

歴史地区を延焼火災から守る 低負荷・高効率の街路散水ノズル開発

立命館大学 教授 大窪健之

概要：本研究では、木造密集市街地の延焼火災を抑止する防火設備の一つとして、街路壁面散水設備 (Water Shield System : 以下 WSS と略称) を提案する。この原理は、伝統的な木造外壁面に対して街路対岸から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、即時的に耐火壁に相当する性能を付与しようとするものである。伝統的な木造地域に多い狭小道路や、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、限られた水で伝統的な町並みでの街区をまたぐ延焼を抑止する効果を期待できる。本研究では、これまで実施してきた延焼抑止効果と散水量の関係を明らかにする実験、固定式、自動旋回方式を含めた散水方式の検討を踏まえ、低負荷で高効率の散水ノズルの仕様検討を試みた。この結果水損の影響検討については、構造上弱い部位となる伝統木造建具に対する実験から、散水荷重による破壊の可能性は少ないことが示された。また、散水ノズルの仕様検討については、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基礎データを得ることができた。

キーワード：木造歴史都市、延焼火災対策、防火設備、街路壁面散水設備

1. はじめに

(1) 研究の背景

日本列島は環太平洋造山帯に位置しており、その成立から地震は不可避な災害となっている。現在、我が国は地震の活動期に入ったともいわれており、近年では阪神大震災や東日本大震災に見るように、地震直後に発生する地震火災によりさらに多くの被害を受けている。地震火災が、木造建造物の密集する伝統的地域において発生すれば、その被害は甚大なものとなり、多数の人命と共に、無二の遺産である文化的価値の高い建造物をも滅失してしまう可能性が高い。

本研究では、木造密集市街地の延焼火災を抑止する防火設備の一つとして、街路壁面散水設備 (Water Shield System : 以下 WSS と略称) を提案する。

この原理は、伝統的な木造外壁面に対して街路対岸から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、即時的に耐火壁に相当する性能を付与しようとするものである。

伝統的な木造地域に多い狭小道路や、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、限られた水で伝統的な町並みでの街区をまたぐ延焼を抑止する効果を期待できる。



図1 街路壁面散水設備のイメージ図

(2) 研究の目的

当該システムの開発に資するため、研究代表者らはこれまで、木材表面に散水することによる延焼抑止効果と散水量の関係を実験により確かめ、効率的に散水するための自動巡回方式を含めた散水方式の検討を行ってきた。

本研究では以上の成果を踏まえ、低負荷で高効率の散水ノズルの仕様検討を行う。これによりノズル開発に向けた仕様設定の基本的指針の導出を目指す。

具体的には以下2点の課題に取り組む。

① 散水荷重の影響検討

散水による木造建物群への水損（散水荷重による破壊）の影響を検証するため、散水圧の上限を把握する。

② 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把握し、低負荷で高効率のノズル試作へ向けた、組み合わせによる仕様の検討を試みる。

(3) これまでの研究成果

始めに、木材表面への散水による延焼抑止効果を検証し、有効な必要散水量を把握するための実験を行った。**その結果**、一般的な伝統木造外装材を輻射熱による延焼から守るためには、必要散水量としては安全率を見込んで $2L/m^2 \cdot \text{分}^1$ 、無散水時間 5 秒に対して散水時間を 3 秒確保することが必要²⁾ であることが明らかとなった。

次に、この効果を応用した防火システムの実用化を目指し、より広範囲への効率的な散水が期待できる自動巡回式の散水設備について、既製設備の活用可能性の検討を行った。この結果、目標設定値を目指して無散水時間を短くするべく巡回速度を速くすると、散水パターンが全体的に縮小し、散水が到達する高さの低下や垂直壁面における総散水量の減少が生じるため、結果として有効散水量を得るためには消費水量的に非効率となること。

