

高速道路トンネル火災事故時の避難安全評価に関する一考察

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
 中日本高速道路株式会社 技術・建設本部 技術支援部 環境・技術企画部 技術企画・開発チーム 正会員 山崎 哲也
 公立小松大学 生産システム科学部生産システム科学科 正会員 川端 信義

1. はじめに

トンネルは閉鎖された空間であり、火災が発生すると煙の移動と避難導線が重なる事があり、適切に対応しないと、被災者が火煙に巻き込まれる恐れがある。このため、トンネル内部の被災者を安全かつ確実に安全な空間に導く必要があり、一定規模以上の特別なトンネルの避難安全評価では、被災者の避難行動条件を想定し、火災発生に伴うトンネル内部の煙環境の変化と、被災者の避難所用時間から非常口等の非常用施設規模を確認・設定している。本論文では、近年の研究から把握された、火災発生から避難完了に至る一連の計画方法について議論するものである。

2. 現況の避難安全評価

高速道路トンネルにおいて、火災時の避難安全評価を実施する必要があるトンネルは、過去に例の無い延長、非常に大きな車道内空断面、急勾配等の幾何構造が特殊な場合、交通量が多く渋滞発生が懸念される、或いは特殊な本体構造（例：水底シールド）等のトンネルが挙げられる。このような特別なトンネルで、これまでに実施された火災発生後の避難安全評価では、トンネル内で起こりうる最大火災規模を設定し、CFD（三次元）により時々刻々と変化するトンネル内部環境データを取得する。次にトンネル内の被災者が火災発生を覚知するまでの時間を設定（避難行動開始条件）、その時間が経過すると被災者は避難を開始する（避難行動開始）。このとき、避難時の歩行速度を設定する。避難安全評価では、停車した車列に大型バス（乗員 50 人）が 1 台含まれるものと想定し、大型バスから最後に降車した人を最終避難者としている [1]。この最終避難者が非常口や坑口等安全空間に達するまでの時間を所要避難時間：RSET（Required Safe Egress Time）となる。しかし、この間に火災発生に伴うトンネル内が、避難環境限界とされる路面+1.5m の高さで煙濃度 $C_s \geq 0.4 \text{ m}^{-1}$ に達した場合、避難者は動けなくなる。このため、最終避難者が避難可能な煙濃度の中、歩行可能な距離を非常口設置間隔としている。この時間は許容避難時間：ASET（Available Safe Egress Time）である。計画例を図. 1 に示す。

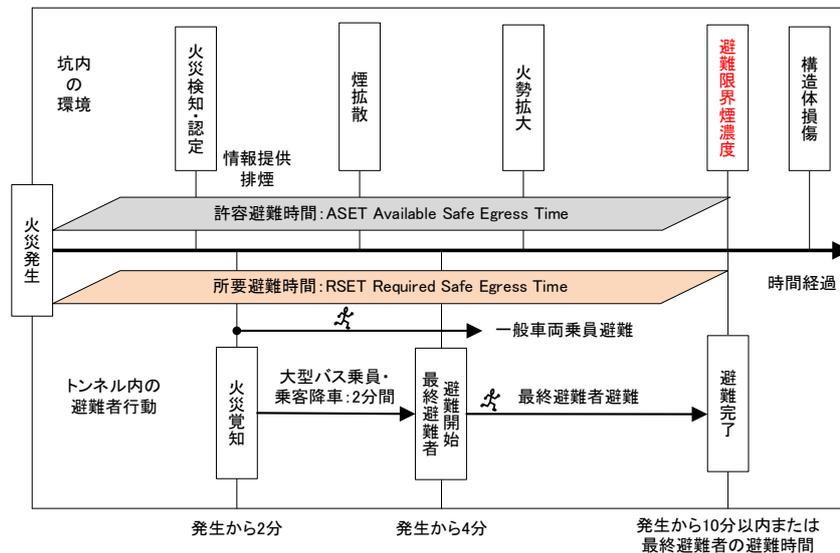


図. 1 現在の避難安全計画の例

3. 避難安全計画の課題と対策

3.1 現況課題

現在のトンネル避難安全計画では、RSETを構成する被災者の火災覚知まで2分間、大型バス降車に2分間、その後坑内を避難歩行速度 1m/s で避難して、近傍の非常口（標準設置間隔）に到達することを確認す

