

木造住宅地域を地震時火災から守る Water Shield Systemに関する基礎的研究 —京都市清水寺周辺地域の配水システムの研究—

A Basic Study on Water Shield System to Protect Wooden Residential Area from Earthquake Fire

荒川昭治¹, 片桐 信², 西野智研³, 大窪健之⁴

Shoji ARAKAWA¹ and Shin KATAGIRI² and Tomoaki NISHINO³ and Takeyuki OOKUBO⁴

1 株式会社建設技術研究所 大阪本社 地圏環境部

Geo-Environment Division, Osaka Main Office, CTI Engineering Co.,Ltd.

2 摂南大学 理工学部 都市環境工学科

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Setsunan University

3 神戸大学大学院 工学研究科 建築学専攻

Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Kobe University

4 立命館大学 理工学部 都市システム工学科

Dept. of Civil Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

In the past, earthquake fire has caused serious damage to life and property in Japan, especially in residential areas with wooden houses. The use of inefficient fire extinction systems is considered to be the main reason behind the spread of fire in such areas. During an earthquake, the movement of the fire brigade is hindered by the damage to the road network and the disruption of water supply, which depends on water distribution facilities of cities. Therefore, a hydrant system that can be easily operated by general residents has to be developed. The authors have developed a water shield system (WSS) to protect wooden houses from fire and to gain sufficient time for evacuation and rescue. In this paper, a basic study is carried out on a primal planning of water distribution system for the WSS in Kiyomizu area.

Keywords : *water shield system, water distribution pipelines, earthquake fire, wooden residence*

1. はじめに

(1) 研究の背景

地震時に同時多発火災が発生した場合、通常火災を想定した消防システムは麻痺するため、延焼が拡大し多大な被害をもたらすことになる。

したがって、地震時においては、一般市民が簡単に操作できる市民用消火施設を整備することや、大規模化する延焼火災を抑制し、避難救出のための時間を確保するための地域規模での消防施設の開発が求められている。

このような状況において、京都市清水周辺地区では国内初である消火専用の大規模耐震貯水槽と配水管路の検討¹⁾が進められている。当該地域では、木造家屋、土塗り壁等を有する木造家屋および耐火構造家屋に建物を分類し、後述(2)参照する延焼の第1段階と第2段階に対応する消火施設を配置するために管路の幹線から全地域を網羅できる最小限の管網が計画(平成23年度に幹線の一部完成)されている(図-1)。さらに、地震時の同時多発火災に伴う街区単位の延焼火災を抑止するため、

街路に面した木造建物群に対し、延焼の範囲に応じて効率的に散水するシステムとしてウォーター・シールド・システム(以下「WSS」と称す)²⁾の研究が進められている。

(2) WSSの現状

a) 火災発生後の消火活動と必要な施設

地震時火災発生後の時間経過に応じて以下²⁾のような消防活動を可能にしなければならない。

第1段階：小規模火災であり、市民消火栓の利用やバケツリレーなどを用いた住民による初期消火段階。

第2段階：中規模火災であり、公設消火栓と併用する形で、消防隊や消防団による継続的な消火が行われる段階。

第3段階：大規模火災に発展し、街区を越えての類焼を抑制する段階。これに対応するため、火災検知器等と連動することで自動放水を行い、延焼を抑止する装置(WSS)の配備が検討されている。

このうち、第3段階が最も水量を要するため、配水システムの容量や仕様はこの段階を想定して検討する必要がある。

b) WSS の機能²⁾

WSS とは、街路を越えて延焼が拡大する恐れがある際に、センサーで熱を感知し、燃焼が進行している家屋側から街路の反対側の家屋に向けて最小限の水を散水することで、木材表面の温度上昇を抑制し、木材発火を防止し、延焼を抑止するものである。

c) WSS の必要散水量

上述の第3段階対応において、WSS が有効に稼働し、延焼を抑止するための必要散水量については、木材試料を使用した散水加熱実験により算出されている。実験の結果、木材が発火しないために必要な有効散水量³⁾は、 $20\ell / (\text{m} \cdot \text{min}) (=2\ell / (\text{m}^2 \cdot \text{min}) \times \text{高さ } 10\text{m})$ となっている。

また、消防隊による人力の路線防御について、現状における現実的な数値として、消防ポンプ車1台でおおむね幅40m(長さ20mのホースを2本接続して放水可能)の範囲をカバーできると仮定すると1台の消防ポンプ車の放水能力は毎分 1m^3 ⁴⁾であることから、消防隊による路線防御活動に必要な給水量は、40m当たり $1,000\ell / \text{min}$ という計算になる。したがって、この散水量は概ね一致しており、消防隊による延焼抑止活動のバックアップも充分担うことが可能である。なお、今後の研究の進展によりこの数値が更新されたとしても本論文における全体の論旨は影響を受けない。

d) 対象地域の管網および WSS 配置計画

京都市清水周辺地区では、木造家屋および土塗り壁を有する木造家屋を可燃建築物として、これらが相対しかつ道路幅員が4m以上の道路に沿って WSS を設置する計画とした。4m未満では延焼火災の場合、道路をまたぐ接炎が発生する可能性があり、十分な効果が期待できないことを勘案して、本検討では一般公道として認められる4m以上の道路幅員の箇所に WSS を設置することとした。上記の条件により配置した配管図を図-1に示す。

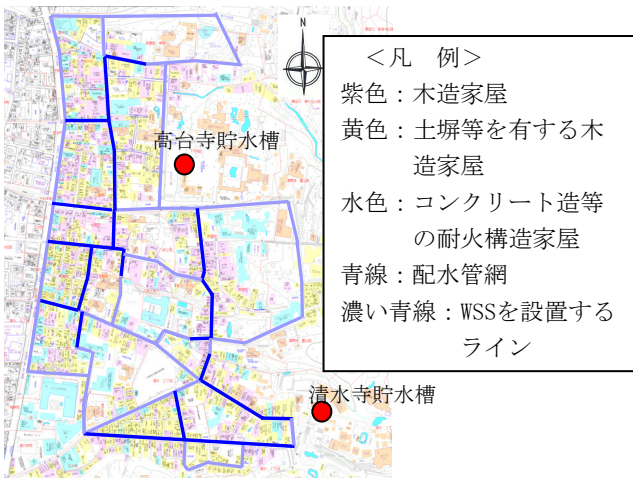


図-1 清水地区配管図と木造家屋の分布とWSSの配置²⁾

(3) 研究の目的

本研究は、WSS について放水装置への給水に必要な貯水タンクおよび配水管路網の設計方法論を、ケーススタ

ディを踏まえて確立するための基礎的研究を行うことを目的とする。

本研究におけるケーススタディの研究対象として、上述した京都市清水周辺地区に計画されている管網を用いる。しかし、当該管網の水理現象は、以下に示すように従来の水道用水や農業用水のそれとは大きく異なる。

