

延焼火災から伝統的な木造密集市街地を守る

街路壁面散水設備の開発

～実大模型実験を通じた延焼抑止効果の評価～

Experimental Evaluation of Water Shield System (WSS) which sprinkles limited water to façade of wooden narrow street for controlling radiant heat from spread fire and protecting historic districts

大窪健之¹・中藪知孝²

Takeyuki OKUBO, Tomotaka NAKAYABU

¹立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

²株式会社 建設技術研究所 大阪本社 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1-6-7 北浜MIDビル)

CTI Engineering Co., Ltd.

In high densely areas of wooden cultural city, it must be difficult to control spread as large-scale fire after earthquake etc. Water Shield System is a kind of firefighting equipment that sprays water to the surface of wooden walls facing toward spread, reduce the temperature from radiant heat and decrease the speed of fire spreading across narrow streets in traditional high densely areas. This study aims to develop an actual water spray nozzle which can sprinkle for a wide range of area and to evaluate the effectiveness for fire spread control in real scale experiment using model of traditional wooden townhouses.

Keywords : WSS(Water Shield System), spread fire control, water spray nozzle, real scale experiment

1. はじめに

(1) 研究の背景

阪神淡路大震災においては、地震直後に発生する延焼火災によって伝統的なまちなみを含む多くの建物が被害を受けた。今後、日本では大規模な地震が発生することが予想され、特に京都のような歴史的な木造の建造物が密集した町においては、延焼火災によって多数の人命と共に、無二の遺産である文化的に価値の高い建造物をも失う可能性がある。そのような歴史的なまちなみの特徴として、街路が狭く普段でも緊急車両の進入困難である上に、地震時には建物倒壊による道路閉塞で地区が孤立し、外部からの消火活動が不能となる危険性がある。しかし一方で伝統的建造物群保存地区などでは、建物の不燃化や街路の拡幅といった従来の火災対策は困難であり、文化的なまちなみを破壊することなく、実施できる延焼対策が急務である。

これまで大窪ら¹⁾による既往研究では、一定量の水を木材表面に散水することで一時的に耐火性能を高められることが実験で確認されており、これを利用した歴史的な木造密集市街地の延焼抑止のシステムとして Water Shield System (以下 WSS と略称) が考案されている(図 1, 図 2 参照)。重要な既往研究として、堀内らにより散水方式による延焼防止実験がなされている²⁾が、建物の足下から軒裏に吹き上げる形式で壁面全体をカバーするものではない。本研究では、道路端に設置した散水ノズルから火災とは対岸の街路壁面全体に散水することにより、木材表面の素材を改変することなく一時的に耐火壁に相当する性能を付与し、火

災発生街区から対岸への延焼を抑止するシステムである。歴史的まちなみに多い狭小道路や、消防隊が活動できない熱環境下であっても稼働できるため、限られた水で街区をまたぐ延焼を抑止する効果が期待できる。

現在までのところ、既往研究³⁾ではWSSの実用化を目指し、街路壁面散水設備に適した散水ノズルの検討がなされてきた。既存のノズルやそれらを組み合わせたノズルでの散水実験が行われたものの、WSSの散水ノズルに求められる延焼抑止に必要な壁面散水量が、広範囲に対して効率的に得られるノズルはまだないことが明らかにされている。特に、建物要素の中で火災に対し脆弱である軒下等、凹凸のある外壁面に対する散水の検討がされておらず、実大に近い環境で延焼抑止効果を立証することが課題として挙げられている。



図1 WSSの起動時のイメージ図

(2) 研究の目的

本研究では、WSSを構成する街路壁面散水設備の中心的な要素となる、専用の散水ノズルの開発を行う。具体的には以下の2点に取り組む。

- ① WSSの散水設備として求められる性能を満たすノズルの開発
2章で整理する散水性能を満たすような専用ノズルの試作を、壁面散水量の計測を通して行う。
- ② 実大模型実験による開発したノズルの延焼抑止効果の評価
試作したノズルを使用して、実大規模の模型に対して延焼環境下を想定した加熱を行いつつ散水する実験を行い、各外壁面の温度上昇の測定結果をもとに延焼抑止効果の評価を行う。

