数値シミュレーションによるトンネル火災時の避難シミュレーション

鹿島建設㈱ 土木管理本部　○村上　信　天野　玲子
鹿島建設㈱ 技術研究所　栗岡　均　桑名　秀明
鹿島建設㈱ ITソリューション部　今関　修

１．はじめに

韓国大邱市の地下鉄や，欧州モンブラントンネル，タウエルトンネルなどでの大火災を契機に，トンネルの火災防災に対する意識が高まっている．交通量の多い都市部を中心として，長距離道路トンネルの計画・建設が盛んであるが，火災時の安全性確保が課題となる．我々は，ウォータースクリーン（以下，ＷＳ）による火災防災システムを開発し，トンネルへの適用を検討してきた．1/2 トンネル模型による火災実験で基本的な性能を把握するとともに，ＷＳ稼動時の熱と煙の性状を予測する数値解析技術を開発した[1),2)]．これに，被災者の避難行動予測と安全基準を組み合わせ，火災時の避難シミュレーションが可能となった．本稿では，道路トンネルにおける避難シミュレーションの実施例と，ＷＳの有効性について報告する．

２．ウォータースクリーン　（ＷＳ）

ＷＳは，天井面に連続的に配置した特殊ノズルから直径約 200μm の水滴を霧状に放水し，水の幕を形成する．熱と煙の拡散を抑制し，有害浮遊粒子を捕捉・洗浄して被災者の避難環境を改善する．ＷＳは水の幕であるため，被災者や車両の通行を妨げることはなく，円形，矩形を問わず複雑な断面でも対応可能である．

写真－１　ＷＳの稼動状況

３．CFD（*C*omputational *F*luid *D*ynamics）

流体の挙動を数値的に解析する CFD は，トンネル空間での火災安全設計の分野でも適用されてきている．火災実験と異なり，トンネル断面形状，換気風速，火源の種類といった条件を容易に変更でき，可視化も可能である．我々は，採用実績の多い FDS（*F*ire *D*ynamics *S*imulator：米国商務省技術研究所開発）にＷＳの効果解析機能を組み込み，火災実験との照合から解析精度を検証した[1),2)]．

４．避難シミュレーション

トンネル火災時に被災者が安全に避難するためには，火災により生じる熱や煙を避けて避難口に到達できなければならない．ここで，避難シミュレーションとは，CFD による熱・煙の挙動と被災者の避難速度を比較し，被災者の環境が避難口に到達するまで安全基準を満足するか否かを判定するものとする．

（１）<u>避難速度</u>：避難安全性を検証する上で，避難者の避難速度は様々な文献で状況に応じて設定されているが，自力歩行が可能な人間の水平部分での歩行速度は 1m/s とする場合が多い．そこで，被災者の避難挙動を「火災発生直後より火源から歩行速度 1m/s で避難口まで避難する」とした．

（２）<u>熱に対する安全基準</u>：人体周りの雰囲気が温度 50℃でかつ湿度 100%の場合，人間は数分程度しか耐えられないため，「人体高さの温度＜50℃　の場合安全である」とした．

（３）<u>煙に対する安全基準</u>：避難方向を見失わない程度の煙濃度は，減光係数 Cs＜0.1～0.4 程度であるが，トンネルは避難経路が単純であるため，「人体高さの減光係数 Cs＜0.4　の場合安全である」とした．

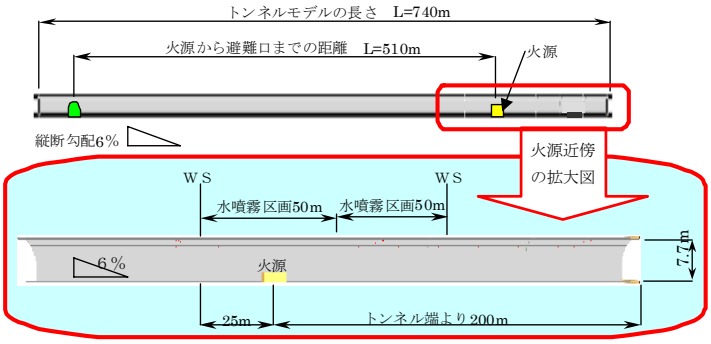
５．避難シミュレーション実施例

（１）<u>解析条件</u>：解析対象は，一般的な２車線道路トンネル断面（対面通行）とした．縦断勾配は，事故が発生し易く，熱・煙の拡散が速い状況として 6%とした．防災等級は AA 級とし，避難口・水噴霧設備を有する．換気設備は対面通行のため停止（初期風速 0m/s）とした．解析条件を表－１，図－１に示す．

キーワード　トンネル，ウォータースクリーン，火災，CFD，避難シミュレーション
連絡先　〒107-8388 東京都港区元赤坂 1-2-7 鹿島建設㈱ 土木管理本部 ＴＥＬ03-5474-9117

表－１　解析条件

火源	ガソリン　発熱速度15MW（バン1台相当）	
トンネル構造	断面形状	内径φ10.8m
	延長	L=740m
	縦断勾配	6%
水噴霧設備	ノズル	1個/5m（150L/個/min）
	設置区画	50(m/区画) で 2区画放水 （100m区画放水）
区画化設備（WS）	ノズル	20個/断面（10L/個/min）
	設置断面	1(断面/50m) （水噴霧区画の両端断面を放水）
換気設備	自然換気とする（初期風速0m/s）	
避難口	火源から510m先	



