

道路トンネル内の火災時における避難行動に関する一考察

(独)土木研究所 正会員 ○石村利明, 砂金伸治

1. はじめに

道路トンネルは閉鎖された空間であり、火災が発生した場合には利用者の安全面への影響が大きいと考えられる。2004年に出された欧州指令¹⁾によれば、既設トンネルの安全対策について非常用施設等の有効性を検証するため、トンネルの安全度をリスクアナリシスによって実証されるものとしている。こうした中、国内においてもトンネルの安全度を定量的な評価手法に基づいて検討する試みが行われている。この評価手法を検討していくうえでは利用者の避難行動に関する諸数値等が必要となるが、これまで建築分野では避難に関する多くの検討が行われてきている²⁾。本報文では道路トンネルを対象として、トンネル内において火災によって煙が発生した際の利用者の避難開始時間や避難速度などの避難行動について実験を行った結果を報告する。

2. トンネル利用者の避難行動に関する検討方法

検討は、実大トンネル実験施設(2車線道路トンネル規模(延長700m))の約400m区間を用いて、避難行動に関する下記に示す2つの実験を実施した。

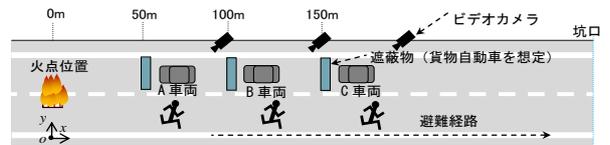


図-1 避難開始時間の実験概要図

2.1 避難開始時間

避難開始時間の実験は、図-1に示すようにトンネル内に火皿を用いた模擬火災を発生させ、トンネル内の停止車両内にいる利用者が避難を開始し始める時間を計測した。火災は、ガソリンと同程度の発熱量を有するノルマルヘプタンを燃焼させるとともに、煙は発煙筒で模擬した。なお、実験時の条件は、火災が発生した後、火点位置の後続車が停止した状態と仮定し、停止車両内の利用者が避難を開始する時間をビデオカメラ等で計測した。車両の配置は、図中に示す乗用車3台(A~C車両)とした。また、トンネル内は無風状態で基本照明を全点灯の条件とした。被験者は、37名(男性35名、女性2名、年齢24歳~66歳(平均年齢41歳))として、各車両に1ケースあたり被験者約9名(3名/1台)で実施した。実験ケースは、火皿面積、避難物の有無(各車両の概ね4m前方に貨物自動車(貨物自動車)が停車して火災を直接視認できない状態を模擬:遮蔽物が有る場合は煙を覚知して避難となり、遮蔽物がない場合は火災を覚知して避難が開始されると仮定する)、避難促進の有無(1人の被験者、もしくは拡声放送によって早期避難を促す)等を変化させた表-1に示す5条件とした。なお、被験者には実験の主旨は伝えているが、着火のタイミング等を知らせずに車両内にとどまる状態で実験を開始した。

表-1 避難開始時間の実験ケース

ケースNO.	火皿面積(m ²)	燃焼時間(分)	発熱量(MW)	遮蔽物の有無	避難促進の有無	備考
1	1	10	2	有り	なし	煙を覚知
2	0.5	10	1	有り	なし	煙を覚知
3	1	10	2	有り	有り	煙を覚知、発災1分後に1人の被験者が避難促進
4	1	10	2	有り	有り	煙を覚知、発災1分後に拡声放送による避難促進
5	1	5	2	なし	なし	火災を覚知

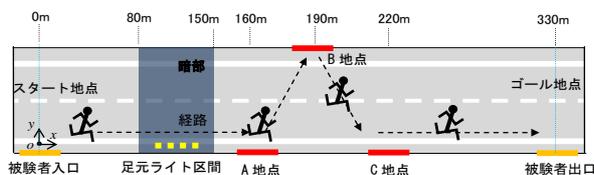


図-2 避難速度の実験概要図

2.2 避難速度

避難速度の実験は、図-2に示すようにトンネル内を閉鎖した状態で、火災時の発煙状態を模擬するためにスモークマシンを使用してトンネル内に煙を充満させた状態で、被験者にスタート地点からゴール地点までの予め設定した経路に従って避難した時の歩行速度を計測した。被験者は20名(男性17名、女性3名、年齢23~62歳(平均年齢42歳))として、被験者は煙濃度が異なる3条件について11~13名/1条件とした。また、同時に、スタート地点から約100m, 150m, 200m, 250mの4箇所においてトンネル内の煙濃度(Cs濃度)の計測を実施した。

3. 検討結果

3.1 避難開始時間

図-3に各ケースにおける各車両位置までの煙の到達時間を示す。煙の到達時間は、火災によりトンネル上部空間に発生する熱気流で煙が流される先端の位置を観測員による目視確認で行った。これより、煙の到達時間は、各車両までの距離に応じて長くなっている。火災規模が他と比べて小さいケース2で煙の到達時間が若干長いも