散水設備から散水対象までの距離が短くなる場合（振幅中央部）には主流が拡散せずに、壁面への散水範囲が狭くなること、等の特性が明らかとなった³⁾。このため開発する散水設備の仕様については、自動巡回式とはせずに固定式とし、複数のノズルを組み合わせる等により広範囲への効率的な散水を目指すこととなった。なお、散水ノズルの主流部では距離 5m で最大 $9.0\text{kgf}/0.1\text{m}^2$ の散水荷重を記録したことから、散水荷重による伝統木造建築物への影響を把握する必要性も明らかとなった。

2. 散水荷重による伝統建築物への影響検討

(1) 実験概要

先の実験で伝統的木造建築物に対する散水荷重が課題となったことから、前面道路側を構成する外壁面のうち、最も強度の弱い部位の一つと考えられる木製の建具まわりに注目し、同じ棒状ノズルを使用して建具の破壊時の散水圧と、その散水荷重の測定を行った。

(2) 建具の選定

一般的な京町家を想定し、実際に使用されていた古建具を確保して建具枠を制作した。現存する京町家の多くが明治後期から昭和初期にかけて建築されていることに鑑み、①主に商店などの玄関に用いられる板厚約 4 mm のガラス一枚戸、②商店以外の外観を構成している板厚約 2 mm のガラス格子戸、③雨戸を閉めきった場合の外観を構成している板戸の 3 種類に加え、④それらの外側に配置される例の多い木製格子（開口率約 50%）、との組み合わせについても再現した。

(3) 実験方法

散水設備を水平に固定して 10m の距離に建具枠に入れた建具を配置し、徐々に散水圧を高めて破壊された際の散水圧を測定し、併せてその際の散水荷重を測定した。実験ケースとしては、強度が弱いと考えられる順に、

①ガラス一枚戸、②ガラス格子戸、③ガラス格子戸+木製格子、④板戸の順に検証した。



図2：建具まわりに対する散水実験

(4) 実験結果

上記ケースの内、④については実験設備の上限となる1.0MPa（測定散水荷重=40.4kgf/0.1㎡）でも破壊されなかったが、①についても予想に反して破壊に至らなかった。これはガラス一枚戸が、町家を商店等として改修利用するようになった比較的近年に導入されはじめた建具であり、ガラス自体には現代のフロートガラスが用いられていたためと考えられる。一方②については、フロートガラスが開発される以前のガラスが利用されており、0.4MPa（測定散水荷重=15.0kgf/0.1㎡）で破壊に至った。次いでこれの前に開口率約50%の木製格子を配置して③の計測を行った結果、0.7MPa（測定散水荷重=28.3kgf/0.1㎡）で破壊に至った。

(5) 成果とまとめ

検証の結果、最も弱いケースとなったガラス格子戸であっても、既往研究で計測した最大値9.0kgf/0.1㎡を超える15.0kgf/0.1㎡まで耐えられることが明らかとなった。これにより、延焼抑止効果が期待できるレベルの散水環境下でも、建築物側が破壊される可能性は十分に低く、低負荷のシステムと言えることが示された。また木製格子はその開口率に応じて、建具まわりの強度向上にも貢献することが明らかとなった。

3. 散水量測定実験に基づく効率的な散水ノズル仕様の検討

(1) 実験概要

次に効率的な散水ノズルの仕様を検討するため、代表的な2種類(棒状および扇形)の既製ノズルを用いて、壁面散水量測定実験を実施し、それぞれの空間的な散水分布特性を把握した。

得られたデータを元に10m幅の道路対岸に想定した、横幅20m（散水ノズルからの水平放射角を90°と設定）、高さ10m（木造3階建て相当）の木造の町並みの全面に対して、必要な2L/㎡・分以上の散水を行うことが可能な、効率的なノズルの組み合わせ方法を導出した。

(2) 実験方法

測定対象としたノズルは以下の2種である。

- ①棒状ノズル：これまでの実験で利用した型 550L/分（0.5MPa時）放射角約20°
- ②扇形ノズル：文化財で主に用いられる型 155L/分（0.5MPa時）放射角約25°