2. WSS専用散水ノズルの開発

(1) WSSに適用可能な散水ノズルの仕様設定

これまで大窪ら³⁾によって、WSSのノズル開発に向けた必要散水量の検討、散水方式の検討、水損の影響検討や既製ノズルを組み合わせた散水ノズルの仕様検討がされており、これらの結果を表1にまとめた。延焼抑止に必要な散水量は安全率を見込んで $2L/m^2 \cdot \text{分}$ とされていることから、散水ノズルの壁面に対する散水量(以下、必要壁面散水量)は $2L/m^2 \cdot \text{分}$ 以上を目標とする。また、散水方式は固定式とする。水損に関しては散水荷重による破壊の可能性は少ないことが示されているため本研究では考慮しない。散水ノズルの仕様に関しては、歴史的なまちなみに配備することを想定するため、景観面等に配慮し省スペースでの設置を可能にするため、一つのノズルに複数の噴出口を設ける多孔形状のノズルを製作することとした。

表1 既往研究による散水ノズルの仕様検討結果

仕様検討項目	検討結果
必要散水量の検討	必要散水量として安全率を見込んで $2L/m^2 \cdot \text{分}$ 、無散水時間5秒に対して散水時間を少なくとも3秒は確保する必要があると示された。(今回は固定式とするため無散水時間は考慮しない)
散水方式の検討	自動回転による散水方式は、無散水時間を短くする上で効率が悪化するため、固定式で検討する必要があると示された。
水損の影響検討	伝統木造建具に対する、散水荷重による破壊の可能性は少ないことが示されている。
散水ノズルの仕様検討	既製ノズルのタイプ別に空間的な散水分布特性を測定し、ノズルの組み合わせ方針について検討した。到達距離の長さでは可変噴霧ノズルの棒状放水が、 $2L/m^2 \cdot \text{分}$ 以上の散水量を満たす範囲の広さでは組み合わせノズルが相対的により有利な形式であるが、既製ノズルの組み合わせではコンパクト化に限界があることが明らかとなった。

将来的に、妙心寺境内や京都市清水地域等の伝統的な木造密集市街地への配置計画の検討を目指して、これらの地域に多く現存する二階建ての町家が連続する町並みを対象として想定し、標準的な木造壁面の高さを考慮して散水ノズルの散水高さを6mとする。また公称幅員で4m程度の狭小な道路に対応できるよう、道路端に設置するノズルの位置と対岸の散水対象である外壁面を結ぶ水平距離(以下、ノズルの離れ距離)を5mとする。仮にノズルを道路中央に設置すれば、2車線10m程度の幅員の道路にも対応が可能となる。次に散水幅に関しては、水平方向の噴射角度を広く設定し過ぎると、端の方でノズルから壁面までの到達距離が遠くなるため壁面まで到達しない無駄な水量が増える。このため今回の開発では、広範囲に散水が行える一つの目安としてノズルの水平散水角度を90°とした。これにより、ノズルの離れ距離を5mに設定した場合の散水幅は10mとなる。ノズルの設置間隔は、隣り合う散水範囲が重複しないよう10mとする。(図2参照) 設置する高さについては、下方から軒裏への散水も効率的に行えるように設置レベルを0mとする。

放水流量については、散水幅を10m、散水高さを6mと設定したため対象壁面の総面積は60㎡となり、必要壁面散水量が2L/㎡・分以上であることから、放水流量は最低でも120L/分必要となる。ただし放水した水がすべて壁面に到達する訳では無く無駄水が発生することを考慮して、念のため最大で500L/分の放水流量と設定する。なお、放水流量に関しては散水ノズルの製作過程で十分な壁面散水量が得られることが確認できれば、それに応じた減量を行う。放水圧力については、歴史的な木造密集市街地の代表例として想定した京都市清水地域では災害時用の防火水槽に3000tの水量が貯水されており、重力による加圧で散水を行うことが想定されている。そのため、防火水槽と高低差が小さい位置でも散水が行えるように低い放水圧力で稼働できる必要があることから、通常の防火設備の半分程度を目安に放水圧力を0.25Mpaと設定する。

