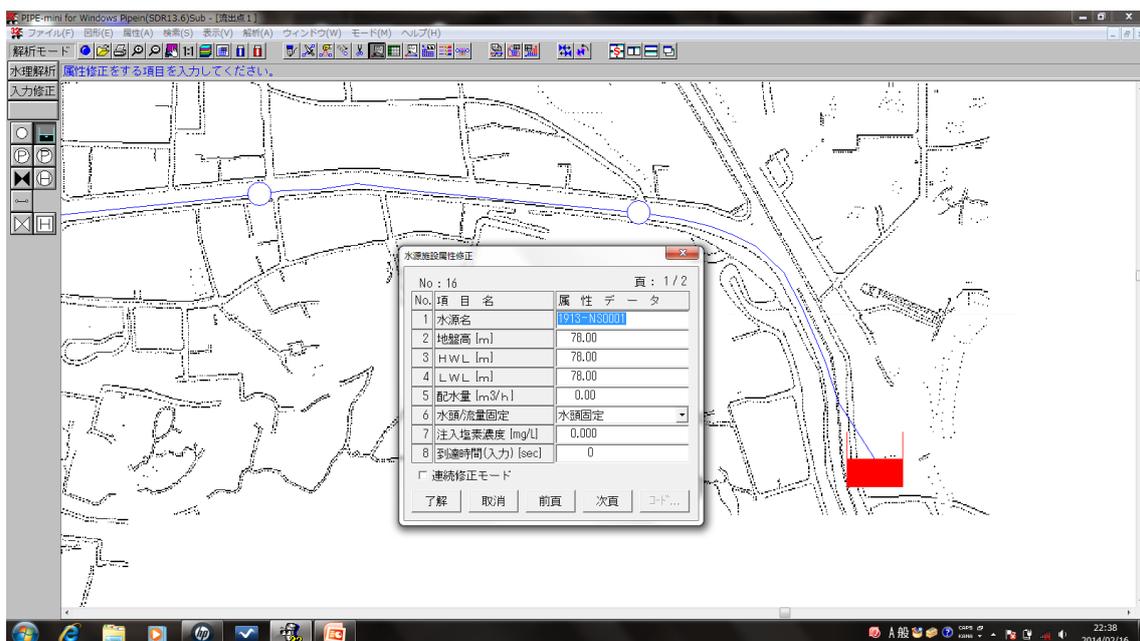
X線フィルム8 涉成園北で掘削された送水管（側面から撮影：鑄鉄管）

水理計算の設定条件