- ・水道管路や農水管路とは異なり、延焼の過程にしたがって取水点が時々刻々と変化する。また、特定箇所から集中して取水を行うこととなる。
- ・このため、定常的な取水を想定して行われる水道管路の設計とは異なり、取水箇所の変化に伴って管内の流速分布、流れる方向、圧力分布が常に変化することになり、配管網の管路口径や供給する貯水タンクの圧力水頭等の設計は従来の方法では困難である。

(4) 研究の方法

WSS 用配水施設の計画・設計を試みるにあたり、当該のケーススタディ地域には図-2 に示すような2種類の水源が存在する。図のグリッドは100m間隔である。ひとつは図中の青口印で示す清水寺境内の重力加圧式の水源である。また、管網の末端から供給されるリーフ型給水方式となる。他方は、図中の緑口印で示される高台寺公園地下のポンプ加圧式の水源である。この場合、水圧はポンプ圧送となり、管網の中心部から供給されるドーナツ型給水方式となる。

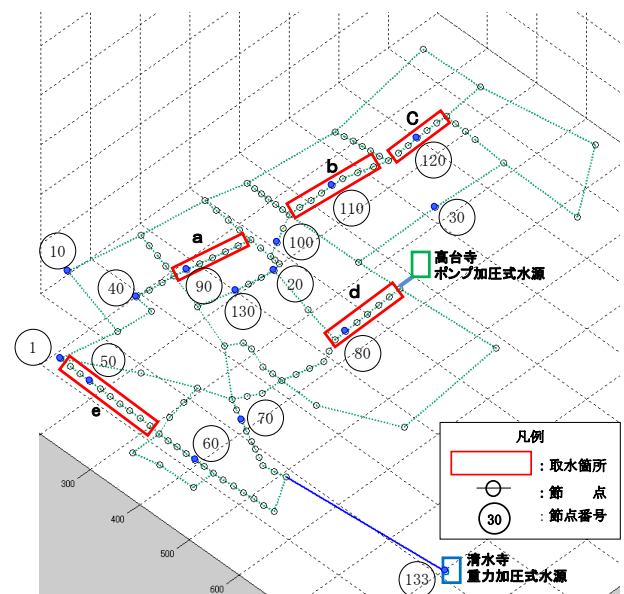


図-2 配水管網・水源と想定取水箇所

本研究の方法は次のとおりである。

- ① 上記二つの貯水タンクをそれぞれ単独に使用した場合について検討するものとし、同時に併用した場合については検討対象としていない。
- ② まず、一つの貯水タンクから配水するシステムに要求される性能を満足する施設について、図-2 に示した赤枠で囲んだ特定の取水箇所 (a, b, c, d, e) に存在する全ての節点 (たとえば、取水箇所 a であれば5点) で同時に取水し、他の取水箇所

は取水しない状況を想定した予備検討としての配水シミュレーションを実施する。ただし、WSSの配置間隔は道路幅員により変動するためモデル上便宜的に節点間隔は25mとした。

- ③ 次に、当該地区を対象に延焼シミュレーションを援用し、その結果をもとにWSSによる配水シミュレーションを実施し、予備検討において設計した配管施設の性能を検証する。
- ④ 二つ目の貯水槽についても同様に予備検討及び検証を実施する。
- ⑤ 最後に、それぞれ個別に設計した上記施設の問題点や設計上の課題についてまとめるとともにWSSの配水システムの計画・設計を行うための基礎的な知見を整理し、汎用性のある設計プロセスを確立するための可能性を検討する。ここで検討する設計プロセスは、今後、他地域における地域防災に応用するにあたり、汎用性が期待できる。

2. 前提条件及び設計の手順

(1) 前提条件

a) 給水方式の異なる二つの水源による個別の検討

本研究では、給水方式の異なる二つの水源について個別に検討を行い、それぞれの特徴を明らかにし、同種の給水施設設計を行う際の汎用的な設計プロセスを確立するための可能性を検討する。

b) 設計条件

配水施設の設計条件としては、既往の水道管路や農水管路の設計基準、および WSS 配水管の管材に適した耐震性の高い水道配水用ポリエチレン管(以下「PE管」)⁵⁾の許容水圧などを勘案して、下記のように定めた。なお、WSS の放水装置は現在開発中であるため、その必要な駆動圧力に関しては安全を見た暫定値としている。

- ・管内流速：農水管路の技術基準 (5.0m/s)
- ・管内水圧：負圧にならず、かつ適用予定の配水用PE管の許容水圧(圧力水頭75m)以内
- ・取水点水圧：WSSの駆動に必要な圧力(圧力水頭25m)

(2) 設計の手順

本研究で扱う配水システムは、前述したように延焼の進行にしたがって取水点が時々刻々と変化し、また特定箇所から集中して取水を行うため、管路口径や供給する貯水槽から送り出す圧力水頭等の設定は、過去に例がない。このように、時々刻々と変化する延焼シミュレーションに逐次対応している配水シミュレーションにより、配管設計を行うことは大変な労力を要することになり、さらに最適な設計を行うとなると極めて困難である。このような課題を克服して、効率よく合理的な設計手法を探ることは大変有益なことである。

本論文は、最小口径から徐々に拡大していく本研究のアプローチの方法として、まず、予備検討である設定した取水箇所による検討を行う。その後延焼シミュレ

ーションによる検証を行う過程とする手順を与えることができれば有益なものとする。すなわち、図-3のフロー図に示したとおり取水箇所を任意に選定し検討していくことで配管設計の目安をつけることができ、複雑な延焼シミュレーションを行う段階では既に配管口径が概ね決定されている状況にあるということは有益な方法である。