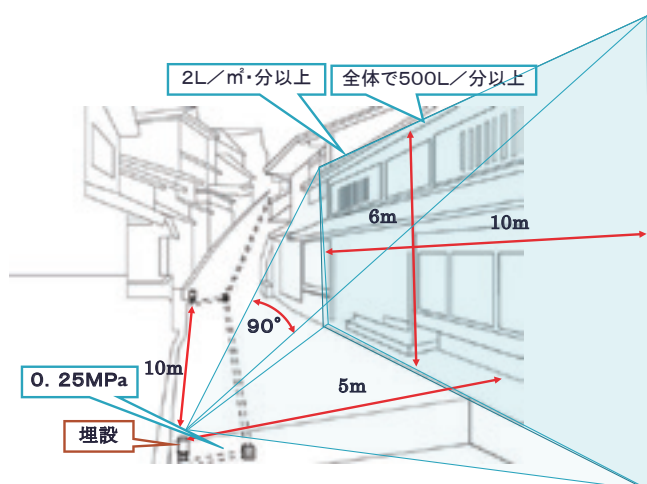


図2 WSSの設置イメージ

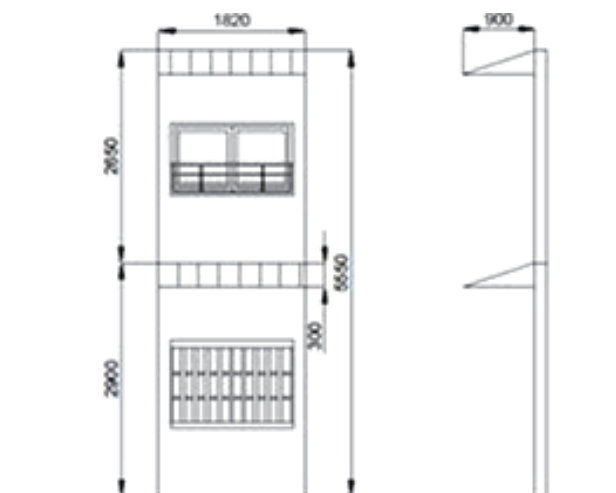


図3 実大サイズの木造町家型模型

(2) 実大模型への散水検討

WSSを実際の市街地に配備する際の状況を再現するため、実大サイズの木造外壁面への散水検討を行う。特に伝統的な町家に多くみられる構造である、軒裏や木柵格子などの凹凸のある部分への散水検討が必要であるため、散水対象として使用する実大模型は総二階建ての町家を模したものである(図3参照)。また使用するノズルは(1)で設定した仕様を満たした散水ノズルを試作した。

しかしながら実際に実大模型へ散水する予備実験を行ったところ、目視により軒裏への散水が不十分であることが確認できた。延焼火災時に脆弱となる軒裏に対して十分に散水が行えていない課題が明らかとなったため、WSSに適した散水ノズルの仕様として、軒のある2階建ての建築物を想定して2m~3m、5m~6mの高さに対して、他の部位よりも多くの水量を散水できるノズルを制作した。(図4参照)

以上の散水ノズルの開発に向けた、散水ノズルの仕様設定を表2に整理した。

(3) 壁面散水量の測定

表2の仕様を満たした散水ノズルを製作し、壁面散水量の計測を行った。

表2 WSSに適した散水ノズルの仕様設定

ノズルの仕様条件	項目	内容
デザイン	形状	多孔形状
設置条件	ノズルの離れ距離	5m(道路中央に設置することで10mにも対応)
	散水幅	10m
	散水高さ	6m(総二階建ての町家を想定)
	設置間隔	10m
	設置レベル	0m(道路端等に埋設)
散水性能条件	必要壁面散水量	2L/m ² ・分以上(軒裏重点散水)
	放水流量	500L/分以下(確認しつつ減量予定)
	放水圧力	0.25MPa

