

ウォータースクリーンシステムの適用事例

桑名 秀明^{1*}・天野 玲子²・井田 卓造³・辻 利秀⁴

¹非会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 都市防災・風環境グループ
(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

*E-mail:kuwana-hideaki@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部

³非会員 鹿島建設株式会社 建築設計本部

⁴非会員 ホーチキ株式会社 開発研究所 技術開発部

ウォータースクリーンシステムは，微細な水を幕状に噴出することで遮熱，遮炎，遮煙を達成することを目的に技術開発した火災安全システムである．これまでに，その性能については論文等にて報告してきている．開発後いくつかの建築物，土木構造物に適用したのでその適用事例を報告する．

Key Words : waterscreen , comartmentalization , evacuation , tunnel , station , underground ,

1. はじめに

トンネルのようなチューブ状の空間や地下駅など閉鎖的に流入空気が限定されるような空間で火災が発生した場合，熱，煙，発生有害物質（一酸化炭素等）は空間全体に拡がり，可燃物以外への火災拡大は勿論，避難・救援・消防活動に多大な支障が生ずる．

本研究は，大深度地下トンネル構造物における火災安全システムを構築するため，その技術の一環として水幕設備の特性を把握するものである．ウォータースクリーン（以下WSと略す）はトンネル内での火災時の発熱速度を抑制するとともに，発生した熱，煙の他の区画への拡散抑制もしくは，時間的な遅れを伴った拡散を目指すとともに，火源からの熱放射の減少，水の透視性による避難支援，消火・救助活動支援に結びつけるものである．

WSを用いて，ホーチキ（株）宮城総合防災実験場で1/3縮尺のトンネル模型（高さ2.7[m]，幅5.4[m]，長さ18.2[m]，43.7[m]）を用いて乗用自動車1台あたりの火災を想定した火災実験を行い，装置が有効な性能を示すことを把握した．

これまでに，多種多様な火災実験を行うことでその煙や熱に対して低減効果が高いことを把握し，論文等で報告^{1)~5)}している．2000年度には鹿島が独自技術として「水幕による火災ゾーンの区画化技術＝ウォータースクリーン」に関する技術開発を進め，2005年度には建築分野で特定防火設備としての性能評価に基づき国内で最初に国土交通大臣認定を取得している．

WSは区画化する位置に列状にスパイラルヘッド(写真-1)を配置し，そこから直径約200[μm]の微細な水を霧状に噴出することで，空間内の水密度に対する表面積を大きくでき，かつ風が影響した場合でも所定の範囲に区画を形成できる技術である．区画化により，熱や煙の拡散を抑制し，有害浮遊粒子を捕捉・洗浄することによって被災者の避難安全を確保するとともに，構造物の被害を局所化，消防活動を支援する火災防災システムである．

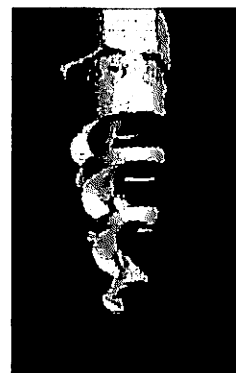


写真-1
スパイラルヘッド

2. 性能把握実験

一例として，2003年度に実施した実験について示す．

(1) 実験概要

a) 実験模型：高さ2.7[m]×幅5.4[m]×長さ43.7[m]の矩

形断面のトンネル状空間

- b) WS設備：放水圧1.0[MPa]，平均粒子径200[μ m]，放水量10[Liter/min/個]，噴霧角150[$^{\circ}$]～170[$^{\circ}$]
- c) 給気風速発生装置：火災時の換気を模擬して給気側に模型端部から2m離れた位置に工業用扇風機を20台配置
- d) 測定項目：発熱速度を酸素消費法と重量換算法で求めた。火災時に発生する煤の量に対するWSによる洗い落とし効果を把握するために開口端部にダクトを設置し、高温煙中の煤の性状を把握した。火源燃焼状況やWS噴出状況，煙流動状況の把握および避難時や消防活動時の火源および避難方向の視認性把握のために，目視およびビデオカメラ，サーモカメラによる観測を行った。
- e) 実験条件：実験因子は，①風速（0.0，1.4，1.8，2.2 [m/sec]），②燃料種類，③発熱速度（1.5，5.0 [MW]），④トンネル防災設備としての水噴霧設備作動の有無，⑤WS設備作動の有無，の5項目とした。相似則は模型縮尺比を考慮したフルード則⁹を基に，発熱速度は普通車1台燃焼想定¹⁰の1.5[MW]，換気条件は

