

火災時の地下鉄駅ホームの避難安全性に関する研究

Study on Evacuation Safety of Subway Station Platform in Fire

鈴木 智子(K110610)

Tomoko Suzuki (K110610)

1. 研究の背景と目的

東京近郊で生活をする人々にとって、地下鉄は都市における重要な移動手段を果たしている交通機関のひとつである。最近では2008年6月に東京メトロ副都心線が開通し、地下鉄駅コンコースに商業施設が入店するなど、駅構内の空間利用も複雑多様化してきている。

このように便利になっていく一方で、地下鉄利用者数が増えたことにより、火災時に避難することへの危険性も高まっていると考えられる。

2003年2月に発生した韓国大邱市の地下鉄火災を受けて、煙流動に関する研究などが積極的に行われてきた。実際に地下鉄駅舎を用いた今日規模火源による、煙流動の実測を行い、煙流動計算の妥当性の研究も行われている。¹⁾煙流動計算と避難時間の比較によって、避難安全性を評価する研究も見られる。ただし避難時間は簡易計算法によるもので、ホーム上の避難群衆の流れについて言及した研究ではない。

本研究では、現在の東京の地下鉄駅の火災時の避難安全性について評価することにより、その実態を把握・分析することを目的とする。

2. 地下鉄における火災事例

1956～2003年までの28件の地下鉄道の火災事例を整理しており²⁾、そのうち死傷者数の発生した火災事例は短絡等による電気火災はトンネル内で3件、駅構内での電気火災及び工事中の失火が各1件であった。その他は車両下部や車両座席などに引火しているが、どれも小火で負傷者もない。

この既存の調査を受けて、私自身も朝日新聞オンライン記事データベース「聞蔵」³⁾より、事象名あるいは本文に「地下鉄火災」という単語が記載されているものをひとつひとつ抽出した。すると、1968年から2009年の記事において、7件の地下鉄火災が発生していることが確認できた。

表1 各国の地下鉄火災事例

駅名 (都市/国)	火災概要
神谷町駅 (日本/東京)	1968年1月27日主抵抗器が過電流により過熱し、上部にある樹脂製電線管から出火し延焼した。死者0人。負傷者11人。1両全焼、1両が半焼。
キングズクロス駅 (イギリス/ ロンドン)	1987年11月18日19:00頃、マッチの燃えカスがゴミ箱に捨てられ出火。火災発生後、木製エレベーターは瞬間に炎と猛煙に包まれたが当日深夜に鎮火した。死者31人、負傷者約50人。

新瑞橋駅 (日本/名古屋)	1993年4月13日23:30頃、駅の改装工事の溶接中火の粉がエスカレーターの上に落ち機械に付着した油や埃に燃え移り出火。火はすぐ消し止められ、死者、負傷者ともに0人。
梅田駅 (日本/大阪)	1995年11月28日6:37頃、上り線レールの外側70cmのところにある送電線から出た火花が受け皿付近の油や埃に引火。火は間もなく消し止められ死者、負傷者ともに0人だが上下線57本が運休止、約20万人に影響が出た。
中央駅 (韓国/大邱)	2003年2月18日9:54頃、車内でプラスチック類の瓶に入ったガソリンと思われるものに放火した。13:38頃に鎮火した。車体は骨組みを残して焼けただれた。また、隣車両にも延焼した。死者196人、負傷者147人。
金鐘駅 (中国/香港)	2004年1月5日9時頃車内で小型のガスボンベ溶剤に放火した。駅に到着する寸前に突然火災が発生、乗客が煙を吸い込むなどして病院に運ばれた。死者0人負傷者14人。
赤坂見附駅 (日本/東京)	2009年11月24日意8:40頃、駅構内でビニール傘が線路に落ちて電気ケーブルと接触し、火災が発生した。火はすぐに消し止められ、死者負傷者ともに0人だったが、乗客が一時電車内に閉じ込められ具合が悪くなった人がいた。

この表1により、海外ではイギリスのキングズクロス駅で木製エスカレーターの燃焼が起因した火災が発生し、また韓国では車両内での放火による車両の延焼火災によって大惨事に至った。日本では大事に至っていないが、数件の小火火災が起きていた。従って、火災発生を前提とした安全性確保が必要であると考えられる。これより、出火の危険性があることがわかる。

3. 韓国大邱の地下鉄火災を受けての調査報告について

韓国大邱市の地下鉄火災事故が起きた後、2003年2月に国土交通省が火災対策基準をもとに、日本全国の「地下鉄における火災対策設備の現況」⁴⁾を調査し、火災対策基準の適合状況がまとめられた。そこで東京の地下鉄事業者についてみると、火災対策基準を満たしていない項目がホームに限定して主として次のように発表された。