a) 試験方法

壁面散水量の計測は、図5のように1m×1mの集水パネルを垂直方向に7つ並べ、各パネルに当たった水が樋をつたって別々に集水できる設備を製作し計測した。試験条件はノズルの設置条件を満たすように、設置レベルは地上0m、集水パネルとのノズルの離れ距離は5m、放水圧力0.25MPaとした。計測時間は1分とする。また、一つのノズルで散水幅10mを想定していることから、隣り合うノズル間の散水状況についても把握するために、2つのノズルを使用しそれぞれのノズルの距離間隔を10mに固定した。ノズルの放水量は予備試験の結果から一つにつき約460L/分の放水量に減量した。計測時は集水パネルの位置を固定し、二つの散水ノズル位置を1mずつ左右に並行移動させることで、散水面積全体に対する散水量分布の計測を行った。

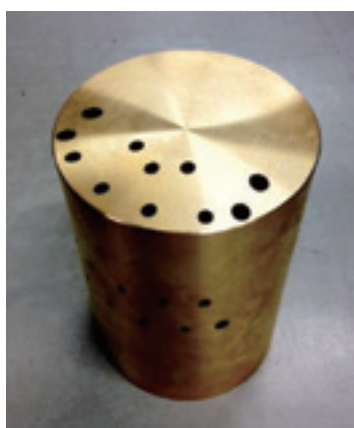


図4 開発した専用ノズル

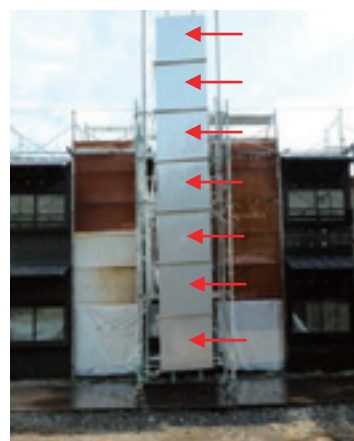


図5 散水量計測用の7枚の集水パネル (矢印)

表3 壁面散水量の計測結果 (単位: L/m²・分)

	左4-5m	左3-4m	左2-3m	左1-2m	左0-1m	右0-1m	右1-2m	右2-3m	右3-4m	右4-5m	平均
7-8m	0.07	0.02	0.08	0.02	0.05	0.06	0.27	0.11	0.69	0.25	0.16
6-7m	3.89	0.69	2.37	3.88	2.73	2.86	3.02	3.29	3.52	2.24	2.85
5-6m	10.2	2.73	3.48	3.74	6.31	4.72	3.25	3.62	4	4.77	4.68
4-5m	4.19	3.66	2.7	2.08	4.24	3.53	2.27	2.62	3.21	6.12	3.46
3-4m	6.47	5.85	3.84	5.04	5.01	6.59	4.77	3.93	5.37	10.29	5.72
2-3m	4.25	6.45	3.57	2.34	6.38	4.97	3.95	4.45	5.93	10.12	5.24
1-2m	1.74	3.88	1.35	0.9	2.1	1.77	1.81	2.24	3.79	6.23	2.58

b) 結果

壁面散水量の計測結果を表3に整理した。散水量が20L/m²・分以上得られている箇所が、高さ2m-6mにみられ

た。また、平均値では2-4m, 5-6mの高さに対して他の高さより多くの壁面散水量が得られたことから、軒裏への重点的な散水が行える可能性がある。なお6m以上の高さについては、現実には不燃となる瓦葺きの屋根上への散水となるため、必要壁面散水量に達しない箇所が1つあるが問題は無いものと判断した。また1-2mまでの低い部分に関しても規定値より低い散水量が見られるが、実際には上方へと散水された水の多くが表面をたれ落ちてくることから、実質的な散水量としては問題無いと判断した。

以上の結果を確認し、表3の壁面散水量が得られたノズルをWSSの実大模型実験に用いることとした。

3. 実火災環境を再現するための加熱機器の検討

(1) 加熱機器の概要

2章で開発した散水ノズルの延焼抑止効果を評価するために、実大模型に対して延焼火災環境を再現した加熱を行いながら、散水を行う実大模型実験を行う。そのために、周辺からの延焼により加熱を受ける際と同等程度の加熱環境を再現できる加熱機器の検討が必要となる。今回の実験では加熱機器として、散水による漏電等の危険性を考慮して、電熱器等では無くプロパンガスバーナーを用いることとした。

