

高速道路トンネルの潜在的火災リスクの近似評価手法

中日本高速道路株式会社 名古屋支社 四日市工事事務所 正会員 ○山崎 哲也
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社 施設技術部 正会員 横田 昌弘
 金沢大学 理工学域 機械工学類 正会員 川端 信義

1. はじめに

高速道路トンネルの火災事故リスクは、火災事故統計データから発生確率と影響（人的、物的、社会的）を求め、統計リスクでは評価時点のトンネル毎のリスク順位、潜在リスクでは施設改善対策毎のリスク変化（人的影響）から効果的な改善事業を選択する手法を提案している[1]。しかし、潜在的リスク評価はトンネル各々の幾何構造、交通量、発生位置、火災規模、坑内風や人々の行動により結果が異なり、その条件ごとに火災・避難シミュレーションの連成評価が必要となる。これらの評価には膨大な計算資源とデータ処理が必要となるため、今回、モデルトンネルを用いた火災シミュレーションと施設改善、並びに避難シミュレーションを連成評価した結果からデータベースを構築し、被評価トンネルの人的損失を近似外挿する方法を提案するものである。

2. シミュレーションによるリスク評価

2.1 モデルトンネルの設定

高速道路のトンネル幾何構造や交通条件は個々に異なるが、火災時の煙の挙動に対して特に影響の大きいパラメータは火源規模、勾配、停止車両、坑内風速があげられる。トンネルの安全評価は火災発生から10分間程度と考えられており、評価のためのモデルトンネルを図.1の通り設定した。

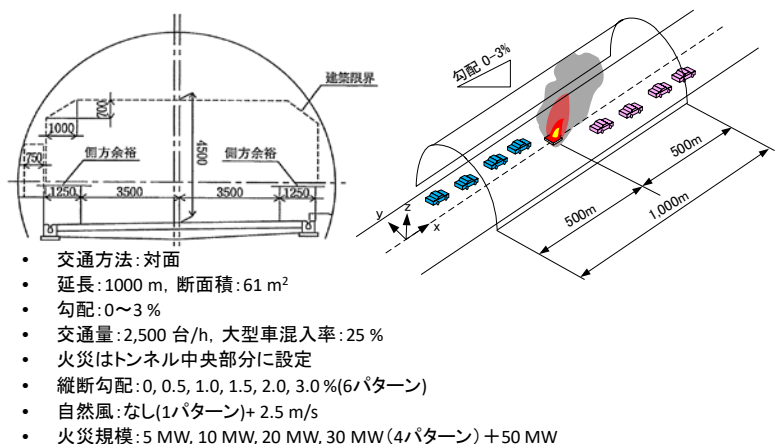


図.1 モデルトンネルの設定

2.2 火災シミュレーション

火災評価では、時々刻々と変化するトンネル内の避難環境データを火災シミュレーションで取得する。火災シミュレーションで用いる発熱速度の規模は図.1, その変化に関しては既報[1]による。シミュレーション結果から時々刻々と変化する煙濃度とその範囲は図.2に示す危険度マップで示される。

2.3 避難シミュレーション

避難評価は、トンネル内の被災者に対して行動開始条件、歩行速度、最終避難箇所を与条件として設定し、危険度マップとの連成により、煙に巻かれて避難できなかった残留者を算出するものである。被災者の行動開始条件は、頭上に煙を確認、或いは避難する人を確認という基本行動条件のほか、情報提供（ラジオ再放送、情報板、拡声放送、CCTV）を組み合わせ、行動開始時間を設定した。火災避難時の歩行速度は、清家らの研究[2]を参考として表.1に示す歩行速度を設定した。避難箇所は、非常口が無い場合と坑内に等間隔で非常口が設置される場合について評価を行う。図.3は非常口が無く煙を見て避難する例を示す。

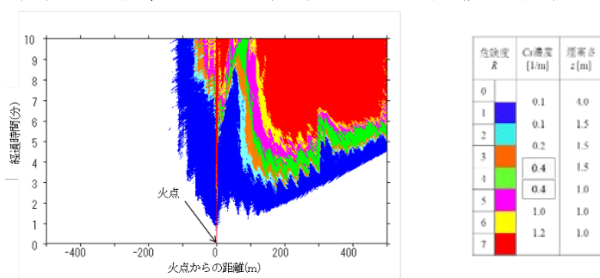


図.2 火災発生後の煙の広がり例
 (危険度マップ 風速 0m/s, 勾配 3%, 30 MW)