る。この間に火源から発せられる煙に包まれ、避難環境境界 ($C_s \geq 0.4 \text{ m}^{-1}$) に達した地点が避難限界距離となるため、非常口の設置間隔を短縮化している。なお、火災覚知から避難行動を開始するまでの避難準備時間は考慮していない。通常、 $RSET \ll ASET$ とすることで安全性を確保するが[2]、現行の避難安全性評価では $RSET$ と $ASET$ がほぼ等しいと言って良い。参考まで、建築基準法では建物火災時の避難安全性評価に関して、避難予測計算から避難完了時間を、煙性状予測から避難限界時間を求め、避難の安全性を検証している。この煙性状予測では火源からの煙やガスが避難上支障の有る高さまで降下する時間を計算している。しかし、煙と有害ガスの拡散速度が異なり、煙降下する時間より前に有害性ガスが避難者に与える影響が考慮されておらず、動物実験ではあるが煙に巻き込まれていないにもかかわらず、有害性ガスが死因となるケースが発生している[3]。これらを勘案すると、トンネル火災においても $RSET$ は $ASET$ に対して十分な「安全マージン」を確保する必要があると、早期に避難を完了する必要があるといえる(図. 2 参照)。

3.2 対策案

トンネル火災避難における $RSET$ は、火災覚知、最終避難者避難開始、避難歩行速度ならびに避難歩行距離で構成されている。 $RSET$ の短縮化と安全マージンの確保に関して次の手法が考えられる。

(1) システム面

- ・火災覚知の早期化：火災発生から出炎前に放出される煙や有害ガスの検出
- ・避難歩行支援：避難誘導効果とモチベーション向上のための足元灯設置

(2) ハード面

- ・トンネル非常口の追加設置等による避難距離短縮化
- ・大型観光バス乗降口の複数化や現非常口の改良による最終避難者避難開始の早期化

(3) ソフト面

- ・一般ドライバーに対する行動啓発（自発的避難行動）
- ・プロドライバーに対する模範行動教育（避難の率先行動）

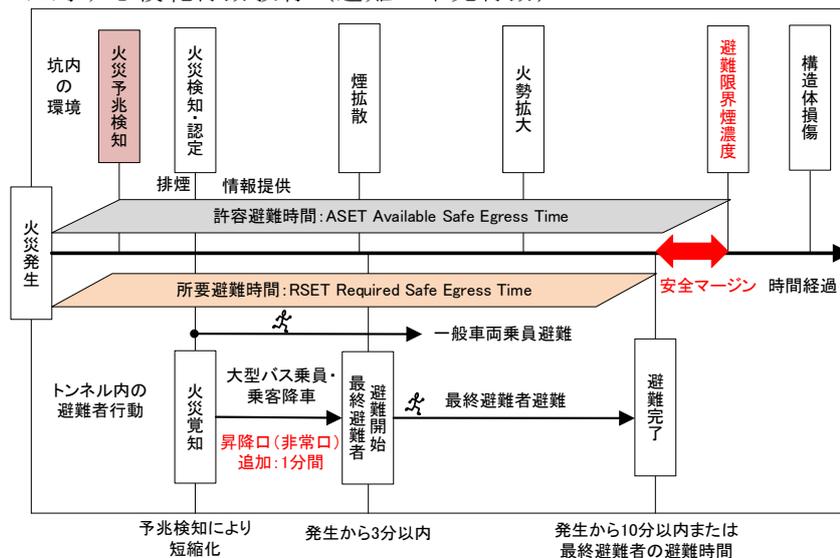


図. 2 所要避難時間 $RSET$ の改善イメージ

4. まとめ

現在実施されている高速道路トンネル火災事故時の避難安全性評価に関する計画について、課題と対応策について取りまとめた。トンネル火災時の避難安全計画は一定のシナリオに沿って評価する事となる。しかし、被災者は健常者だけではない。このため、周囲の人による介助や救助がより重要となる。また、被災者が無事に避難完了するためには避難安全計画上の安全マージン： $RSET \ll ASET$ が必要となる。これらを実現するためにはシステム面、ハード面の改良の他、ソフト面として、火災時に模範的行動を取るプロドライバーの育成や一般利用者のトンネル火災時に必要な知識と行動が伴う必要がある。

参考文献

- [1] 久保田真ほか, 最近の道路トンネル防災設計の動向, こうえいフォーラム第 18 号/2009.12.
- [2] Jim Shields, "Human behaviour during tunnel fires", Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd edition, ISBN 978-0-7277-4153-0.
- [3] 趙玄素, 燃焼生成ガスの毒性を考慮した避難安全設計手法の開発, 火災学会誌, Vol. 69, No.1, 2019.2.