自然換気と縦流換気方式での遡上阻止風速である1.4[m/sec]を基準とした。

(2) 実験結果

実験因子の組み合わせにより，総計22ケースの実験を実施した。実験結果として[①無風，②ガソリン，③1.5[MW]，④水噴霧無し，⑤（Case 1：WS無し，Case 2：WS有り）]についてその性状の概要を述べる。

a) 放射受熱量への影響

図-1に模型開口外部に設置した放射計の時間履歴を示す。着火後のピークとしてCase 1（WS無し）においては約120～140[W/m²]となり，Case 2（WS有り）においては約5[W/m²]となった。水幕の影響により放射量が小さくなっている。

b) 発熱速度への影響

図-2に発熱速度の時間履歴を示す。Case 1においては最大1.5[MW]となり，Case 2においては1.0[MW]となった。WSの区画と水滴粒子により，燃焼が不活性化したため抑制効果が生じ小さくなったものと推定される。

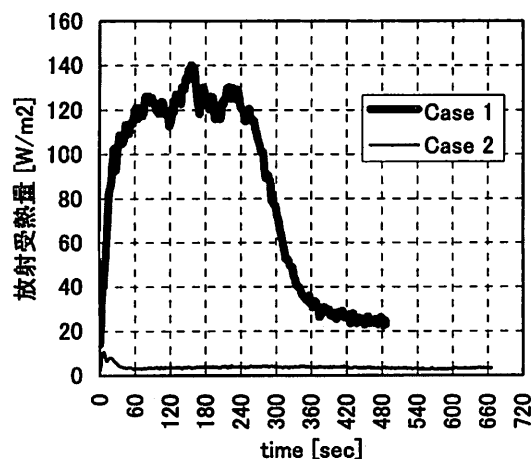


図-1 放射受熱量

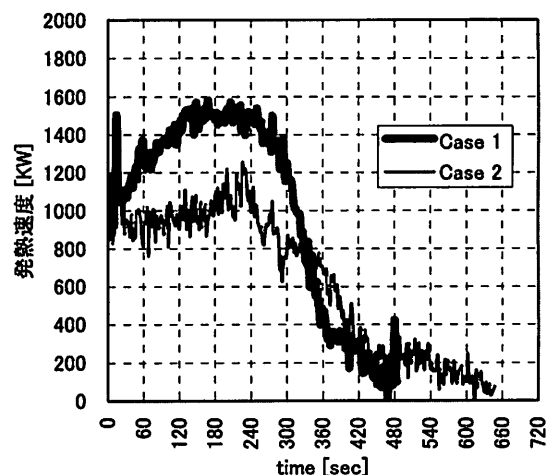


図-2 発熱速度

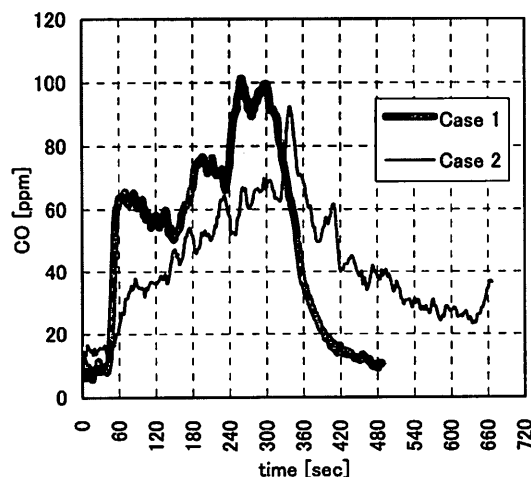


図-3-a CO濃度

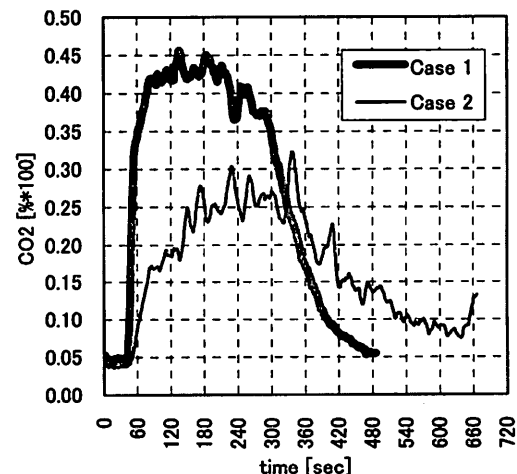


図-3-b CO₂濃度

c) ガス温度への影響