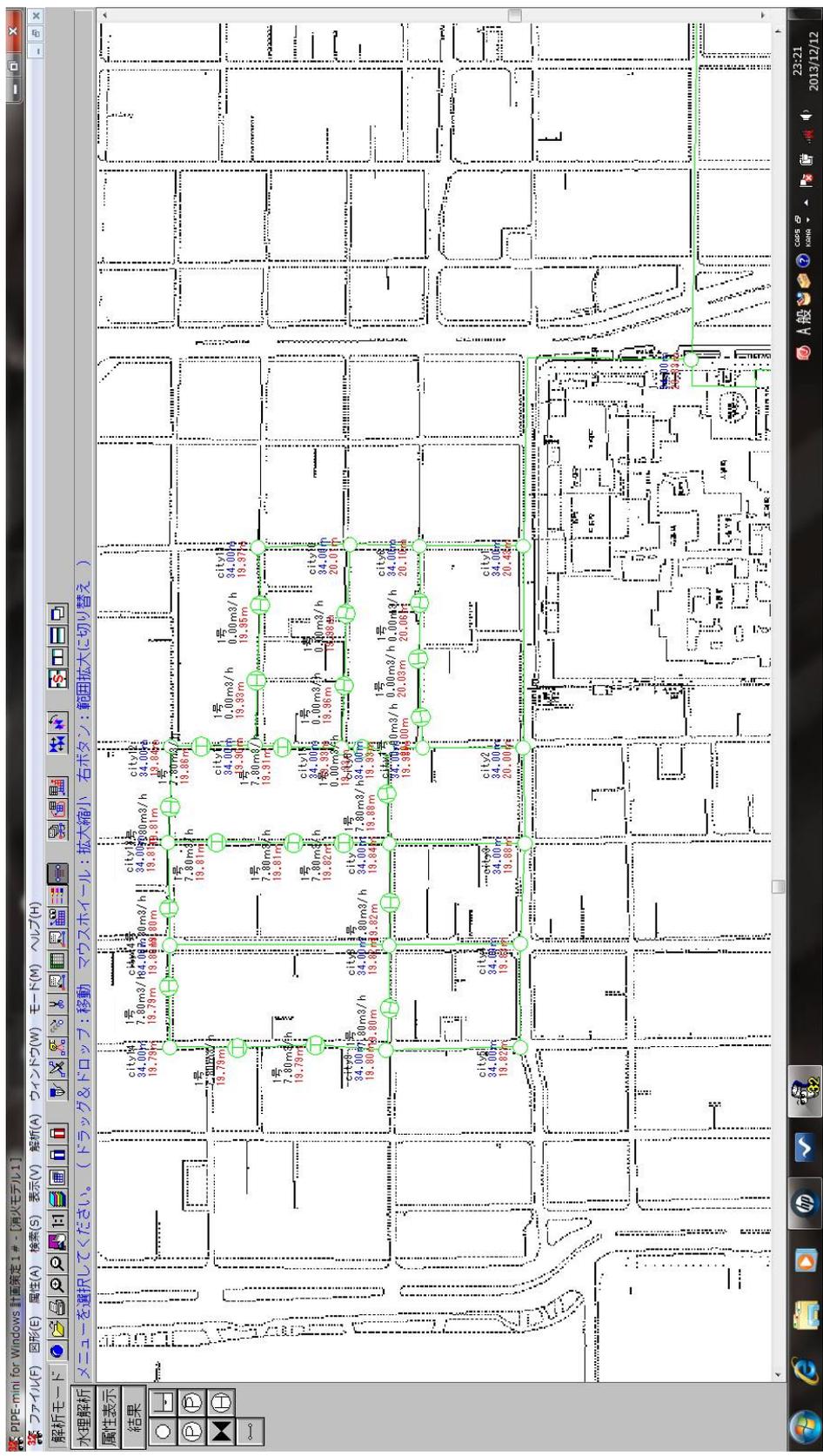
- Hazen-Williams 式
- 有効水頭（位置水頭）：44m
- 流速計数：ポリエチレン管 $C=150$