なお①については、既往研究となる散水方式の検討の際に、散水設備を固定したまま15mの離れ距離において、主流の到達する高さ10mから下向きに1mピッチで散水量を計測しておいたデータが利用できるため、これを援用することとした。

併せて応用の可能性を検証するため、③小型棒状ノズル5口を下段に、小型扇形ノズル2口を上段に、それぞれ水平に配置した形式の「既製組み合わせ」ノズル（400L/分（0.2MPa時））についても測定を行った。

今回の測定では、散水対象となる垂直面に対して、高さ毎の散水量曲線を描くための詳細なデータ計測を目標として、実験設備を構成した。（図3）

ノズルの高さを地上1.3m、仰角を30°に固定し、公道としての最小幅である4mと、条件の厳しい10mの2つの離れ距離において、高さ5mまでの散水量を1mピッチで測定できる測定ラインを垂直に設置した。

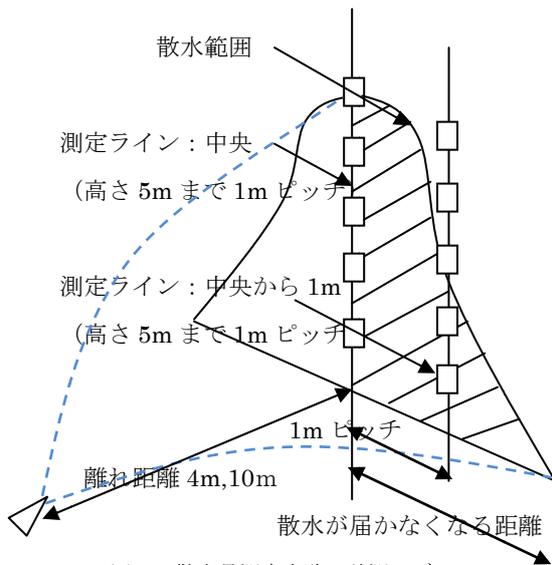


図3：散水量測定実験の計測モデル

散水量は開口面積 0.1 m^2 の取水マスを 1 m おき垂直方向に配置し、そこに溜まる各水量をホースで導水して計測した。なお高さ 5 m までの測定とした理由は、予備実験において②および③のノズルの能力では、離れ距離 10 m の位置で高さ 10 m まで水を到達させることが不可能であったためである。測定ラインは、最も散水量が多いと考えられる散水方向正面の中央部と、そこから左右に 1 m ずつ離れた位置に設置し、高さ 1 m ピッチの散水量を測定した。加えて中央から左右に離れることにより散水が到達しなくなる場所（散水量ゼロ）までの距離を測定した。



図4：散水量測定実験

(3) 実験結果

得られた結果を以下に整理する。条件の厳しい距離 10 m での測定結果のみを示す。

① 棒状ノズルの散水量分布 (図5)

棒状ノズルについては、製品仕様通りの条

件である 550 L/分 (0.5 MPa) にて散水を行い、離れ距離 15 m 、高さ 10 m に主流を到達させた状態で計測しておいたデータをグラフ化した。横軸は各地点番号で2は正面中央、1および3はそれぞれ中央から 11.2 m 左右方向に離れた地点を表す。

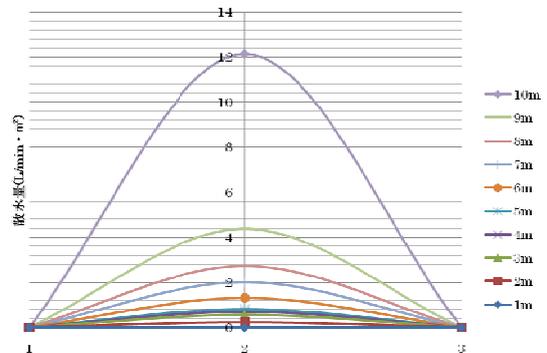


図5：棒状ノズルの高さ別散水量分布

グラフから必要水量となる $2 \text{ L/㎡} \cdot \text{分}$ 以上の範囲をたどると、主流の到達する 10 m の高さでは横幅約 20 m の範囲をカバーできることが判る一方、高さ 8 m では半分の約 10 m 、 7 m ではほぼ中央付近のみが条件を満たすことが明らかとなった。