(2) 加熱機器の検討のための実験

a) 試験概要

加熱機器と試験体との間の水平距離と、試験体表面の受熱温度との関係を計測することで、迫る延焼に相当するような加熱環境が、ガスバーナーを用いた場合にどの距離で再現されるかを確認する。

実際に延焼火災時に満たされるべき延焼抑止性能については標準的な基準となる指標が無いため、本研究では「散水により木造外壁面に対して一時的に耐火性能を持たせること」を目標として掲げることとした。このため延焼抑止性能を評価するための加熱環境として、建築部材の性能検証試験で使用される外力基準の一つである防耐火性能試験 (IS0834) ⁴⁾ に必要な炉内温度設定で用いられる「30分経過後に842℃を超える」という条件を援用した。

b) 試験方法

加熱機器としてプロパン用ガスバーナーを用いる。温度計測のためにK型熱電対を使用する。

加熱機器と熱電対と間の水平距離と5cmずつ近接させて、そのたび毎に30分間加熱するサイクルを繰り返しつつ、熱電対の温度を継続的に計測する。

c) 測定方法

熱電対の温度について、ガスバーナー着火後から最終平衡温度になるまでをデータロガーにて記録する。

d) 判定方法

水平距離を変えながら、ガスバーナーから発せられる炎の温度を直接熱電対で計測し、その温度(以下「加熱温度」)が標準加熱曲線に則り 30分経過時に約850℃を超える値になっていれば、防耐火性能試験と同じ条件で加熱が行えていると考えられる。これを満たすような試験体と加熱機器の間の水平距離を確認する。

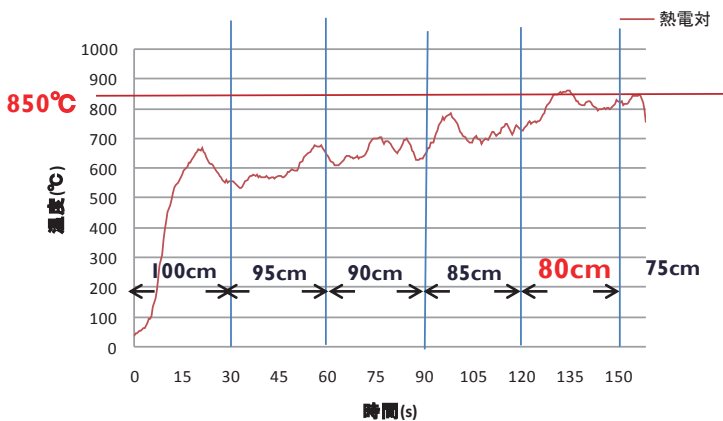


図6 ガスバーナーの離れ距離と受熱温度の推移



図7 実験のため製作した加熱機器

(3) 結果

実験の結果(図6)からは、標準加熱曲線を満たす温度850℃は、熱電対と加熱機器の水平距離が75~80cm

の間で満たされることが分かった。安全側に考えれば75cmが加熱条件を満たす距離として妥当であるが、実験の過程でこの距離まで接近すると風向きによりガスの炎が直接に試験体に到達してISO834の条件を逸脱する恐れがあったため、実験結果を踏まえつつも直火にならない距離を考慮して、加熱機器と試験体との水平距離を80cmに設定することとした。このガスバーナーを用いて極力延焼による面的な加熱環境を再現するため、9本のガスバーナーを35cmずつ離して田の字型に配置して固定した加熱機器（70cm四方）を製作した。

（図7）なお35cmの離れ距離は、相互に隣り合う炎が直接干渉しない距離を予備実験で確認して設定した。

4. 実大模型実験による散水ノズルの延焼抑止効果の評価

(1) 実験概要

これまで開発してきた散水ノズルと加熱機器を使用して、実環境における実際の延焼抑止効果の評価するための実大模型実験を行う。

幅のみ約1.8mで高さ方向は実大サイズを再現した木造の町家型模型に対して、延焼火災環境下を想定した加熱を行いながら、同時に開発したノズルからの散水を行うことで、実大サイズでの延焼抑止効果を確認する。効果の評価するため、目視確認とともに模型の外壁表面に熱電対を設置し、時間推移による各部の温度変化を記録する。