図-3-aにCO濃度、図-3-bにCO₂濃度の時間履歴を示す。Case2においては発熱速度の減少によるガス発生量の抑制の影響だけでなく、鎮火（240[sec]～270[sec]）後の後半に緩やかな減少を示した。これは、区画化効果によりガスが区画内に閉じ込められ、徐々に流出したものと判断される。（時間遅れは、サンプリング位置による）

3. 一般認定取得

性能把握実験の結果を踏まえて、2005年度に建築分野の特定防火設備として一般認定を取得した。

特定防火設備とは、建築基準法施行令第112条に規定する防火設備であって、通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後1時間当該加熱面以外の面に火炎を出さないものとして、①国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの、又は、②国土交通大臣の認定を受けたものと定められている。

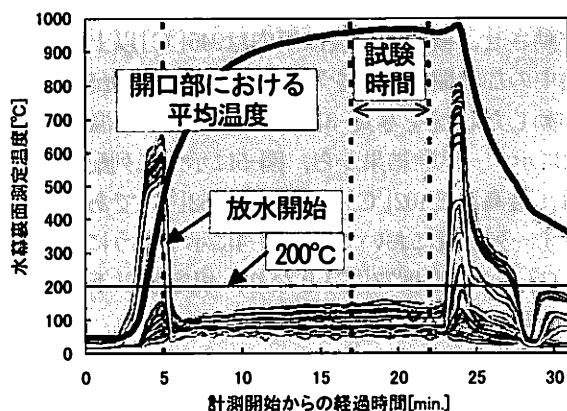


図-4 炉内温度および裏面温度（一列配置）

(1) 認定取得までの概要

水幕による特定防火設備における性能評価の規定値は、加熱等級60分（炉内温度945[°C]以上）において、裏面の温度が最高温度200[°C]以下、平均温度160[°C]以下であることを求めている。試験では、加熱開始5分後にWS

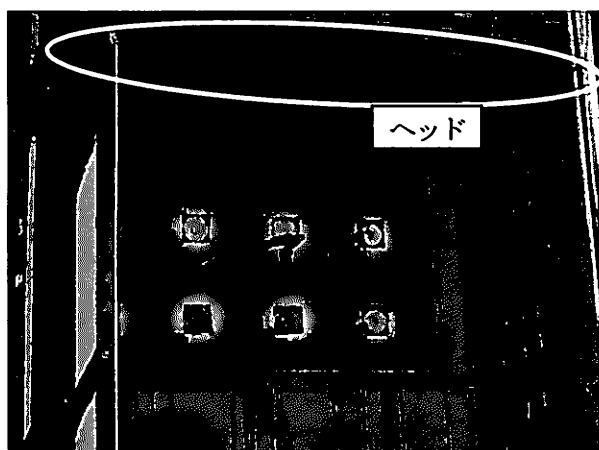


写真-2 耐火炉加熱開始状況
(WS 非作動)

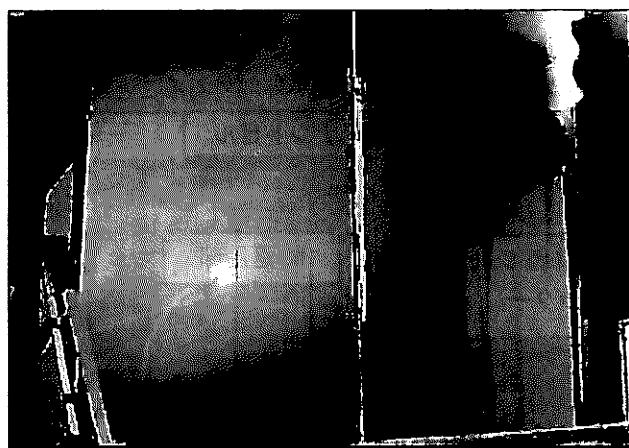


写真-3 耐火炉加熱中状況
(WS 作動)