- ・煙の流動を妨げる垂れ壁が天井面から50cm未満
- ・避難通路が1通路のみ
- ・ホーム階の排煙設備なし

日本のある地下鉄事業者では改正された火災対策基準に基づき、避難誘導設備、排煙設備、二段落としシャッター、消火栓設備等の整備、ケーブルの耐熱措置、車両天井材の耐熱措置、車両の貫通扉の設置などに取り組んでいることが広報されている。⁵⁾

4. 現在の東京の地下鉄駅舎の調査

4-1 分析内容

東京の地下鉄駅舎の火災時の避難安全性の現状を知るために、東京のある地下鉄全線を対象に、ホームの形状と売店の数を調べるとともに、ある1路線を対象にホームの形状、出口配置、消防設備、可燃物について調査した。

4-2 調査結果

4-2-1 東京のある地下鉄全線の現状調査

分析した結果をそれぞれグラフにまとめた。

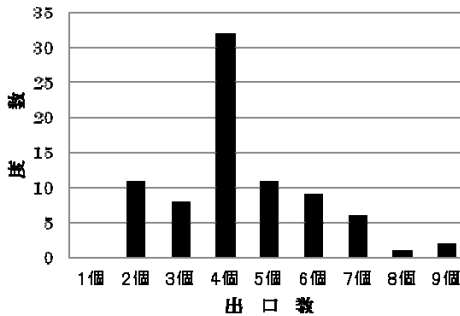


図1 相対式ホームの出口数の度数

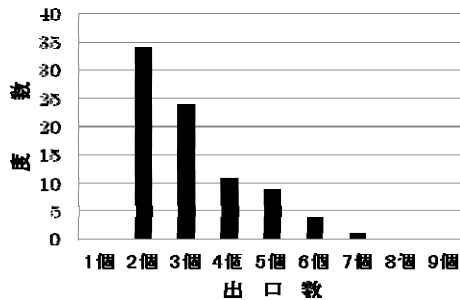


図2 島式ホームの出口数の度数

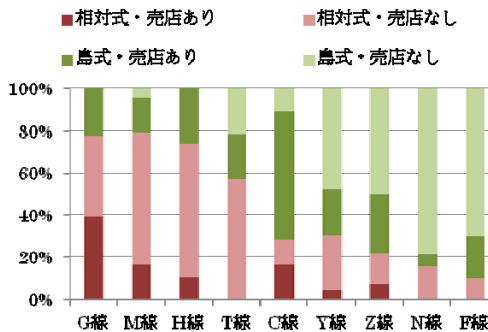


図3 各線の島式・相対式ホームと売店の割合 (左から開通年の古い順)

これより、相対式ホームの方が島式ホームより出口の度数が高いことがわかる。相対式はホームが二手に分かれるため、その分出口の数が増えたと考えられる。また、図3は開通し始めた頃は相対式ホームが多かったことに対して、段々と島式ホームが増えてきていることがわかる。C線が開通する以前は島式に売店が設置されている割合が高いが、新しい4線は売店の数が比較的減ってきている。

4-2-2 ホームの平面計画に関する分析

前項の調査をもとに、朝のピーク時(7:50~8:50)の混雑率が最大196%と日本一である、ある東京の地下鉄T線に着目し、調査・分析をした。

表2 T線ホーム一覧表

駅名	平面概要図	出口数
N		2
T		4
B		2
M		6
K		5
N		6
O		4
S		4
D		5
I		7
G		4
W		4
A		7
C		2

《凡例》

- ピンク・・・エスカレーター
- オレンジ・・・階段
- 白色・・・エレベーター
- 黒色・・・売店
- 矢印・・・改札

いずれの駅も共通して煙感知器、熱感知器、防煙シャッターと消火栓といった消防設備がもれなく設置されていた。また、ホームには熱感知器と煙感知器は階段やエスカレーターの手前の天井に取り付けられており、煙感知器がホーム全体に取り付けられていた。消火栓は消防法に適合するように設置されている。

また、ホームの可燃物は主にポスター(紙または電子板)と売店がメインだったことがわかった。相対式のホームでは、軌道間にある柱が、向かい側のホームを見るとき、正面は見えるが、斜めからは向かいのホームの状況を確認することが難しく、状況把握に手間取って避難開始が遅れる可能性があると考えられる。

K・N・S 駅は他の駅に比べて階段の数が多いことがわかる。これらの駅は乗換駅が多いため、経済性と利便性の観点から、売店を設置していると考えられる。

5. 地下鉄駅舎の避難安全評価のための調査・分析
前項で調査をした結果をもとに、東京メトロ T 線の地下鉄駅舎について更に詳しく調査・分析をした。

5-1 調査内容

① ホームの滞在人数

ホームの滞在人数を推定するため、電車に乗る人が多い駅(B 駅)・電車から降りる人が多い駅(M 駅)・電車に乗る人も降りる人も多い駅(O 駅)の 3 つの分類パターンについて、それぞれ代表する駅を選定し、電車到着時の待合人数、降車人数を調査した。