図8 実験装置の全体

(2) 実験設備の設定

a) 実大模型

杉材（一般的な1.2mm厚とし、伝統木造建築で多く用いられているキシラデコールを塗布して撥水処理済み）を用いて幅約1.8m×高さ約6mの実大模型を作製する。伝統的な木造建造物の特徴を持たせる必要から、軒や窓枠格子、外壁の板張り（下見板張り）等、できるだけ町家の外壁面を模した実大模型とする。また、火災に対し特に脆弱とされる軒下の防火対策の有効性を確認するため、垂木間の野地板に下から耐火ボード（6mmケイ酸カルシウム板）を貼ることで、外観に配慮しつつ軒下防火対策を施した実大模型も用意する。

b) 加熱機器

3章で開発したガスバーナー9本をセットにして、ユニット化したものを用いる。9本の加熱条件を揃えるためにガスの供給圧力は0.35MPaですべて一定に維持する。なおヘッド部は円筒状のカバーで覆われているためガスバーナーに水がかかっても燃焼そのものに影響は無い。加熱機器と試験体の水平距離は3章の検討結果より80cmで設定する。なお、格子等の突起物については一切考慮せずに外壁面からの距離を80cmに固定する。

加熱する場所の高さ設定のために、脆弱と考えられる軒下に最も近く、かつ軒下に直接炎が接しない高さを予備実験によって確かめた。この結果、ガスの炎が上方へ反れる傾向があるために軒下からは少なくとも70cmの下方への離れ距離が必要であることが明らかとなった。

以上を踏まえ、図9で示すように上段、中段、下段の計3カ所の高さを加熱する設定とした。即ち①上段：2階軒下から70cm下方に加熱機器の上端高さを設定して主に2階軒下の危険な状況を再現、②中段：上段で加熱した位置からさらに70cm下方に加熱機器の上端位置を設定して突起物（手摺格子）も含めて危険な状況を再現、③下段：1階軒下から70cm下方に加熱機器の上端高さを設定して主に1階軒下の危険な状況を再現。

c) 散水ノズル

2章で開発した散水ノズルを用いて散水を行う。設置条件はノズルの仕様に沿って、設置レベルは地上0m、ノズル離れ距離5m、放水圧力0.25MPa、放水量460ℓ/分とする。一つのノズルで散水幅10mまでを想定していることから、2基のノズルを使用して設置間隔を10mとし、その中央の位置に実大模型が位置するように配置する。ここで2基の散水ノズルの中央に評価用の模型を設置する理由は、ガスバーナーユニットによりノズルからの壁面散水が阻害される影響を無くすと同時に、各ノズルからの散水距離が最も遠くなるため散水が相対的に不安定になることが予測され、最も条件の悪い条件下での評価が得られると考えたためである。

d) 熱電対

延焼抑止効果の評価する指標として、実大模型の木材表面における温度上昇の様子を確認するため、実大模型の裏側から表面に向けて小穴を開けて配線を通し、熱電対を木材表面に接着させるように設置する。

熱電対の配置は、加熱機器のバーナー配置に対応させて、9本一組の35cm間隔で70cm四方の田の字型を基本

セットとする。図中上列の測点（CH）3つを黄色、中列の3つを緑、下列の3つを青で表示する。

なお実大模型に対する加熱機器の高さについて、b)で検討したように上段、中段、下段に分けて設定するため、熱電対もこれに応じて設置する必要がある。即ち①上段の場合：散水条件の悪い軒下を重点的に測定するため9本の熱電対セットの上端部が2階軒下にくるように配置、②中段の場合：直接的な輻射熱を計測するため9本の熱電対セットを各バーナーの正面にくるように配置、③下段の場合：散水条件の悪い軒下を重点的に測定するため9本の熱電対セットの上端部が1階軒下にくるように配置（耐火ボード設置の場合も同位置に固定するためボードの厚みに隠れる位置となる）。（図9）