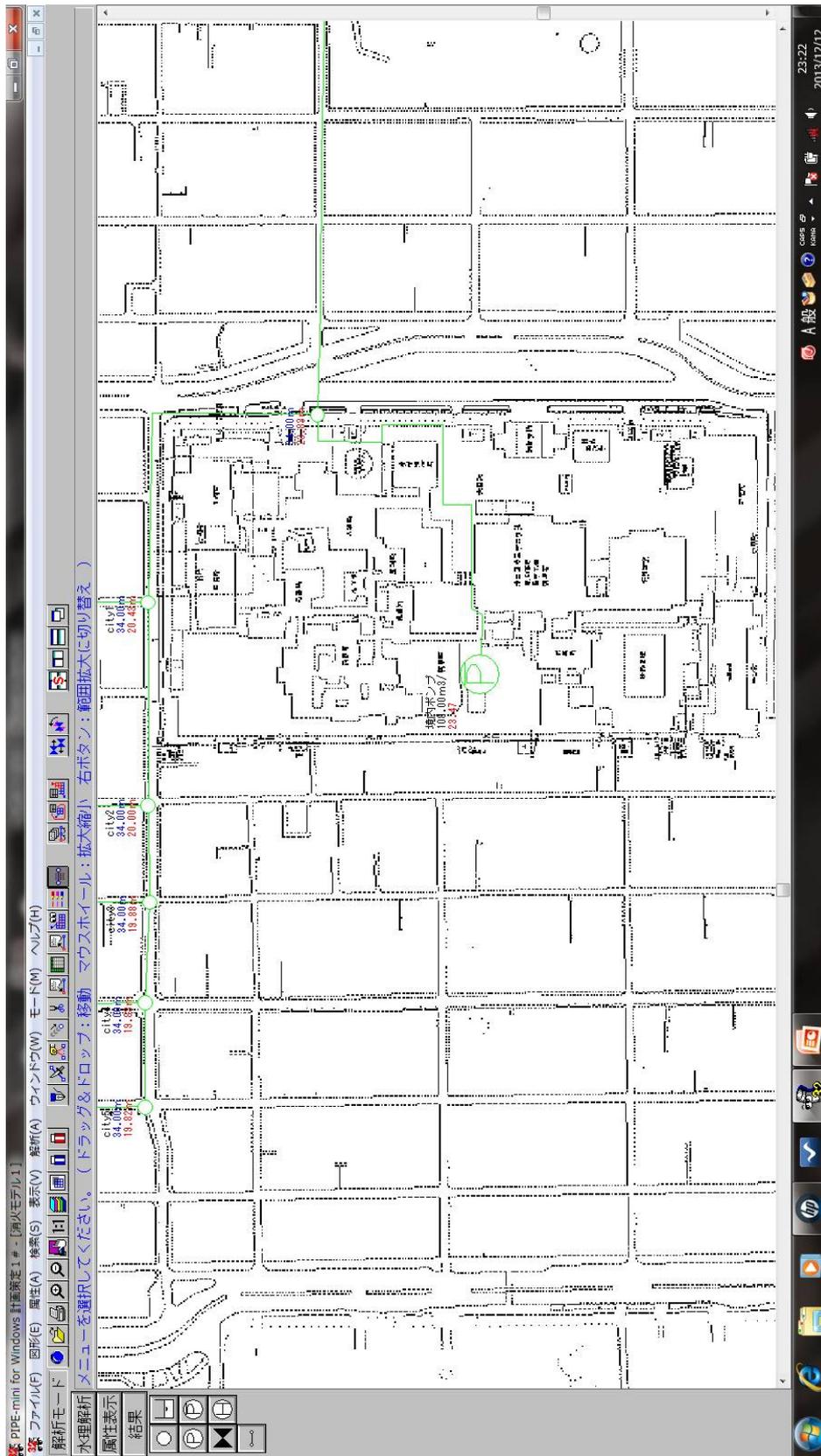
- 流出口の地盤高は 34m、水頭固定（他の支点は流量固定）

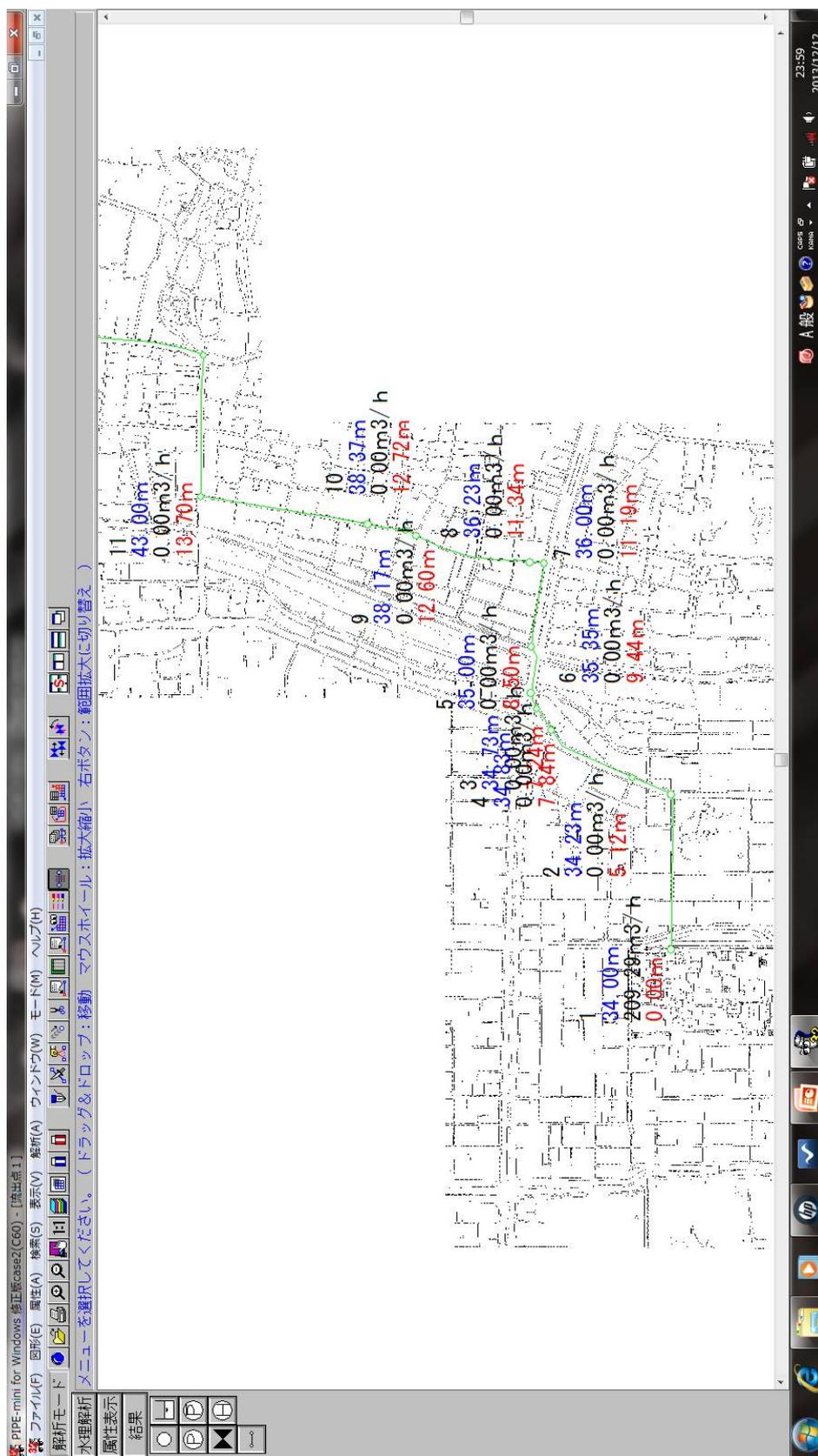


- 水源池の地盤高は 78m、水頭固定

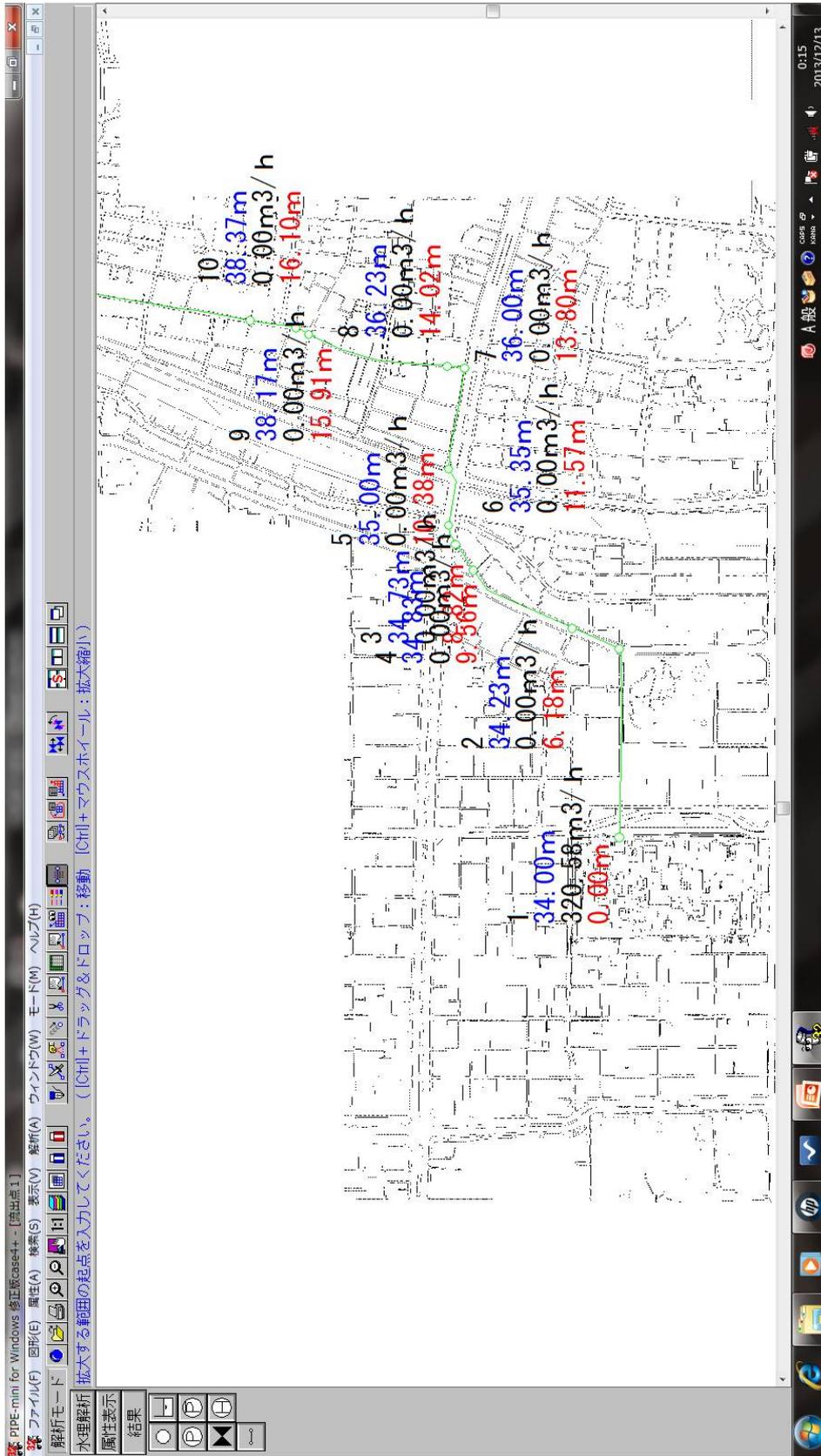


水理計算結果 1 東本願寺北上下錫屋町：市民消火栓





水力計算結果 4 現状本願寺水道の送水流量（流速計数：想定値）



水理計算結果 5 本研究での再生工法による送水流量

Summary of the Doctoral Dissertation

Conservation of the Honganji-Water Pipelines in Kyoto

— Planning of Fire Fighting Water Supply System That Utilizing Historical Water Service —

Name DOWON KIM

Honganji-water pipelines built in 1897, is a fire disaster prevention facility for the Higashihonganji temple which had burned down four times in a period of 76 years. But Honganji-water pipelines has stopped its water supply that the cast iron pipe has been rusted for leaking water. The aim of this paper is to estimate the possibility method of functional conservation and potential of firefighting water supply not only for temple site but also surrounded wooden