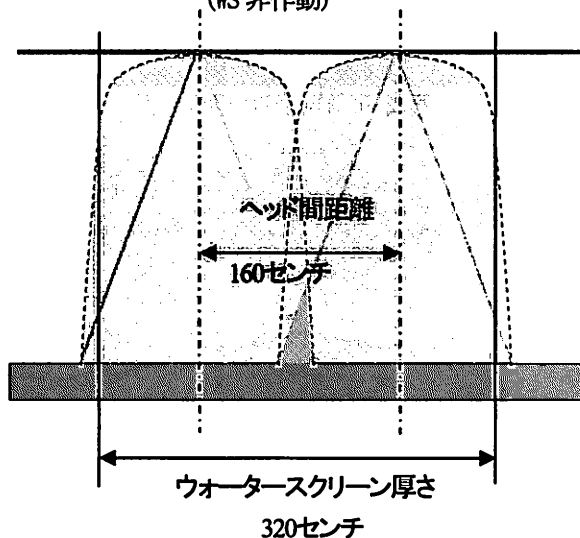


図-5 二列配置

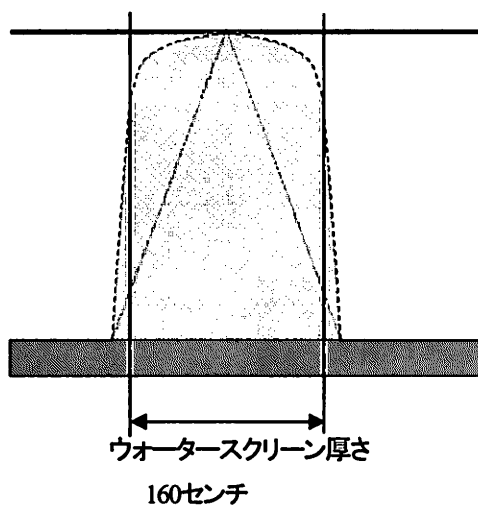


図-6 一列配置

を作動させ、概ね20分後に炉内は945[℃]以上になった。試験中の加熱開始状況を写真-2に、加熱開始5分後にWSを作動した状況を写真-3に、予備試験中の温度履歴を図-4に示す。試験結果から、図-5に示す二列配置においては、最高温度102[℃]、平均温度62[℃]であり、図-6に示す一列配置においては、図-4に示すように最高温度156[℃]、平均温度77[℃]となり、規定値以下であることを確認し一般認定取得に至った。

4. 適用事例

一般認定取得後、建築物や土木構造物に適用を重ねたので以下に事例を示す。

(1) 事務所テナントビル新築工事

2005年10月竣工した、事務所テナントビルの地下1階と地下鉄コンコースを連絡する部分に初適用した。当該箇所は、不特定多数の通行者が通行する場所であり、鋼製シャッターが作動して閉鎖すると囲まれた空間になってしまう懸念があった。WSを用いることにより、火災時に区画が形成されても反対側が外部であることが視認で