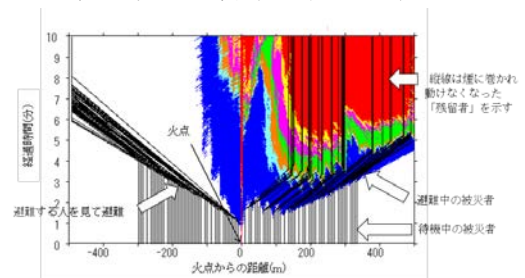


図.3 連成評価の例（煙を見て避難）

キーワード：トンネル火災事故、潜在的リスク、連成評価、重回帰分析、残留者

連絡先：〒510-0832 三重県四日市市伊倉1丁目2番14号 電話；059-353-9225 FAX；059-353-8445

表. 1 避難時の歩行速度

項目	早い	普通	遅い
歩行速度	1.6 m/s	1.3 m/s	1.0 m/s
割合	30 %	60 %	10 %

3. 連成評価結果

前節に示すモデルトンネルを使用した火災シミュレーションにより取得した坑内煙環境変化の時刻歴データと、避難条件を変化させた避難シミュレーションの連成評価全 1,449 ケースから他のトンネルへの展開手法を検討した。連成評価のためのシミュレーション実施の際に設定した、残留者人数を目的変数とし、火災規模、避難開始時間、非常口までの距離、歩行速度、勾配、風速、非常口数を説明変数とする重回帰式を実施した。分析の結果を表 2 に示す。相関の目安となる重決定係数：R²は 0.736,であり、関係性が高いことが確認できた。

表. 2 重回帰分析結果

回帰統計						
重相関 R	0.858					
重決定 R2	0.736					
補正 R2	0.735					
標準誤差	6.604					
観測数	1,449					
分散分析表						
	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F	
回帰	7	175.017	25,002	573	0	
残差	1,441	62.840	44			
合計	1,448	237.857				
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
切片	-6.273	1.644	-3.816	0.000	-9.498	-3.049
Hrr:火災規模(MW)	0.424	0.017	24.659	0.000	0.390	0.458
Te:避難開始時間(sec)	0.007	0.001	7.471	0.000	0.005	0.009
De:非常口迄の距離(m)	0.023	0.001	17.378	0.000	0.020	0.025
Se:歩行速度(m/s)	-5.933	0.986	-6.018	0.000	-7.867	-3.999
i:勾配(%)	2.678	0.186	14.368	0.000	2.312	3.043
Ws:風速(m/s)	11.314	0.272	41.636	0.000	10.781	11.847
Ex:非常口数(箇所)	-1.379	0.479	-2.879	0.004	-2.318	-0.439

この重回帰分析結果から、残留者：N(人)の算定式は下記の通りとなる。

$$N=0.424\times Hrr+0.007\times Te+0.023\times De-5.933\times Se+2.678\times i+11.314\times Ws-1.379\times Ex-6.273$$
 (1)

前出式(1)により求めた残留者は交通量一定としているため、異なるトンネルに適用する場合、換算が必要であるため、評価対象トンネル時間交通量：T_m とモデルトンネル交通量：T_o (2,500 台/時間) の比率で換算する。換算係数：n_c の算定式を以下に示す。

$$n_c= T_o / T_m$$
 (2)

これら残留者：N と評価対象トンネル換算係数：n_c に対して火災規模とその生起率を掛け、集計したものが評価対象トンネルの人的影響のベースとなる残留者となり、火災事故発生確率と掛け合わせることで潜在リスクが求められる。

4. まとめ

高速道路トンネルの潜在的リスクは個々の対面通行トンネルの幾何構造や交通状態、並びに安全性向上策による避難行動や施設設備如何により、一定レベルで近似算定が可能となり、相対比較が可能となった。しかし、火災事故の発生確率低減策（例えば啓発活動）とその定量的評価方法は手つかずの状態である。更に人的影響に寄与する未知のパラメータ、新技術導入と効果、施設設備・機器の健全度の算入方法や合理的な管理を目指した閾値の設定、次世代自動車対策等が依然として課題である。

参考文献

[1] 山崎哲也ほか、高速道路トンネルの潜在的火災リスク評価方法の提案,土木学会論文集 F2(地下空間研究), Vol. 71, No.1, pp. 31- 46, 2015.

[2] 清家美穂ほか、煙流動 CFD を用いた避難行動シミュレーションによる道路トンネル火災安全性の評価方法, 土木学会論文集 F2(地下空間研究), Vol. 70, No.1, 1-12, 2014.