(3) 実験方法

計測時間は5分以上最大10分とし、熱電対で計測している木材表面がほぼ平衡温度となった際に実験終了とする。なお、5分以内に周囲の建築物に影響を及ぼす恐れのある着火が見られた場合も実験中止とする。

実験は、①試験箇所へ熱電対を設置、②放水圧力と放水量を調節、③放水を一度停止、④ガスバーナーに着火、⑤放水を再開、⑥ガスバーナーを設置しているやぐらを設定位置まで移動、⑦そのまま加熱し着火もしくは温度が最終平衡状態にいたるまで測定、という手順で行う。

試験内容は、散水の有無による温度変化を比較する確認試験と、散水下での加熱位置による各部の温度変化を確認する試験、軒下の防火対策(耐火ボード)の有無による各部の温度変化を比較する試験、の3つのケースで行う。試験内容は表4に整理した。

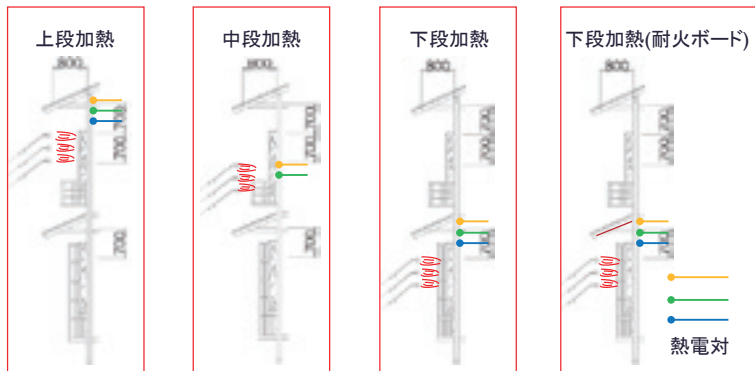


表4 試験内容の一覧

試験	加熱位置	耐火ボードの有無	加熱機器と試験体の距離	散水の有無
1	下段	無	800mm	有
2	下段	無	800mm	無
3	下段	有	800mm	有
4	上段	無	800mm	有
5	中段	—	800mm	有

図9 上・中・下段の加熱位置と加熱機器および熱電対の配置（高さ断面図）

(4) 結果

1～5の各試験の温度変化をもとに結果を述べる。なお、着火リスクを考える判定材料として、木材の着火限界温度とされる260℃⁴⁾を一つの目安とした。

散水の有無による温度変化の比較に関しては、散水の無い試験2では明らかに木造建物の着火限界温度である260℃を超える測点があり、目視でも1分ほどで火炎の発生が確認できた一方で、散水のある試験1では温度の上昇が抑制されて、揺らぎながらも着火に至らないことが明らかとなった。（図10）

