

# 足元灯を用いたトンネル火災時の 避難環境改善に関する研究

清水 雅之<sup>1</sup>・八木 弘<sup>2</sup>・海瀬 忍<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)  
E-mail: m.shimizu.ac@ri-nexco.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)  
E-mail: h.yagi.aa@ri-nexco.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)  
E-mail: s.kaise.aa@ri-nexco.co.jp

現在のトンネル火災時における避難評価では、避難時の歩行速度を1.0m/s、 $CS \geq 0.4(1/m)$ の煙が避難者の顔の高さ(1.5m)に降下した時点で行動停止(被災)する想定が一般的である。しかしながら、既往の研究や、実際の火災時の避難事例から、避難歩行速度と煙濃度の関係は一律ではないことも分かっている。このため、本稿では実大トンネルにおいて火災による煙が充満した状況を模擬し、一般の被験者による足元誘導灯の有無と歩行速度の変化について検証実験を行い、アンケート調査を行った結果を報告する。

**Key Words :** Tunnel fires, evacuation behavior, guidance footlights, experiments, evacuation speed

## 1. はじめに

トンネル内火災時に煙により暗闇となったトンネル内に、足元付近に明るく発光するライトを設置することにより、避難先の目印となり歩行避難の安全性向上を目的として、足元誘導灯の効果を検証するための実験を行った。

実験は実大トンネルで火災による煙が充満した状況を模擬し、暗闇の中を一般の被験者に歩いてもらい、足元誘導灯が設置されている場合と設置されていない場合の

違いや、灯具の発光パターンを幾つかのケースに分けて行い、歩行速度の変化を測定する方法と歩きやすさなどの効果を確認するため、被験者にアンケートを行う方法で実施した。

## 2. 足元誘導灯と歩行速度に関する実験

実験は、トンネル内を占有して行く必要があるため、廃道となったトンネル(L=488m,W=6.4m)を利用して、図-1に示す実験エリア図のとおり、トンネル全幅を使用

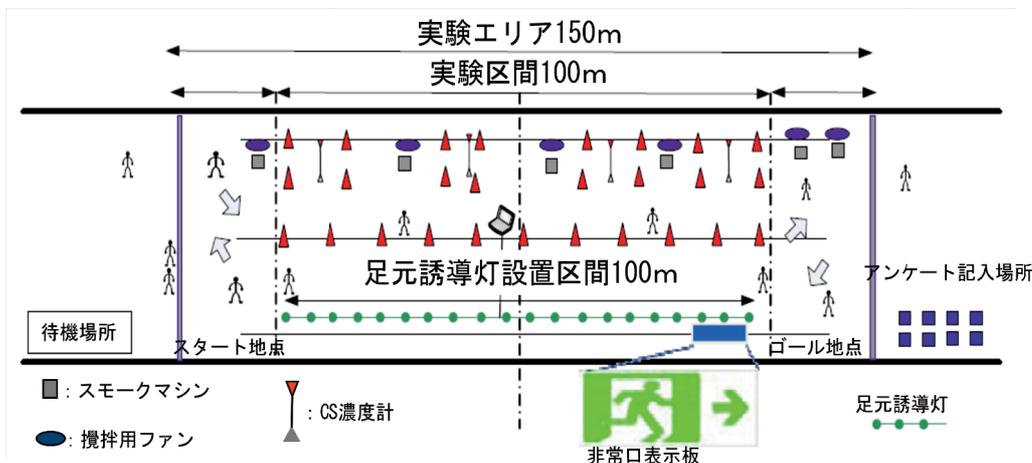


図-1 実験エリア図

して、実験区間を100mの範囲内に実験機器を設置した。被験者の歩行実験を行う区間に火災時を模擬する煙を充填させるため、延長150m区間を壁で閉鎖し、スモークマシンを使用して煙を充填させて行った。図-2、図-3は設備の設置状況である。

実験条件は避難時のCS $\geq$ 0.4(1/m)の煙が避難者の顔の高さ(1.5m)に降下した時点で行動停止(被災)する想定が一般的<sup>1)</sup>であるため、CS $\geq$ 0.4(1/m)以上を目標として行い、足元誘導灯は、図-4に示すように緑色に発光するLEDで、光度13.12cdのものを100m区間に50cmピッチに設置した。色相は総務省消防庁の誘導灯および誘導標識の基準を参考とし、避難口の誘導標識の緑を基本色とした。本実験で用いた灯具は、光度や色相を調整した機器で、実験を行う目的で試作したものである。足元誘導灯の設置位置は、一方向通行トンネルの避難連絡坑がある場合、反対側のトンネルへ避難する非常口が配置されている右側とした。また、設置高さは車道の建築限界外の監査廊を想定した25cmの高さに設置した。図-5に示すようにCS濃度0.4程度以上の中で、足元誘導灯の発光パターンを変えて、スタート地点からゴール地点まで避難してもらい、被験者の歩行速度を計測した。被験者は20～60歳の5世代で年代別に男女3名ずつで30名とし、試験後に暗闇での足元誘導灯の見え方に関するアンケートを行った。