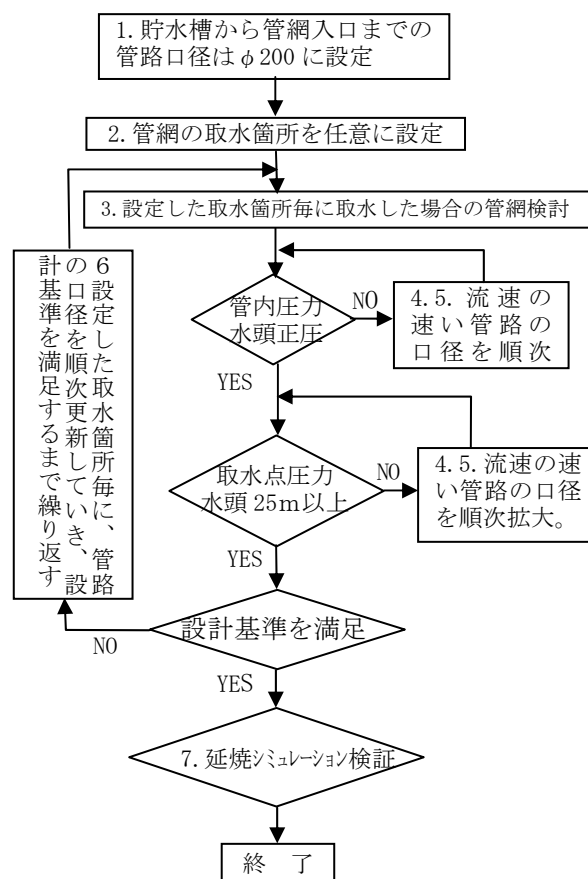


図-3 設計手順を示すフロー図

以下に、図-3のフロー図に対応した設計手順を示す。

- ①水源から管網までの送水管はφ200mm（一般に流通するPE管の最大口径）に固定する。
- ②管網の取水箇所を任意に設定する。
- ③まず、設定した取水箇所の一つを対象に、配水管口径を全て一般に流通しているPE管最小径（φ75mm）として管網計算を実施する。
- ④管路内に負圧の箇所が存在するか、あるいは取水点において25mの圧力水頭が得られない場合、管内流速の速い管路を選択し、それらの配水管口径を1ランク拡大する。
- ⑤上記④でも負圧の生じる箇所が存在するか、取水点で25mの圧力水頭が得られない場合、管内流速の速い管路を選択し、配水管口径をさらに1ランク拡大する。設計条件を満足するまでこれを繰り返す。
- ⑥取水箇所でも得られた最適配管を初期配管として、順次全ての取水箇所へと同じ設計手順を繰り返し行う。最終的に全ての取水箇所設計条件を満足する管路を選択することで、口径を拡大する路線を最小限に抑える。

⑦その後、延焼シミュレーションにより検証を行う。
 なお、課題があった場合、地域防災対策の実現に向けて配管設計による改善あるいは別途対策を検討するものとし、本論文では問題点や設計上の課題をまとめるにとどめるものとしてフロー図に示していない。

3. 清水地区を対象としたWSSの計画・設計

(1) 清水寺貯水槽(重力加圧式の水源)の場合の設計過程

本ケースでは、地形的な理由から水源の設置位置が限定される。そこで、1500m³規模の貯水槽が設置可能な位置を清水寺境内に設定されている。水源の地盤は標高115m、貯水槽の水深が5mであることから地盤高+圧力水頭は120mである。

図-4及び図-5は取水箇所a及びeの場合で、管路口径を拡大した際の管内圧力水頭の変化を示している。また、取水箇所b~dは概ね取水箇所aと傾向が類似しているためグラフ表示は省略した。なお、管網解析はヘーゼンウィリアムズの式を基本としている。

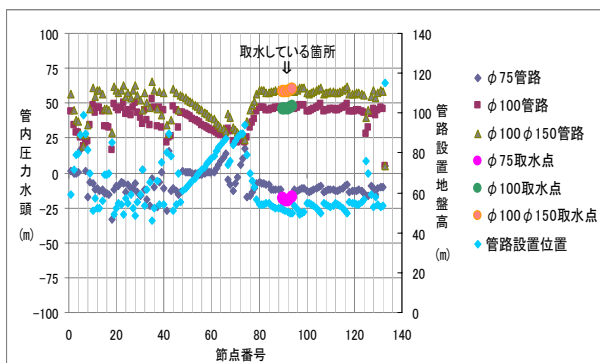


図-4 取水箇所 a の管内圧力の変化 (清水寺貯水槽)

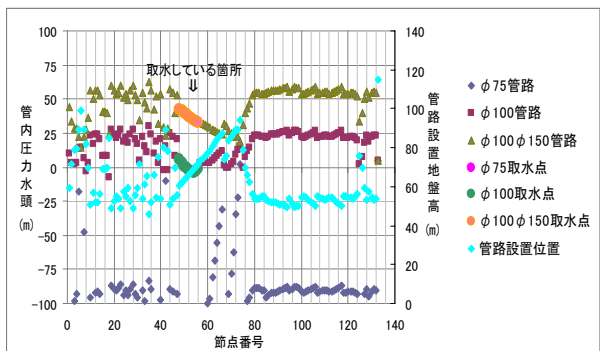


図-5 取水箇所 e の管内圧力の変化 (清水寺貯水槽)

次に、図-3に示したフロー図に従って配管設計を行った過程を以下に示す。

1. 清水寺水源から管網までの送水管はφ200mm（一般に流通するPE管の最大口径）に固定した。
2. 管網の取水箇所をa~eの5箇所設定した。
3. まず、設定した取水箇所aを対象に、配水管口径を全て一般に流通しているPE管最小径（φ75mm）として管網計算を実施した。その結果、図-4に示す

とおりに配管の大半において負圧が生じるとともに取水点においても25mの圧力水頭が得られなかった。

4. 流速の速い管路を選択（今回は全て選択）して配水管口径を1ランク上のφ100に拡大し、管網計算を実施した。その結果、図-4のφ100のケースに示すとおりに条件を満足した。
5. 次に、取水箇所aで設定した配管口径を初期配管として取水箇所bについてこの手順に従って配管設計を実施し、順次eまで繰り返し実施した。その結果、取水箇所eにおいて図-5に示す通り管路内の一部に負圧の箇所が存在し、取水点においても25mの圧力水頭が得られなかった。
6. さらに、管内流速の速い管路を選択して配水管口径を図-6に示すように1ランク上のφ150に拡大し、管網計算を実施した。その結果、図-5のφ100φ150のグラフのとおり設計条件を満足した。