② 扇形ノズルの散水量分布 (図6)

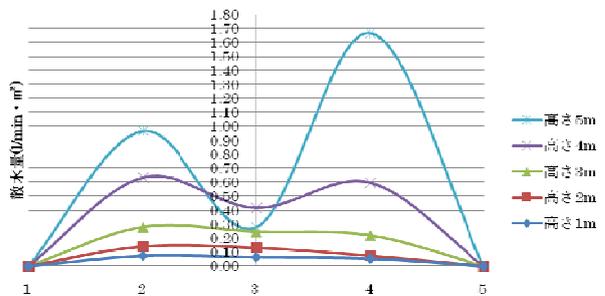


図6：扇形ノズルの高さ別散水量分布

扇形ノズルについては、 152 L/分 (0.5 MPa) のほぼ製品仕様通りの条件で散水し、離れ距離 10 m 、高さ 5 m までの範囲で測定したデータとなる。横軸が各地点番号で、3が正面中央、2および4はそれぞれ中央から 1 m ずつ左右方向に離れた地点であり、1および5は散水が及ばなかった距離で中央から左右方向に 2 m 離れた位置であった。

グラフからは中央付近の散水量が少なく、

左右方向の散水量にも偏りが見られるが、偏りは製品による公差と考えられる。必要水量となる $2L/m^2 \cdot 分$ 以上を満たす範囲は存在せず、複数の扇形ノズルで散水範囲を重ね合わせる等の工夫の必要性が明らかとなった。

③組み合わせノズルの散水量分布 (図7)

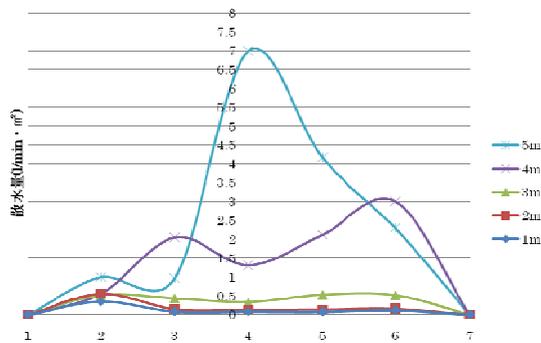


図7：組み合わせノズルの高さ別散水量分布

組み合わせノズルについても、離れ距離10m、高さ5mまでの範囲で測定したデータとなるが、実験では散水圧を揃えるために0.5MPaに設定した結果、散水量は485L/分となった。横軸が各地点番号で、4が正面中央、3および5はそれぞれ中央から1mずつ、2および6は中央から2mずつ左右方向に離れた地点であり、1および7は散水が及ばなかった距離で、中央から左右方向に3m離れた位置であった。

グラフからは中央付近の散水量が高さ5mで突出しており、4mでは $2L/m^2 \cdot 分$ 以上を満たす範囲が幅1.5mほど存在するものの、3m以下では $0.5L/m^2 \cdot 分$ 以下となる。左右方向の散水量にも偏りが見られるが、これも製品の公差と考えられる。必要水量となる $2L/m^2 \cdot 分$ 以上を満たす範囲は、公差を解消したノズルであれば高さ4m付近で幅3m以上確保できる可能性があるが、その際でも棒状ノズルとほぼ同程度の散水量が必要となるため、棒状ノズルに比べると効率に問題があることが明らかとなった。