図-2 トンネル閉鎖状況



図-3 スモークマシンによる発煙状況

### 3. 実験ケース

実験は下記に示す①～③の検証を行うため、表-1のとおりケース分けを行い実施した。

- ①視界低下時における足元誘導灯の有無による避難速度の検証
- ②足元誘導灯の教育の前後による避難速度差の検証(教育前とは、足元誘導灯が設置されていることを説明せずに歩行を実施。また、教育後とは足元誘導灯が設置されていることと、足元誘導灯の目的を説明して歩行実験を実施)
- ③足元誘導灯の視認距離の検証

トンネル内の照明は火災時に煙が降下することを想定して消灯して行った。被験者の歩行実験の避難先となるゴール地点には、実際の非常口を模擬した非常口の位置を案内する設備として、非常口表示板<sup>3)</sup>を設置し、非常



図-4 足元誘導灯設置状況



図-5 発光状況(緑色)

表-1 実験条件

Case	内容	点灯間隔	点滅パターン
1	足元誘導灯がない状況の避難速度	—	—
2	避難速度の検証(教育なし)	0.5m	4m/s
3	避難速度の検証(教育有り)	0.5m	4m/s
4	足元誘導灯の点灯間隔による一般被験者の避難速度の検証	2.0m	全点灯
5		10.0m	全点灯
6		5.0m	全点灯
7	Cs濃度0.4[1/m]での足元誘導灯の見える距離の検証	0.5m～20m	全点灯

口強調灯は点滅させた状態で設置した。足元誘導灯の点灯パターンは点灯間隔0.5m, 2.0m, 5.0m, 10.0mの配置で、光が進行方向に流れるパターンと全点灯した全7パターンを用いた。

## 4. 実験結果

### (1) 歩行速度

図-6に各実験ケースの歩行速度の結果を示す。足元誘導灯がない場合はトンネル内が暗闇の状況では平均で0.4m/sであった。これに対して、足元誘導灯の明かりがあると1.4m/s程度であり、避難速度が大きく向上している。なお、都市部のトンネルなどでトンネル火災シミュレーション<sup>4)</sup>を行う場合、避難者の歩行速度の条件を1.0m/sとして行われるケースが一般化<sup>2)</sup>しているが、この条件を上回る速度であった。足元誘導灯の教育前後のケースの速度差は大きな違いがなく、誘導灯を初めて見た場合でも光を頼りにゴール地点までたどり着ける状況にあった。光の点灯パターンは、光が進行方向に流れるように点灯するケースと、全灯の状態とでは歩行速度に大きな違いがなかった。また、設置間隔は、10m間隔の歩行速度がやや低い有意な差が見られなかった。

### (2) アンケート結果 (分かりやすさ)

アンケート調査は心理状態や視認性などに着目した設問で行った。足元誘導灯の分かりやすさの結果を図-7に示す。足元誘導灯がある場合「分かる」の意見が8割以上を占める。点灯間隔は、5mのケースでは、8割程度が「よくわかる」という結果となったが、10mのケースは灯具のピッチが広い為、「非常によくわかる」の比率が低くなり、「どちらともいえない」の回答が多くなった。

### (3) アンケート結果 (視認距離)

足元誘導灯の配置は実際のトンネルに適用することを考えた場合、間隔を密にするほど効果があると考えられるが、経済性の面では相反するため、適正なピッチを検証する目的で、足元誘導灯の見える距離についてアンケートを行った。図-8は平均CS濃度0.44の暗闇におけるアンケート調査結果であるが、足元誘導灯がはっきり見え始める距離は10m~12mが多く、足元誘導灯がわずかに見え始める距離は16m程度という結果となった。

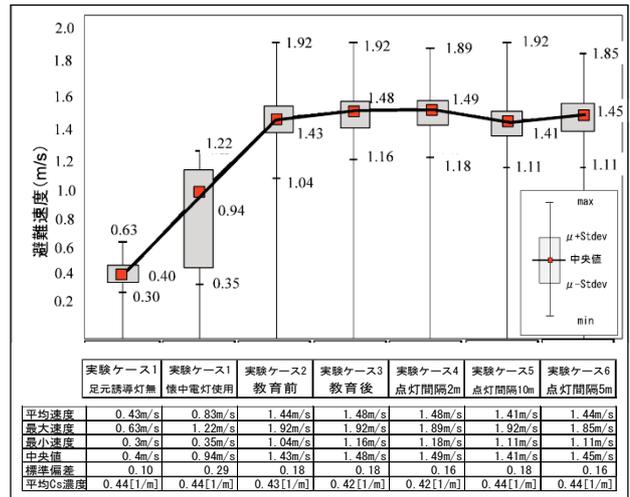


図-6 歩行速度の比較

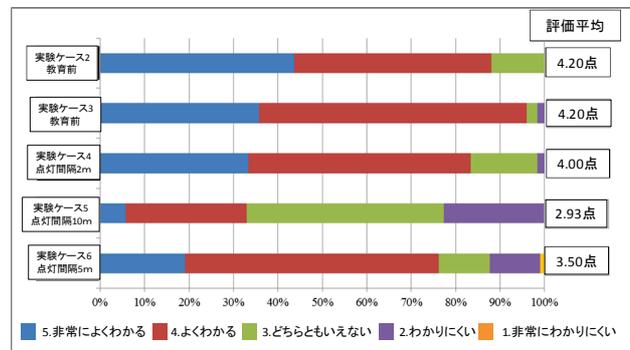


図-7 アンケート調査結果 (分かりやすさ)