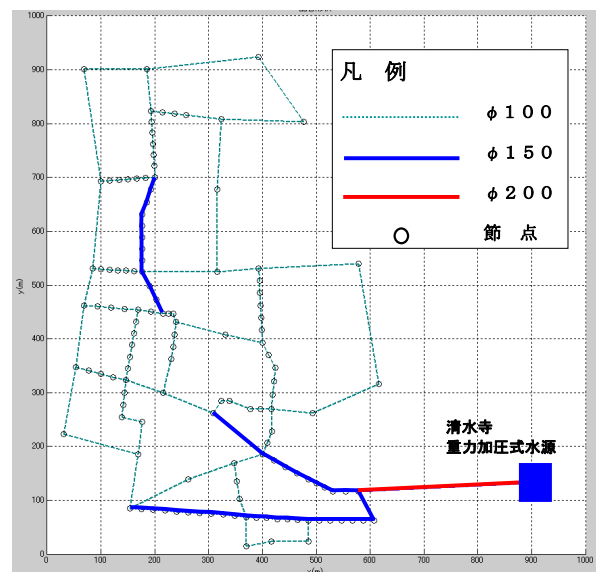


図-6 重力加圧式の場合の最適管路

以上について、まとめると以下の通りである。

φ75mmでは管路のほぼ全域にわたり負圧が生じている。また、その圧力水頭分布の形状は地盤高分布と類似している。これは高所から送水し、低所から取水するという本管路系の特徴によるものである。これに対して、全管路をφ100mmに拡大した場合、地盤高の低い管路の圧力水頭が増加し、全管路での圧力水頭が平準化している。これは、管径を拡大することにより、速度水頭が小さくなり、速度の低下により損失水頭が減少するためである。しかし、取水箇所eを想定した場合、取水点での圧力水頭が設計条件を満たしていない。

一方、図-6に示すようにφ100mmを基本とし部分的にφ150mmを採用した場合は、全てのケースで設計条件を満足する管路が得られた。

例えば図-7は、φ100mm管路の場合で取水箇所eから取水したケースの流速分布であるが、送水管から分岐した一部の管路にのみ急速な水流が生じているために、この管路内での損失水頭が大きく、取水点での圧力水頭が低下している。

これに対して、図-6 に示す管路に変更した場合の流速分布は、図-8 に示すように平準化し、管径拡大により流速が低下し、その結果図-5に示すように、取水点においても最小の管径構成で設計条件を満足する最適配管を見出すことができた。

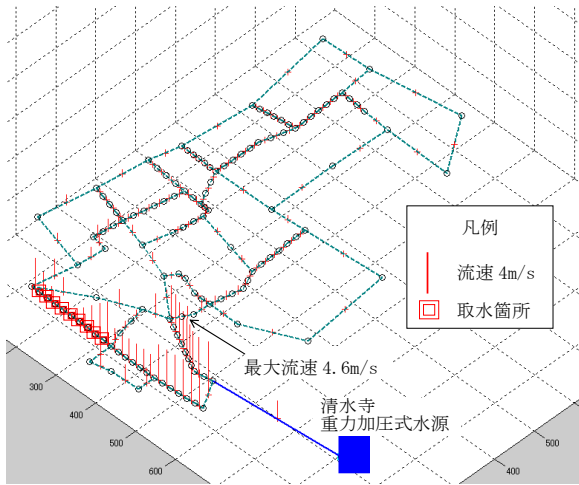


図-7 取水箇所e-φ100管路の流速分布(清水寺貯水槽)

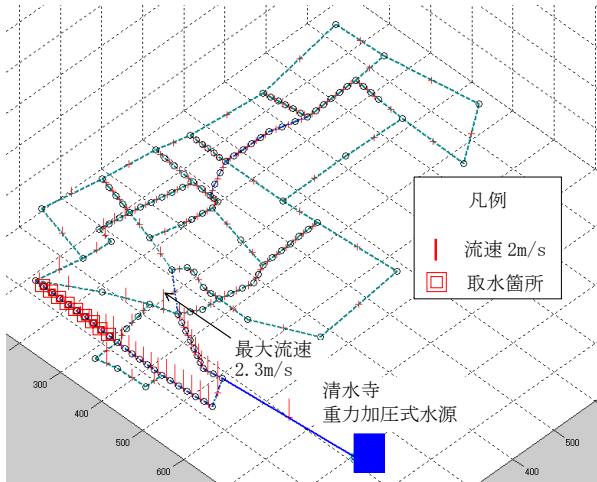


図-8 取水箇所e-最適管路の流速分布(清水寺貯水槽)

(2) 高台寺貯水槽(ポンプ加压式の水源)の場合の設計過程

本ケースでは、管路網のほぼ中心に位置する高台寺公園地下に現在設置されている貯水槽からポンプにより送水することを想定した。ポンプの圧力水頭は、ポンプ位置から最も低い位置にある管路に作用する水圧が、PE 管の許容水圧以内となるように、以下の計算条件をもとに108mと設定した。

- ①PE 管許容水圧(水撃圧を含まない)は圧力水頭75mである。
- ②管路の最も低い位置の地盤高は約43mである。
- ③本システムの特性上圧力変動(水撃圧や振動)を10%考慮。

上記の条件から、ポンプ水源の地盤高+圧力水頭については、 $(43m+75m)/1.1 \approx 108m$ となる。

図-9及び図-10は取水箇所aおよびeから取水を行った場合で、管路口径をφ75mm、φ100mm、φ100mmに一部φ150mmと順に拡大した際の管内圧力水頭の変化を示し

ている。なお、取水箇所b~dは概ね取水箇所aと傾向が類似していることから、グラフ表示は省略した。

高台寺貯水槽の場合についても、清水寺貯水槽と同様に図-3に示したフロー図に従った手順で配管設計を行った結果、高台寺貯水槽の場合の最適管路は図-11に示すとおりであった。