き、竣工前検査で作動させた際には、裏面の状況を把握できることが確認できた。

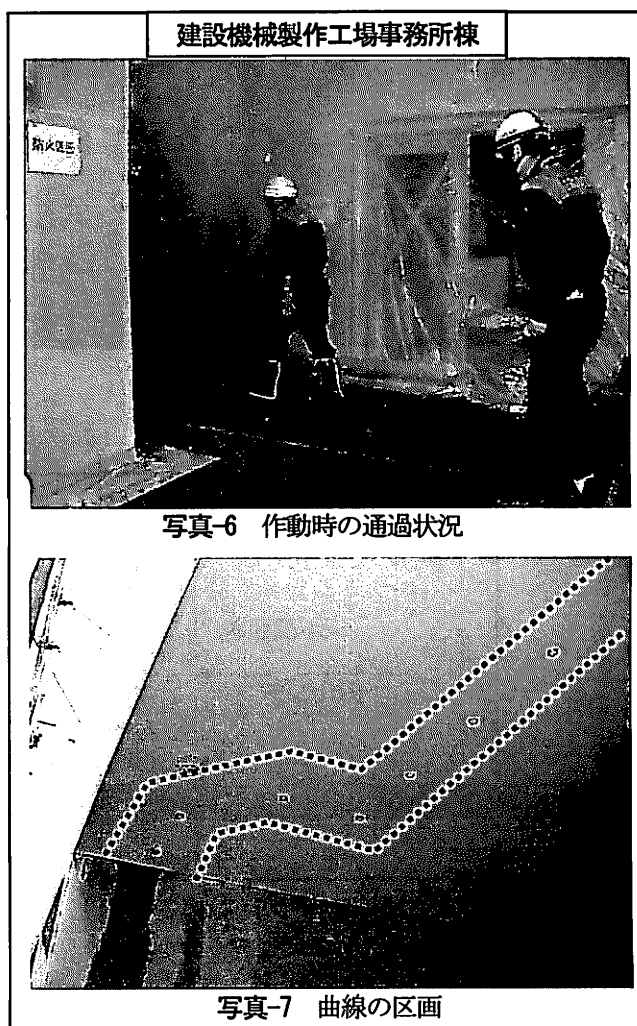
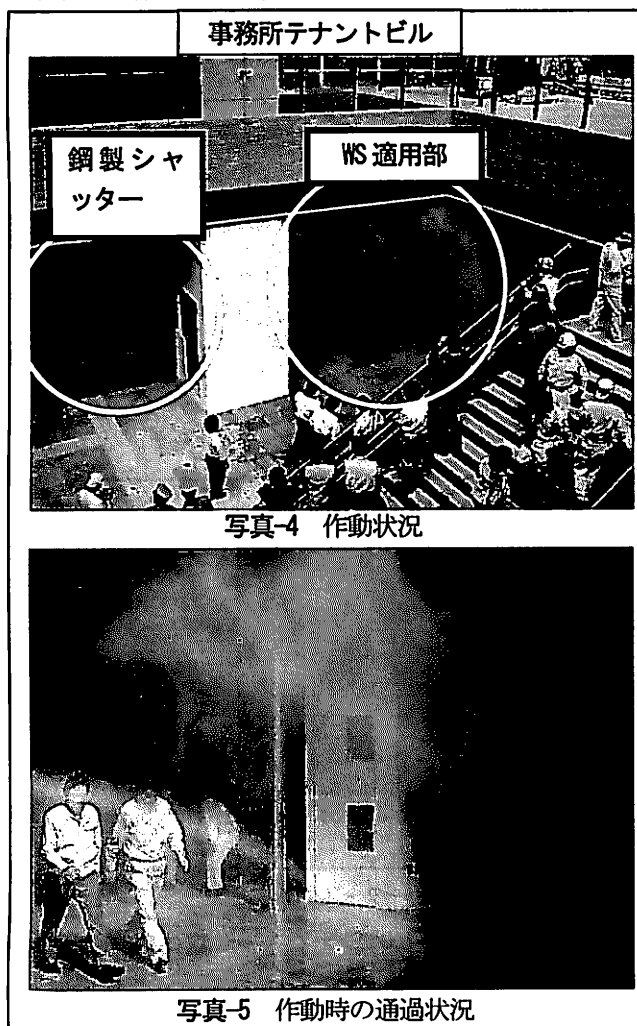
WS部分の区画は、高さ4.0[m]、幅5.6[m]、ヘッド数19個一列配置で構成されている。作動状況を写真-4に、作動時の通過状況を写真-5に示す。

(2) 建設機械製作工場事務所棟

建設機械製作工場管理棟の中央アトリウム部と廊下部の区画に適用した。WSは遮煙性能に関する一般認定は取得していないが、当該空間は別途全館避難安全検証法を適用し、煙の拡散に関する安全性を確認している。