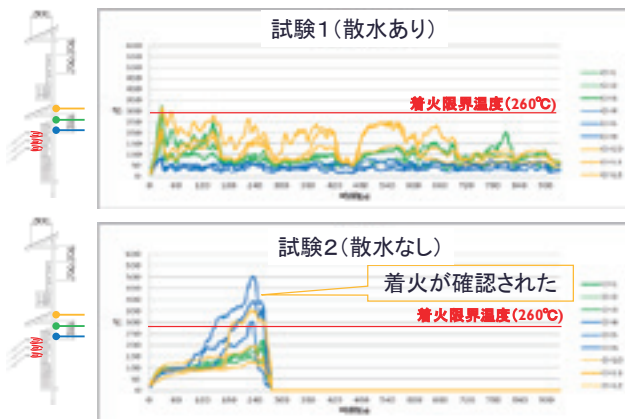


図10 散水の有無による表面温度の比較

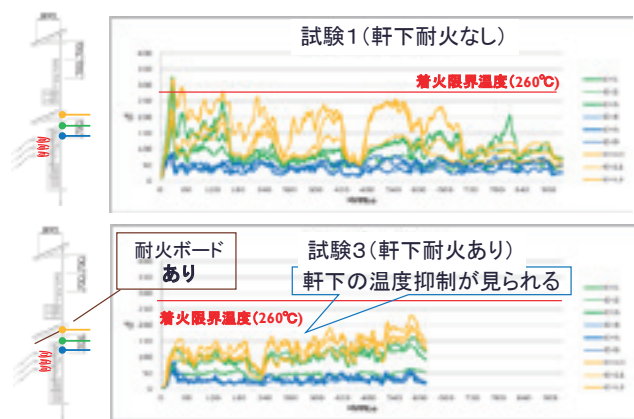


図11 散水下での軒下耐火の有無による比較

次に、軒下の防火対策(耐火ボード)の有無による温度変化を比較した。(図11)

試験1と試験3の結果を比較すると、軒裏の測点である上列(黄色)の温度に違いが見られる。軒裏に防火対策の無い試験1では軒裏の測点温度が上下しているのに対し、防火対策のある試験3では軒裏の測点が他よりも温度が高いものの、試験1より低い値で安定している。このことから、軒裏の防火対策は温度上昇を抑え、WSSの延焼抑止効果をさらに高める効果があることが明らかとなった。



図12 散水下での加熱位置の違いによる比較

最後に、加熱位置による各部の温度変化に関して比較する。(図12:下段については図10,11の試験1参照)

加熱位置が中段の場合(試験5)では軒下などの高温になりやすい部分が存在しないためか、散水中はほぼ100°Cを超えない値で安定している。なお試験5では下列(青色)の測点が記録されていないが、模型裏側の支持足場の位置と重なってしまい、測点の設置が出来なかったためである。一方上段(試験4)と下段(試験1)に関しては、一部軒裏(黄色)が他の測点より高温になりやすく、温度が260°Cを超えている測点が見られた。しかし、260°Cを超えた測点でも周囲には散水が行われているため、着火まで至らないか、もしくは着火しても10秒程度で散水により消されている状況が確認された。

5. まとめと今後の課題

本研究は、木造密集市街地で街路をまたぐ延焼を抑止するために考案された街路壁面散水設備(WSS)の開発に資するため、既存のノズルよりも広範囲にかつ特に脆弱な軒下に対しても重点的に散水をし、延焼抑止に必要な水量を確保できるノズルの開発を行った。またそのノズルを用いて、延焼火災環境を想定して加熱を行いながら散水を行う実大模型実験を実施し、木造外壁面の温度変化を計測することによりその有効性評価を行った。これにより、WSSには実大実験においても延焼抑止効果があることを実証することができた。

あわせてWSSは屋外環境に設置されることから、強風の影響等を受けて必要水量が一定時間維持できない危険性も考えられるため、脆弱な軒裏に対しては耐火ボードなどの防火対策も有効であることも示された。特に景観に配慮した軒裏防火仕様については、今後鈴木らの研究⁵⁾も参考する必要がある。

今後の課題としては、風向や風速の変化に対しても、必要な性能を確保できるようなノズルの開発や、内部構造を改良して必要放水量の減量を図る等、さらに効率的なノズルの開発を進めることが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、21世紀COEプログラム「歴史都市を災害から守る「文化遺産防災学」推進拠点」、および立命館大学拠点形成支援プログラムにより実施した成果です。特に実大実験においては、株式会社横井製作所、一般社団法人全国住宅火災防止協会の協力により実施することができました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1)京都市消防局、京都大学地球環境学堂(研究代表:大窪健之)「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.1-7, 2007
- 2)堀内三郎、室崎益輝、十倉毅、吉田正友、岡村義徳:散水方式による伝統的木造住宅の延焼防止に関する実験的研究,日本火災学会論文集, Vol. 47. No. 1・2, pp. 21-32, 1997
- 3)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—,歴史都市防災シンポジウム'11論文集, p. 117-124, 2011
- 4)防耐火性能試験・評価業務方法書,一般財団法人建材試験センター,2012年4月
- 5)鈴木あさ美、安井昇、長谷見雄二、木村忠紀、田村佳英、門岡直也:伝統町家の保存再生に適した軒裏防火仕様の開発,日本建築学会技術報告集,第18巻第39号, pp. 595-600, 2012