local district. Based on the results of this case study, the process is for considering the utilization of historical water service conservancy.

First chapter presents the significance of conservation the Honganji-water pipelines for historically outstanding fire disaster prevention facility. Then it discusses conservation needs earthquake resistance condition for future utilizing.

Second chapter evaluates the pipe restoration method employed, which involves the insertion of a polyethylene pipe into the existing pipelines. Having to carry a pipe inspection on historical diagnose the corrosion situation in pipelines, it is clarified feasibility of the pipe restoration.

Third chapter analysis effectiveness of regional firefighting water supply plans in the estimated the Honganji-water pipelines in the event of earthquake fire. Firstly, it evaluates the system to supply water to the Higashihonganji temple site and to local residential areas for the three different scales of fire that are required to effectively fight fires. Secondly, it plans the "Water Shield System (WSS)" on south Gion, has its high risk of a fire hazard spreading that wooden densely-urban area. Then it can be reduced to less than half of burned building numbers per hour, in contrast the situation without any firefighting though the possible water supply has hydraulically limited, on Fire Spread Simulation.

In addition, the results of this study organized process of firefighting water supply system that utilizing historical water service.

2013 年度（平成 25 年度）立命館大学博士（工学）学位論文

明治期の防災水利「本願寺水道」の再生による都市防火への活用可能性に関する研究

－歴史的な水利環境を都市防災に活用するための計画プロセス－

Conservation of the Honganji-Water Pipelines in Kyoto

－Planning of Fire Fighting Water Supply System That Utilizing Historical Water Service－

発行日 2014 年 2 月

著者 金 度源（キム ドウオン）

〒603-8341 京都市北区小松原北町 58 立命館大学 歴史都市防災研究所

E-mail gen.dowonkim@gmail.com