WSの設置状況は、合計長さ27.6[m]、天井高さ2.8[m]、ヘッド数95個で構成されている。竣工前検査として実際に水を出して作動状況を確認した。所轄消防署・建築指導課などの関係者が総勢約50名参加し、区画としての水幕の形成状況の確認やWSの通り抜けを体験し、通過の容易性、裏面側の状況確認のしやすさ、災害弱者への負担の少ないことを確認した。

作動時の通過状況を写真-6に、鋼製シャッターでは実現することができない区画ラインが曲線になっている状況を写真-7に示す。



(3) シールドトンネル工事での仮設利用（シールドマシン解体工事）

シールド掘進完了後のシールドマシンはガス溶断により小割り解体して、到達立坑の地上開口部より搬出する方法が主流である。ガス溶断という火気作業を行う前には、機械内の作動油抜き取り、グリース拭き取りを十分に行うが、どうしてもカッターモーター内の潤滑油は完全に事前除去しておくことができない。そのため、解体作業時にはどうしても、切断火花が残存潤滑油に着火し、大量の煙が発生する。特に黒っぽい煤まじりの煙になることが多い。

上記の問題に対して、従来は簡易的に集塵機等を利用して排煙しながら作業を行っていたが、写真-8に示すよ

うにトンネル内に煙が流入し充満することによる作業環境悪化、地上へ煙が立ち上がることによる周辺環境への悪影響という事態が懸念されていた。そこで、WSをマシン解体場所の前後に仮設備として図-7に示す位置に設置することで、水幕により解体作業から発生する煙を遮断する効果を確認した。

作動状況として、到達立坑側からの状況を写真-9に示す。WSが作動することにより煙濃度は約8割減少した。作業後のアンケート結果から、「匂いが減った」、「地上開口から立ち上がる煙量が減少した」などの回答が得られた。

シールドマシン解体工事



写真-8 解体中のシールドマシン

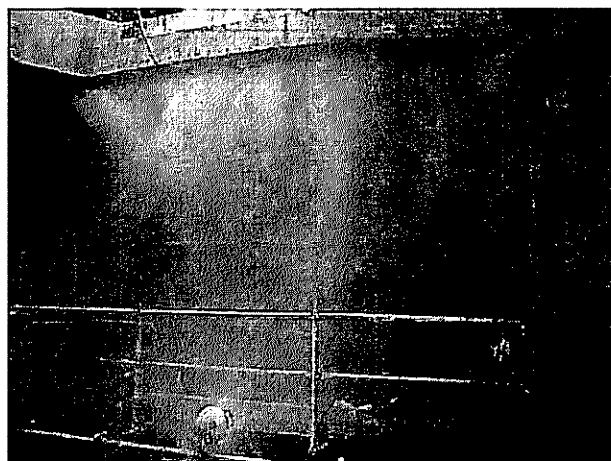


写真-9 到達立坑側 WS 作動状況 (WS1)