図－１　解析モデル

（２）解析ケース：６ケースを実施した（表－２）．

表－２　解析ケース

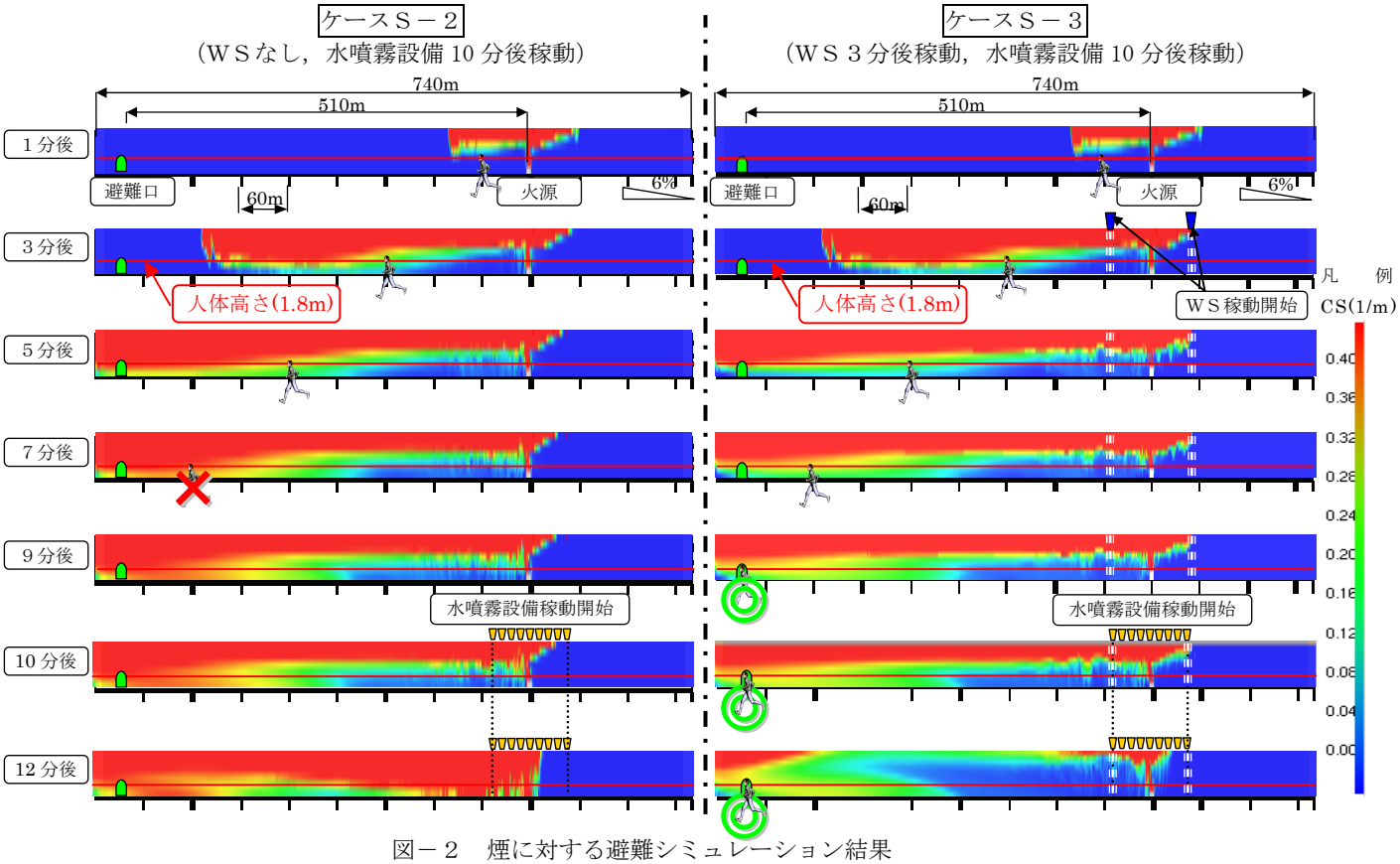
ケース番号	解析対象	WS	水噴霧設備
T－1	熱 （温度）	なし	なし
T－2		なし	10分後に稼動
T－3		3分後に稼動	10分後に稼動
S－1	煙 （減光係数）	なし	なし
S－2		なし	10分後に稼動
S－3		3分後に稼動	10分後に稼動

６．解析結果

解析結果のうち，ＷＳの効果が顕著に現れたＳ－２とＳ－３を図－２で比較する．

①被災者が避難口へ到達するには8.5分を要するが，ＷＳを稼動しないＳ－２では，Cs≧0.4 の煙（図中赤色）が７分後に人体高さまで降下する．

②ＷＳを 3 分後に稼動したＳ－３では，煙濃度が減少しており，被災者が避難口に到達した後も Cs≧0.4 の煙は人体高さまで降下していない．ＷＳの区画化効果は避難安全性の向上に寄与しており，これは，熱に対しても同様の結果が得られている．トンネル内の避難安全性を考える上で，実大火災実験は簡単に実施できるものではないため，本稿のような避難シミュレーションが何かの参考になれば幸いである．



図－２　煙に対する避難シミュレーション結果

参考文献

１）佐藤ら「CFD による散水設備稼動時のトンネル空間熱性状予測」　土木学会地下空間シンポジウム第９巻 2004 pp69-78
２）栗岡ら「ウォータースクリーンの煤洗落し効果と遮煙性能」土木学会地下空間シンポジウム第 11 巻 2006 pp51-60