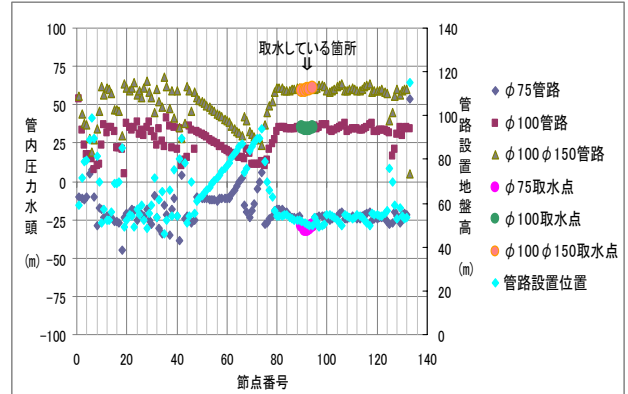


図-9 取水箇所aの管内圧力の変化(高台寺貯水槽)

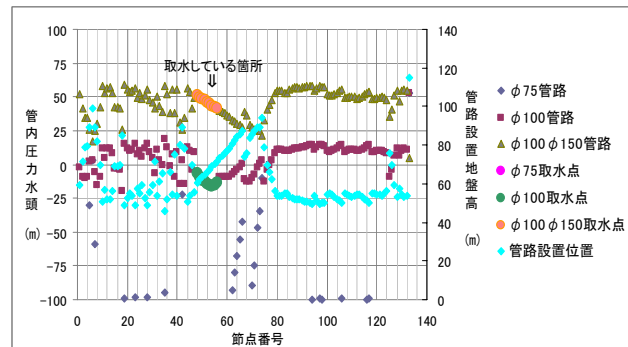


図-10 取水箇所eの管内圧力の変化(高台寺貯水槽)

以上の検討結果をまとめると以下の通りである。

φ75mmでは管路のほぼ全域にわたり負圧が生じた。また、清水寺水源の場合ほど顕著ではないが、その圧力水頭分布の形状は地盤高分布と類似している。全管路をφ100mmに拡大した場合、清水寺水源の場合と同様に地盤高の低い管路の圧力水頭が増加し、全管路での圧力水頭が均一化した。しかし、取水箇所eを想定した場合、取水点での圧力水頭が設計条件を満たしていない。そこで、すべてのケースで設計条件を満足するよう図-11に示すように一部をφ150mmの管路に拡大すると、管路全体で負圧が生じなくなった。φ150mmに拡大する管路が水源から連続している点が、清水寺水源の場合と異なる。例えば図-12は、全体をφ100mm管路として取水箇所eから放水した場合の流速分布であるが、取水箇所e近傍の一部の管路にのみ急速な水流が生じている。特に、図-11に示した高所管路で流速が速いのは、取水点との高低差によるものと考えられる。取水箇所a,b,cなどから取水したケースでも、これらの管路の流速は速くなった。配管網の中央付近にポンプ加压式水源を設置した場合には、高所の管路に急激な流れが生じる可能性があることは、同種の配管系の設計を行う上での留意点となる。

これに対して、図-11に示す管路に変更した場合の流

速分布は、図-13 に示すようになっており、管径の拡大により流速が低下し、その結果、図-10 に示すように取水点においても設計条件を満足することが明らかになった。

また、清水寺水源の場合と同様に、図-11 に矢印で示した位置は、特に取水箇所 b と c の場合に水流の主流が合流する点となる。この場合、それ以降の管路の流速は速くなるため、この部分についても $\phi 150\text{mm}$ へと口径を拡大することとした。

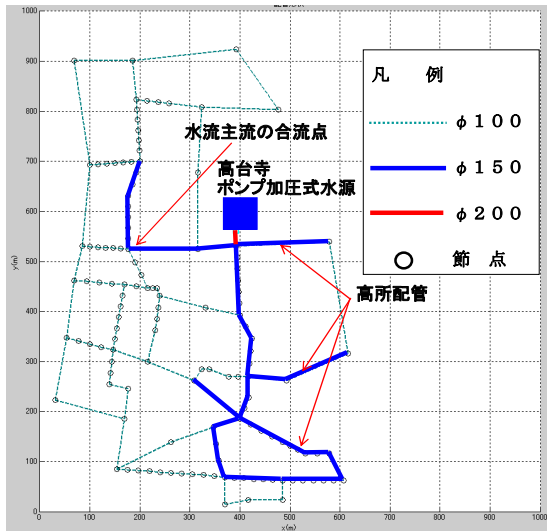


図-11 高台寺貯水槽の場合の最適管路

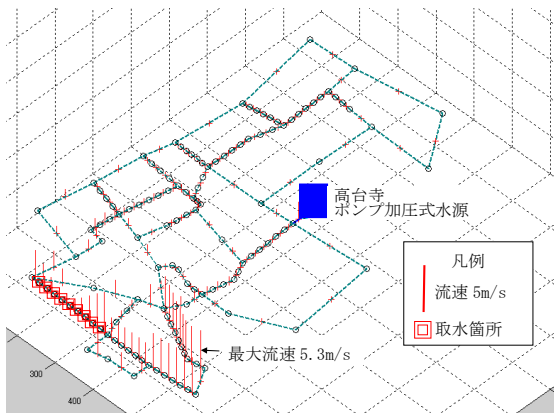


図-12 取水箇所 e- $\phi 100$ 管路の流速分布(高台寺貯水槽)

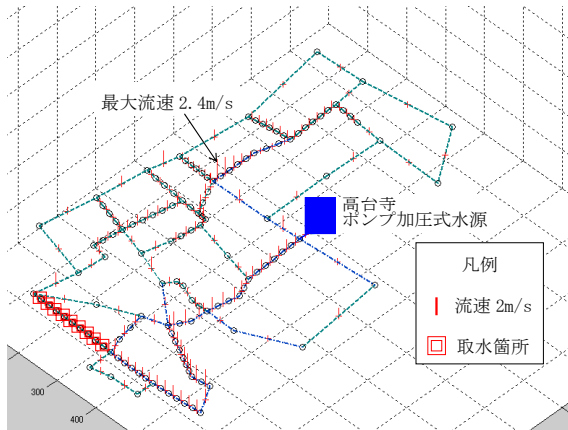


図-13 取水箇所 e 最適管路の流速分布 (高台寺貯水槽)