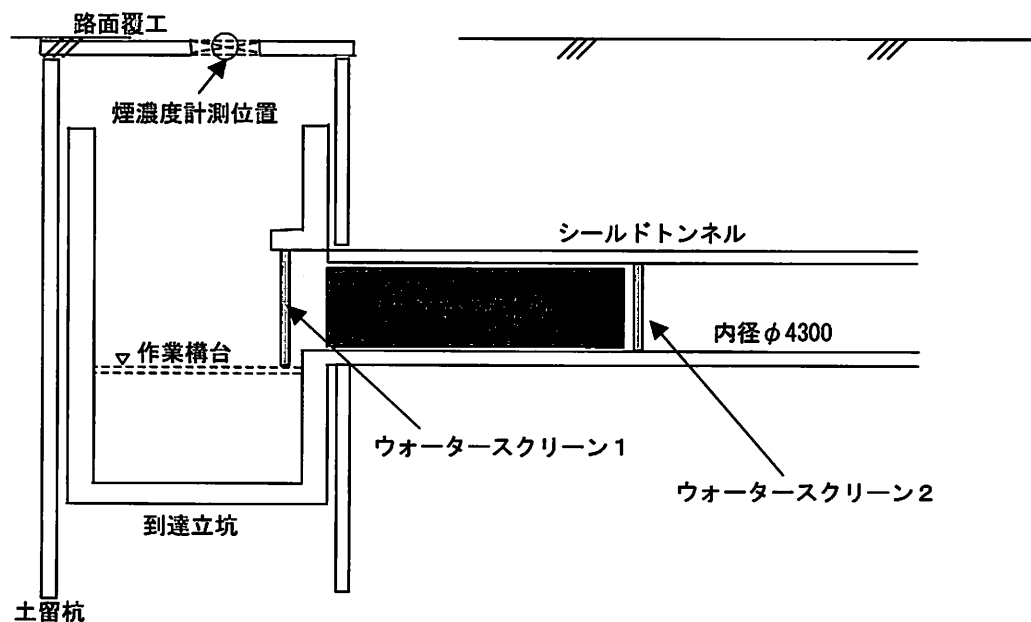


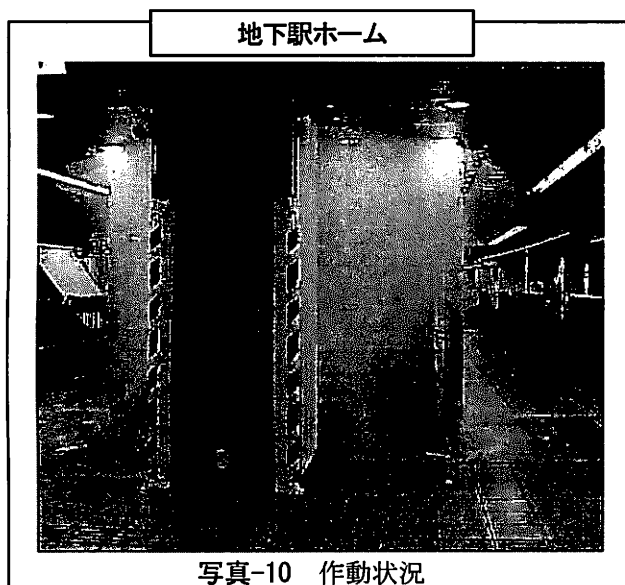
図-7 WS 設置断面図

(4) 地下駅ホーム防災設備増強工事

a) 駅舎の防災について

2003年2月に、大韓民国テグ市の地下鉄の車両内で放火され、192名が死亡、148名が負傷した事件が発生している。死傷者の多くは、車両内で閉じ込められたことによるものであるが、煙に巻かれ方向を見失い防火シャッターの前で死亡した方もいた。この事件を受けて、国土交通省鉄道局は、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」および「同解釈基準」を改正し、車両の不燃化、構内の火災安全性、避難安全性の向上を定め、対策するように通知した。

駅舎は不特定多数の利用者が、各方向に流動する交通拠点であり、そこでの発火は大規模災害に繋がる危険性を潜在的に有している。



b) WS設置の経緯

図-8に駅構内の平面図を示す。既存駅では天井懐に防火シャッターを納めるには空間が狭く設置が厳しい状況であり、また利用条件から避難時に階段前へ人が集中することが想定される。これらの対策に適したWSを、ホーム階から改札階へ至る中央階段前に設置した。WSの大きさは幅1.6[m]（柱脇からガラス壁まで）×高さ2.8[m]（設置位置での天井面高さ）であり、1階段につき2面を6階段、合計12ヶ所に設置した。

2009年3月に各所管庁立会いのWS放水テストを実施し、視認性などの有効性を確認した。作動状況を写真-10に示す。

参考文献

- 1) 天野玲子他；地下空間のための水幕式火災防災システム，2003年度日本火災学会研究発表会，pp224-227.
- 2) 佐藤博臣他；ウォータースクリーン設備作動時の発熱速度の特性，2003年度日本火災学会研究発表会，pp228-231.
- 3) 林龍也他；実規模火災実験におけるウォータースクリーンの熱性状，2001年度日本火災学会研究発表会，pp78-81.
- 4) 栗岡均他；トンネル空間でのウォータースクリーン設備作動時の放射熱遮断ならびに発熱速度の特性，2004年地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol9，pp.59～68.
- 5) 天野玲子他；水幕式火災防災システムの開発，2004年度日本火災学会研究発表会.
- 6) 化学工学協会；化学工学便覧第6版，丸善，1999.