(4) 結果と考察

以上を総括して効率的なノズル開発に向け

た仕様設定の検討を行う。

実験の結果から、到達距離と、 $2L/m^2 \cdot 分$ 以上の散水量を満たす範囲の、双方ともに効率的なノズル形式は棒状ノズルと考えられる。実施した棒状ノズルの散水量分布測定では、主流の到達する高さ10m地点から下方のデータしか得られなかったが、散水状態にある水流の立体的形状がおおむね円錐形状であると仮定すれば、10mより上方でも下方とほぼ同様の散水量分布特性が得られている可能性がある。この場合、 $2L/m^2 \cdot 分$ 以上の散水量を満たすカバーエリアは、(3)①の結果から高さ10mの主流を中心にした、垂直方向約6m、水平方向約20mの楕円の範囲内となる。

さらに主流の中心高さを10mから8m程度に下げてもこの形状が大きく変わらない場合は、図8に示した旋回式設備の45° 両端付近に2本の棒状ノズルを固定して散水することで、幅20m高さ10mの散水対象面のうち、高さ6m~10mまでの範囲をカバーできる可能性がある(図9)。残る高さ0m~6mの範囲についても、2m~6mを同様の方針で棒状ノズル2本でカバーする、あるいは散水量の少ない複数の扇状ノズルを低い角度で向けて距離を稼いでカバーし、残る2m以下の地上付近は上部より流れ落ちる水流の効果を期待する等の仕様と考えられる。

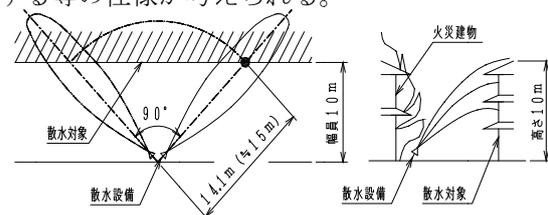


図8：自動旋回式散水設備検討時のモデル

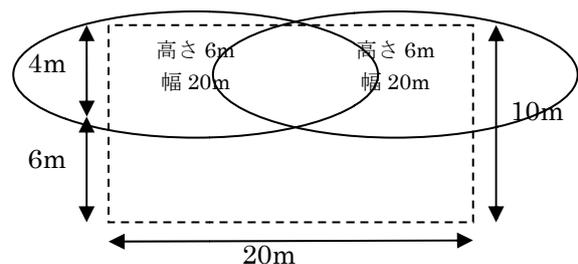


図9：延焼抑止可能範囲のイメージ (部分)

6. 結論と今後の課題

本研究で得た成果は以下である。

①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た。

②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。

検討したノズル仕様の基本指針には、実験結果で得たデータと推測値が混在しているため、散水角度を変えた壁面散水量測定を改めて行うなど、精査が必要である。今後、角度、流量などの要素を変更した場合の散水量分布を実験で測定し、より正確なノズルの仕様設定を行い開発を進めることと、実大に近い実験環境で、延焼抑止効果を立証することが課題となる。

謝辞：

本研究はグローバル COE プログラム「歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点」の活動成果である。なお本研究を進めるにあたり、平成 20 年度および平成 22 年度の国土技術研究センター(JICE)研究助成金の補助を受けた。記して感謝を申し上げます。

主な参考文献

- 1) 田中哮義(研究代表)、大窪健之ほか「地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究」消防防災科学技術研究推進制度、平成 18 年度報告書
- 2) 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」平成 19 年 3 月
- 3) 大窪健之(研究代表)ほか「文化遺産と伝統的町並みを地震火災から守る防火システムの研究開発」平成 20 年度(財)国土

技術開発センター研究開発助成・成果報告書、平成 21 年 4 月

- 4) 井元駿介、大窪健之、樋本圭祐、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、歴史都市防災シンポジウム'10 論文集、pp.21-28、2010 年 7 月 3 日
- 5) 一二三翔:木造文化都市の延焼火災を抑止する散水された木質外装材の熱伝導計算モデルの開発～京都市東山区の法観寺周辺地域での検証～、立命館大学 2009 年度卒業論文