の、本実験で対象とした火災規模による煙の移動の顕著な差は見られない。

図-4に各ケースの避難開始時間を示す。車両毎の被験者の違いを見ると、各ケースともに火点に近いA車両が最も早く避難を開始し、B車両、C車両の被験者が続く傾向を示した。実験時の観察によれば、B車両、C車両の被験者は、それぞれ火点に近い車両の被験者が避難する行動を確認してから避難し始めていた。これより、避難開始時間は火点に近い利用者の避難行動が最も重要であると考えられる。以下の考察は火点に近いA車両の被験者を対象とする。煙覚知の場合の避難開始時間はケース2を除き概ね約120秒以内に避難を開始している。火災規模の異なるケース1と2を比較すると、避難開始時間が120秒から360秒程度と長い。これは火災規模が小さい場合は、煙は上部空間に存在するものの、下部空間まで降下するまでに時間を要し、車両内から煙の存在が確認しづらかったために避難開始時間が遅くなったと考えられる。一方、火災を直視できる火災覚知のケース5は、煙覚知のケースに比べて各車両の被験者の避難開始時間が早くなっている。これはトンネル内での車両停止の原因が火災であることを即座に認識できたことによると考えられる。また、避難促進を行ったケース3と4は、両ケースともにB車両、C車両の被験者に対して避難促進の効果が現れている。これは、トンネル内の状況、避難の必要性の情報等を早期かつ適確に伝達することで避難開始時間が早まる可能性があるものと考えられる。特に、ケース3の避難者による避難促進は、図-5に示したように車外に出てから避難開始するまでの時間が各車両ともに最も短く、火災の覚知から避難を開始するまでの判断に要する時間が極端に短い結果となっている。

3.2 避難速度

実験時に計測したトンネル内のCs濃度は、各地点ともに高さ方向は極端なばらつきはないものの、トンネル内の位置によってばらついていた。そこで、避難速度の整理にあたっては、トンネル縦断方向の各地点の通過時間をもとに分割した各区分毎の避難速度と近傍のCs濃度との関係を分析することとした。図-6にCs濃度と避難速度の関係を示す。図より、避難速度は被験者による差はあるものの、一部の被験者を除いて概ね1m/s~2m/s程度であった。本結果は、既往の文献¹⁾で示されている避難速度である0.8m/s~1.2m/sと比較すると若干速い結果となった。これは、本実験用トンネルの構造(勾配がなく直線)が単純であり避難経路が比較的わかりやすかったことも影響していると考えられる。Cs濃度と関係で見れば、Cs濃度が概ね0.3程度までの避難速度の変化は見られず、Cs濃度が0.4程度になると避難速度が若干低下する傾向にある。しかし、Cs濃度が0.4程度でも約1m/sの速度で避難が可能であることが分かった。また、スタートからA地点での暗部と暗部以外の区間の避難速度の顕著な差が認められない。これは、暗部に足元ライトを配置したことによる避難方向の誘導効果が現れたものと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本検討により火災時における利用者の避難行動(避難開始時間・避難速度)の概略的な傾向が把握できたものの、実験の条件が限定されており全てのトンネルに対する普遍的な傾向であるとは言えない可能性もある。今後、さらに種々の条件下における検討を行い、利用者の避難行動について定量的な評価を行っていくとともに、利用者の早期避難を促す方法や足元ライト等による誘導効果について検討することが重要と考える。

【参考文献】

- 1) 新・排煙設備技術指針 1987年版, (財)日本建築センター, 1987年
- 2) DIRECTIVE 2004/54/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the trans-European road network

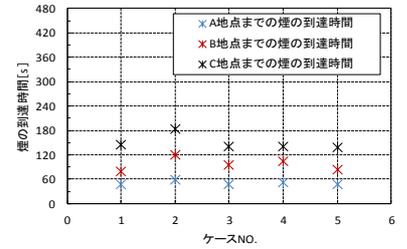


図-3 煙の到達時間

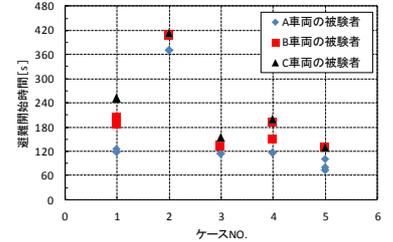


図-4 避難開始時間

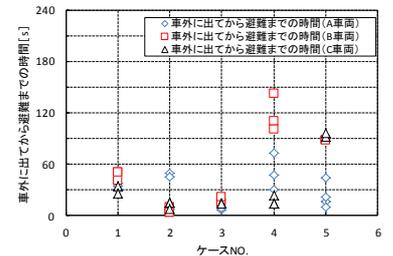


図-5 車外に出てからの避難開始時間

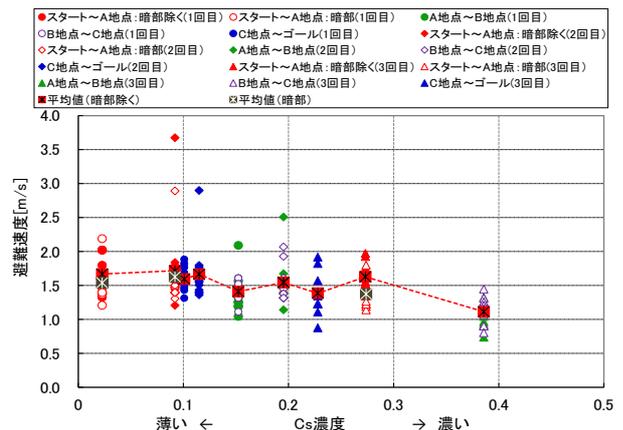


図-6 避難開始時間