このように提案する設計手法を用いれば、合流点で生じる急激な流速の変化箇所とそれに対応した管径を拡大すべき管路を適切に見出すことができる。

4. 延焼シミュレーションに基づく配水システムの性能検証

本章では、さらに京都市周辺の活断層群の中で最も被害が大きいと予想される花折断層による地震を想定し、それに伴う延焼火災の拡大を条件として与えることで、第3章で設計した配水施設の管網解析の結果に対し、その妥当性を検証する。なお、入力する延焼火災の性状は既往の物理的延焼性状予測モデル⁶⁾を用いて予測するものとした。

(1) 計算条件

a) 火災条件

計算時間は地震発生から24時間とし、地震発生と同時に出火が起こるものと考えた。なお、前述した第3段階まで発展する可能性のある出火件数については、京都市第三次地震被害想定⁷⁾によると、当該地域の出火件数が最大でも1.02件/ k m^2 ~1.51件/ k m^2 であり、当該面積が約0.5 k m^2 であることから、出火件数は、0.51件~0.76件となり、本研究では一ヶ所とした。その位置は後述の条件に応じて3通りに変化させることで計算した。

また、気象条件(風向・風速など)については、出火点数及び出火点位置などを考慮して与条件を最も単純化した無風状態と仮定した。対象地域には2,051棟の建物が存在するが、その形状・高さ・構造に関する情報は都市計画図および航空測量を基に設定した。ただし、建物の構造形式は非堅牢・堅牢の2種類に分類し、それぞれに熱特性を与えることで計算を行った(表-1)。外壁面に付随する開口部の大きさについては、壁面積に対する比率を建物の隣棟間隔を用いてモデル化した。ただし、開口部の高さは一律に1.5mとした。なお、複数階から成る建物には階段といった上下階をつなぐ堅穴部が存在することになるが、ここでは、その大きさを一律に3.0 m^2 として計算を行った(図-14)。

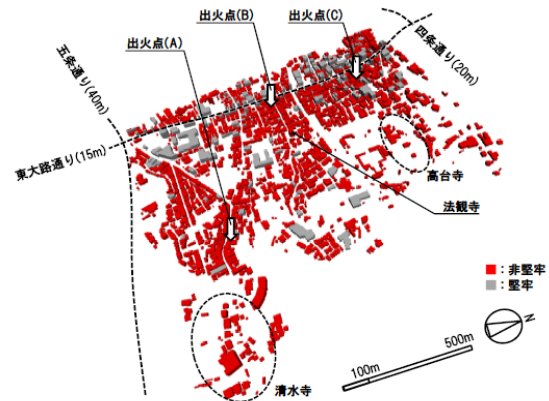


図-14 計算対象地域の建物条件と出火条件

表1 構造種別による熱物性の設定値

構造形式	非堅牢	堅牢
収納可燃物密度	30 (kg/m ²)	30 (kg/m ²)
固定可燃物密度	60 (kg/m ²)	0 (kg/m ²)
固定可燃物の初期露出表面積比	0.2	0
壁の厚み	18 (mm)	
壁の熱伝導率	1.51×10 ⁻³ (kW/mK)	
壁の輻射吸収率	1	
壁の対流熱伝達率	0.01 (kW/m ² K)	
壁の比重	2200 (kg/m ³)	
壁の比熱	0.9 (kJ/kgK)	
壁の燃え抜け時間	20 (min)	燃え抜けなし
壁の燃え抜け潜熱	5000 (kJ/kg)	燃え抜けなし
開口部材の損傷が始まる表面温度	373 (K)	
開口部材が完全に脱落する表面温度	573 (K)	

b) 放水条件

ここでは、配水システムが必ず機能する条件を確保するために、最悪のシナリオを想定するものとしてWSSによる延焼抑止効果や遅延効果は全く見込まないこととした。また、配水シミュレーションは定常状態の解析であるので、出火から該当地域が完全に焼失するまでの時間を30分間隔の時間ステップで区切り、各時間ステップ内では一定の放水が行われているものと仮定した。

WSSの稼働箇所(節点)は、延焼シミュレーションの結果に基づき、ある時間ステップから次の時間ステップの間で街路を挟んで延焼が拡大すると判断される区域で稼働するものと設定した。また、街路を越えて延焼が進行した区域と片側の家屋で焼け止まりが生じた区域においては、WSS装置は不要となることから取水を停止すると仮定した。

(2) 延焼シミュレーション結果と放水区域の設定

延焼シミュレーションは図-14に示す3つの出火点を想定して実施した。このうち出火点(A)は、延焼時間がもっとも長いため、WSSが放水を行っている総時間が最も長い条件であり、対象地域の端部から延焼が拡大するケースとなる。出火点(B)は、単位時間当たりの放水量が最大となるケースであり、また対象地域の中央部から延焼が拡大するケースである。

出火点(C)はこれらの中間的な延焼・放水パターンとなるため、出火点(A)と出火点(B)を対象に配水シミュレーションを行い、前章で設計した配水システムの性能検証を行うこととした。出火点(A)、(B)からの延焼過程と想定放水区域のある段階を図-15、図-16に例示する。これらの図に示すように、出火点から発生した火災が隣接建物へ次々に延焼を起し、燃焼領域を拡大していった様子が分かる。火災建物は出火点付近から順に燃え尽きるため、火災前線の近くには基本的に帯状の燃焼領域が形成される。最終的に出火点(A)では、16時間55分で1,864棟が焼失し、出火点(B)では13時間32分で1,863棟が焼失する結果となった。