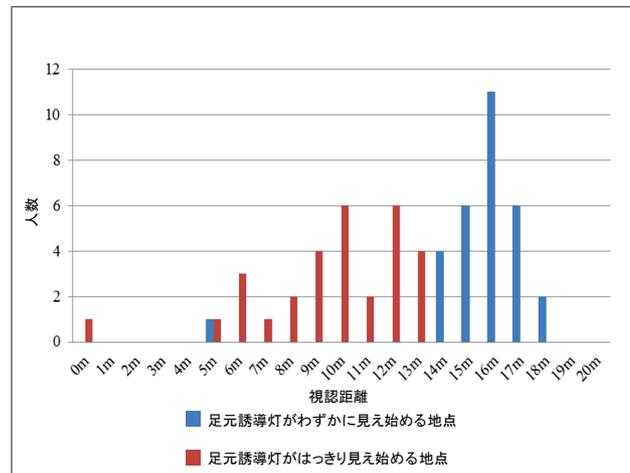


図-8 アンケート調査結果 (視認距離)

### (4) アンケート結果 (自由意見)

各実験ケースの終了後には被験者にアンケートを行ったが、自由意見欄を設けて意見を募った。足元誘導灯の実運用に向けて、被験者から得られた意見も参考にしながら、今後の検討に加えることとした。

表-2 主な意見と今後の検討項目

抽出した主な自由意見	今後の検討項目
足元が照らされていて、歩きやすかった。	必要輝度、明るさの範囲、点灯角度、設置間隔、設置高さ
足元は 2, 3m くらいまで分かったが、障害物があると避けられない可能性があると感じた。	
明かりの数が少ないと、足元も不確かになり、迷いやすくて不安になる。	

アンケートの結果、表-2のとおり興味深い主な意見を抽出し、今後検討すべき項目を整理した。とくに暗闇での足元の視界の良さが評価に大きく影響していることから、設置する灯具の仕様に着目した検討項目とした。

## 5. まとめ

本実験で得られた分析結果は次のとおりである。

- ①照明が全消灯したCS濃度 0.4の暗闇では歩行速度が0.4m/s程度であったが、足元誘導灯を点灯した場合は平均で1.4m/s程度に歩行速度が向上した。
- ②点灯パターンごとに差が現れるかどうか行なったが、大きな違いが見られず、どのケースも概ね1.4m/s程度であった。
- ③足元誘導灯を視認できる最大間隔は被験者アンケートより10m程度であった。

本報告では、トンネル火災時の暗闇を模擬して、実大トンネルにおいて足元誘導灯の効果を確認するための実験を行った。実験の結果、避難速度の改善や、暗闇で避難に効果的な足元誘導灯の特徴がわかった。今後、道路トンネルにおいて適用する場合は、表-2の項目以外にも設備の耐久性、維持管理、設備仕様などの運用面を検討する必要がある。

謝辞：実大トンネル実験を行うにあたり、福井県丹南土木事務所管理担当課の皆様には実験ヤードの使用手続きに関して、ご指導、ご協力を頂きました。また、金沢大学川端信義教授には実験ヤードの準備から実験方法や取りまとめについて御指導頂きました。ここに記して深甚の謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 吉田幸信：道路トンネル内における自動車火災に関する実験について、火災 Vol.33 No.4(145)pp.3-4, 1983.
- 2) 三瓶靖弘, 川端信義, 清家美帆：延長の短い都市内道路トンネルにおける火災発生時の排煙の有効性について、土木学会論文集 F2 (地下空間研究), vol.71, No.1, 11-19, 2015.
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：設計要領第三集(4)トンネル非常用施設, pp.3-4, 2015.7
- 4) 首都高速道路株式会社：トンネル非常用施設設計要領, pp.101-103, 2014.7

(2016. 8. 5 受付)

# EFFECT VERIFICATION EXPERIMENTS FOR GUIDANCE FOOTLIGHTS IN A FULL-SCALE TUNNEL

Masayuki SHIMIZU, Hiroshi YAGI and Shinobu KAISE

In current evacuation evaluation during tunnel fires, it is generally assumed that evacuation speed is 1.0 m/s and evacuees are unable to move (and become casualties) when concentration of smoke: Cs at  $\geq 0.4(1/m)$  descends to their eye level (Height=1.5 meter, from the road surface). However, according to past studies and evacuation cases during real tunnel fires, it is shown that the relationship between emergency evacuation speed and smoke concentration values is not uniform.

Therefore, the condition filled with smoke due to fires was simulated in a full-scale tunnel and experiments were carried out to verify the change of the walking speed of general participants with/without guidance footlights and questionnaire surveys were conducted. This paper describes those results in detail.