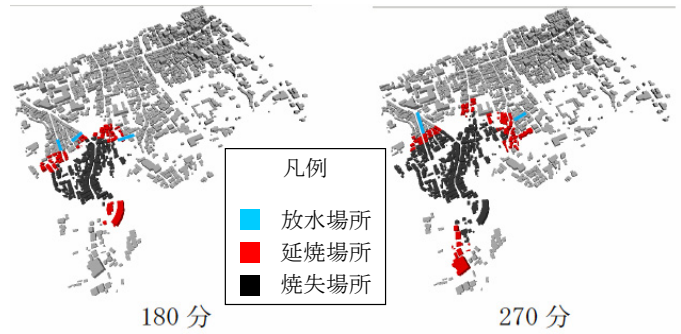


図-15 出火点(A)の延焼パターンとこれに応じた放水区域例

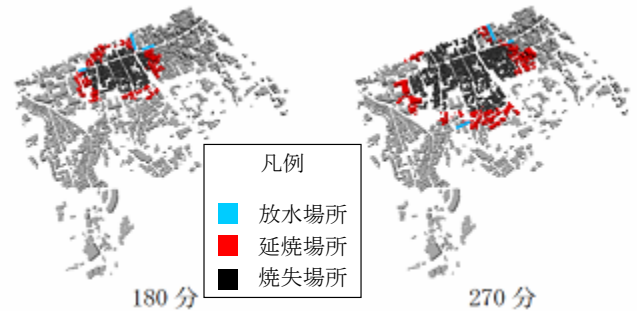


図-16 出火点(B)の延焼パターンとこれに応じた放水区域例

(3) 延焼シミュレーションに基づく初期設計システムの性能検証

初期設計では、3章で述べたように図-2のa~eの取水箇所を設定し、いずれから取水した場合でも、取水点での管内圧力水頭が25m以上となるように計画した結果、図-6、図-11に示す最適管路を得た。

本節では、図-15、図-16に例示した延焼シミュレーションに基づく放水過程において、WSSに十分な給水が可能かどうかを検証する。

図-17、図-18は清水寺水源の場合、図-19、図-20は高台寺水源の場合の延焼・放水過程と管内圧力水頭の関係を示している。図-19のように高台寺水源で出火点(A)の場合、延焼過程の変化に応じて管内圧力水頭が大きく変化している。これに対して、他のケースでは延焼過程の変化による管内圧力水頭の大きな変化は見られなかった。

いずれのケースでも、地盤高の高い取水点では管内圧力水頭が低くなる傾向にある。予備設計では、清水寺水源付近の急勾配の管路部を除いて、比較的平準化した管内圧力水頭分布となっていたが、延焼過程では当初設計した性能を維持できない管路区間が生じている。

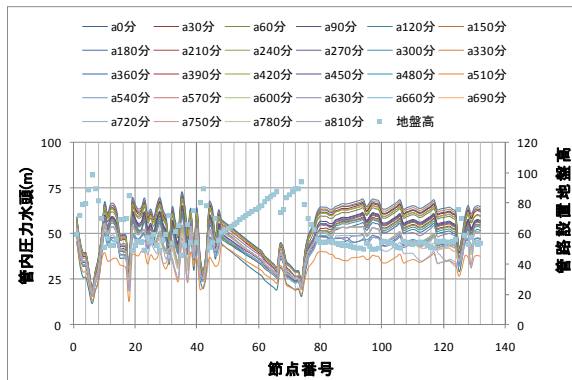


図-17 出火点 (A) ・清水寺貯水槽の管内水圧の変化

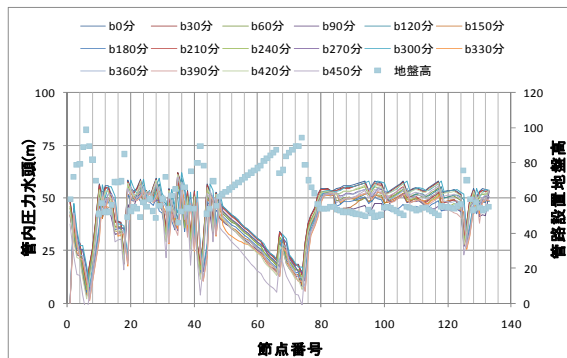


図-18 出火点 (B) ・清水寺貯水槽の管内水圧の変化

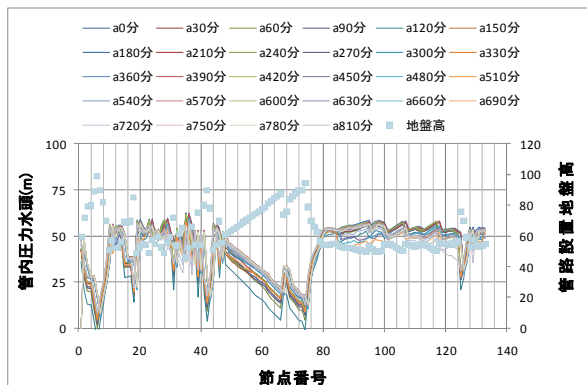


図-19 出火点 (A) ・高台寺貯水槽の管内水圧の変化

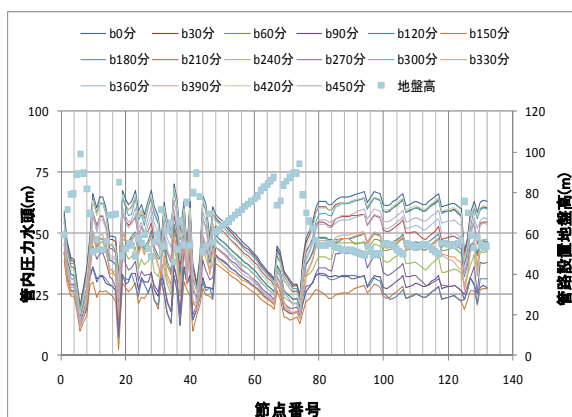


図-20 出火点 (B) ・高台寺貯水槽の管内水圧の変化

図-21は、出火点 (A) , 清水寺水源の場合で出火から30分際の管内圧力水頭の分布である。このように清水寺水源付近の急勾配で高所の地域に取水点が集中するとWSSを駆動させるための十分な圧力が得られていない。本論で提案する延焼シミュレーションを併用した配管設計により、上記のような結果から初期消火を重視した施設もしくは他の延焼防止施設などを準備すべき地域を明確にすることができる。

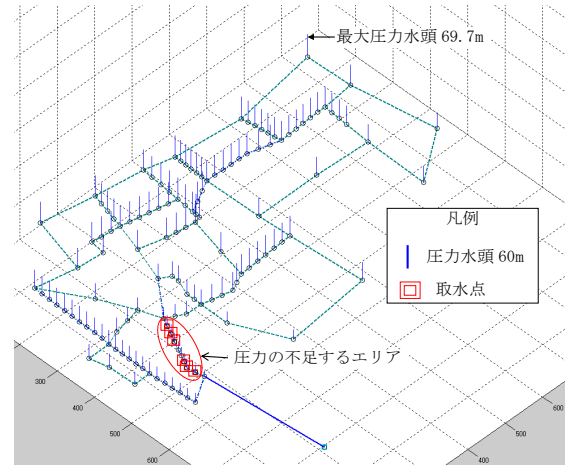


図-21 出火点 (A) ・清水寺貯水槽の30分後の水圧分布

図-22は、出火点 (A) , 高台寺水源の120分後の圧力分布であるが、水源から遠い高所付近に分散的に取水点が生じるため、清水寺付近の高所の管路内が負圧となっている。このことは、高低差が大きな地域での配水システムとして、管路網の中央付近にポンプ式水源を設けることの弱点であると考えられる。したがって、配水管網の送水は、管路端部の高所から行うべきと考えられる。このような情報を得られることも本論で提案している延焼シミュレーションを併用した設計プロセスの優位点である。

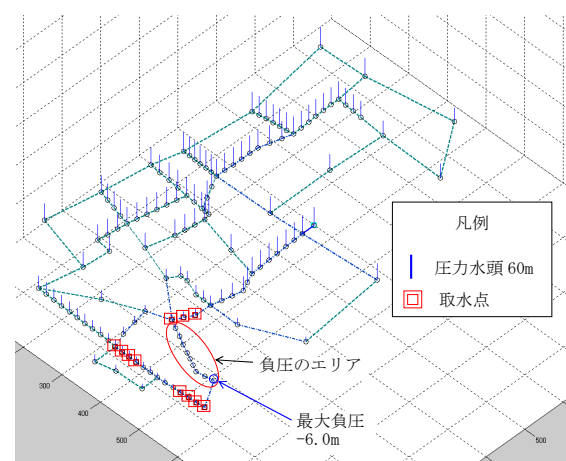


図-22 出火点 (A) ・高台寺貯水槽の120分後の水圧分布

5. まとめ

本研究では歴史都市などにおける地震時の同時多発火

災に伴う街区単位の延焼火災を抑止するため、街路に面した木造建物群に対し、延焼の範囲に応じて効率的に散水するシステムとして現在研究が進められているWSSについて、これを実際に稼働させるための貯水・配水施設の設計方法論を①重力加圧式による配水システム（清水寺貯水槽）、②ポンプ加圧式による配水システム（高台寺貯水槽）の2ケースについて導出した。さらに具体的なケーススタディとして京都市清水寺周辺地域を対象地区に取り上げ、京都市周辺の活断層群の中で最も被害が大きいと予想される花折断層による地震を想定し、それに伴う延焼火災の拡大を与条件として設計した配水施設の管網解析の結果に対し、その妥当性を検証した。

本研究により得られた結果を以下に要約する。

- ①本研究では、予備設計方法として第2章(2)に示したフロー図による設計手順を提案した。すなわち管径を順次選定する方法によることで、配管設計に関する専門的なノウハウが無くとも基本的なシステム設計が可能となり、短時間での全体システムの計画・設計に資する可能性が示された。
- ②重力加圧式の場合は、水源近くの流速の速い管路についてのみ口径をφ100mmからφ150mmに拡大することで、すべての箇所では負圧はなくなり、取水箇所の節点で設計条件である必要圧力水頭の25mを確保できた。このような重力加圧式を有する配管の設計において、水源付近の口径が及ぼす影響を、明らかにすることができた。
- ③一方ポンプ加圧式の場合は、重力加圧式と同様に、水源近くの流速の速い管路について口径をφ100mmからφ150mmに拡大するだけでは負圧になる箇所が残り、かつ取水点の設計条件である必要圧力水頭25m以上を満足することができず、管路の高低差や流れの方向、流速分布などから取水箇所への水流の主流と考えられる管路を選択してφ150mmに拡大しなければ満足できないことが明らかとなった。

今後、他地域における地域防災へ応用するにあたり、汎用性が期待できる。一方で、以下の課題も明らかとなった。

- ①延焼シミュレーションに基づく放水シナリオを想定したシステムの検証では、特に高所から取水を行う場合に、取水点でWSSを稼働させるための十分な水圧が確保されないケースが生じた。こうした地域を特定し、他の延焼抑止施設を配置する必要性が明らかとなった。
- ②ポンプ加圧式のように、管網の中心部に水源を設ける場合、高標高に配管が分散された箇所から取水する際に、管内が負圧となる現象が生じる恐れがある。したがって、高低差の大きな地域を対象にWSS配水システムを計画する場合には、高所からの重力加圧式を選択する必要があると考えられる。
- ③以上の項目を設計者に明確に示すことができる点は、延焼シミュレーションを併用した提案設計法の利点である。

今後は、本研究の結果をもとに、重力加圧式とポンプ加圧式を同時併用した場合の、配水システムの設計手順とその有効性について検証を進める所存である。

また、貯水槽の位置については、配管設計ほど自由度はなく他の要因、すなわち、地形・地質的条件、社会的条件などで決定することが極めて大きいものとする。本論文では現実のフィールドにおける設置された2箇所の貯水槽（上記の要因で決定）を対象に研究したが、今後の研究に貯水槽の位置（設置標高と配管ネットワークとの位置関係）について検討していく所存である。

参考文献

- 1)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,2007.3.
- 2)立命館大学文化遺産防災学「ことはじめ」篇出版委員会:文化遺産防災学「ことはじめ」篇,丸善株式会社,2008.9.
- 3)石田博志・砂原弘幸・石原慶大・吉葉裕毅雄・栗岡均・油野健志・増田秀昭・大宮喜文:「300角柱部材の耐火性能及び炭化層深さ」平成15年度日本火災学会研究発表会概要集,pp126-129,2003年5月.
- 4)「動力消防ポンプの技術上の規格を定める省令」別表(第十六条関係)(昭和六十一年十月十五日自治省令第二十四号)
- 5)(財)土木研究センター:土木系材料技術・技術審査証明報告書,「POLITEC PEパイプ」,2000.12.
- 6)西野智研・円谷信一・樋本圭佑・田中哮義:準定常的な計算法を用いた都市火災延焼性状の簡易予測モデルの開発,日本建築学会環境系論文集, No. 647, pp. 9-18, 2010. 1.
- 7)京都市防災会議:京都市第3次地震被害想定報告集,京都市消防局防災対策室防災課,2003.10.

(原稿受付 2012.1.6)

(登載決定 2012.7.9)