② 移動中の車内の人数

路線、駅、時間帯などの条件によって、①と同様に値が異なるはずである。そこで本検討では、いわゆるサービス定員に想定される乗車率を掛け合わせることで滞在人数を与えることとする。

③ エスカレーター・階段の群集流量

シミュレーションでは平面上での移動を予測するため、そこで、エスカレーターについてはエスカレーター上の歩行を無視した輸送量[人/s]、階段については流動量[人/m・s]が等価となるようにシミュレーションの設定条件を修正する。従って、ここでは実態に即した状況を想定し、エスカレーターの輸送量及び階段の流動量を設定する。

④ 売店の燃焼速度

「キオスクを火源とする模擬線路階の火災実験」⁶⁾の実験結果をもとに、燃焼速度を設定する。

5-2 調査結果及び結果

調査結果は次の通り

① T が一番混み合う時間(7:40~8:30 頃)に、乗車人数については電車到着時の 1 扉あたりの待ち人数を、降車人数については、電車の扉が開くところから閉まるところまでの人数を数えた。

また、一旦降りて車両に戻る人は降車人数にも乗車人数にもカウントしていない。

表 3 電車に乗る人が多い駅の人数

駅名	1 回目	2 回目	3 回目	平均
B 駅	10 人	12 人	11 人	11 人
O 駅	9 人	10 人	8 人	9 人

表 4 電車から降りる人が多い駅の人数

駅名	1 回目	2 回目	3 回目	平均
M 駅	15 人	21 人	14 人	16.7 人
O 駅	8 人	14 人	14 人	12 人

② 車両の滞在人数

駅間の移動中の車内の人数を数えることで車内の滞在人数を調査することは可能であるが、一般的には混雑状況が乗車率を用いて表されるため、車両のサービス定員と乗車率の掛け算によって人数を与えることとする。

③ エスカレーター・階段の群衆流量

● エスカレーターの群衆流量

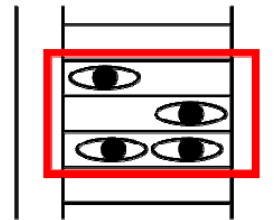


図 4 エスカレーターを上から見たイメージ図

まず乗合状態としては、図 4 に示すように 3 ステップに 4 人が立っている状況を想定し、流量を求めると、次式のようになる。

$$Q_{ES} = \frac{4(人)}{0.78(1.4) \times 3(歩)}$$

これより、流量は 1.75 人/s となる。

● 階段の群衆流量

まず、「建築設計資料集成⁷⁾」より、人の寸法を求める。これより、「男性」、「セーター」を想定し、「肩幅 40.1cm」、「胸部厚径 21.5cm」に対して「セーターの幅方向 7.4cm、厚方向 6.3cm」を加えることで階円の長軸 47.5cm、短軸 27.8cm を用いてモデル化する。

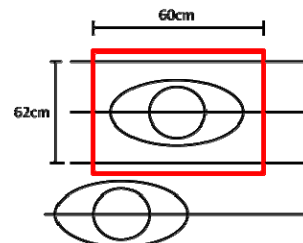


図 5 階段のステップ断面図

1 人が階段上で占める範囲がステップ 2 段分(62cm)と幅(60cm)で用いられる矩形であると想定すると、階段上の群衆移動時の密度は次式によって求められる。

$$Q_{ES} = \frac{1(人)}{0.6(m) \times 0.62(m)}$$

これより、密度は 2.68 人/m²となる。

この結果を用いて、ミリンスキーらの測定データ

より歩行速度を算出し、0.72人/m・sを導いた。
 ④ 既往の研究をもとに、可燃物(キオスク)の燃焼速度を算出した。まず、可燃物燃焼重量—時間関係を図に示す。

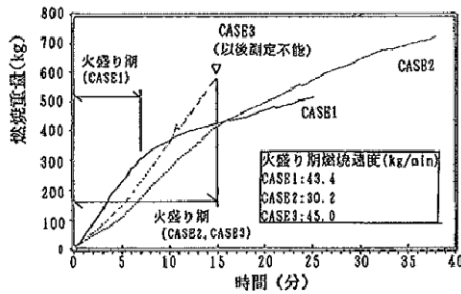


図6 可燃物燃焼重量—時間関係

積載火災荷重は、主に天然高分子系の材料の物品と考えられるので、木材の単位重量あたりの発熱速度(16000kJ/kg)を利用する。また、CASE1~3それぞれ2つの現象で分けて発熱速度を算出する。

- CASE1の結果
0分~6分のとき

$$\frac{210\text{kg} \times 16000\text{kJ/s}}{360\text{秒}} = 9333\text{kW}$$

同様に算定すると、表5のように整理される。

表5 各時間帯の発熱速度

売店タイプ	時間帯(分)	発熱速度(kW)
CASE1	0~6	9333
	10~25	6755
CASE2	0~15	7111
	15~38	3478
CASE3	0~11	9697
	11~15	12000

この結果より、CASE1と2で最大9333kW、CASE3で最大12000kWとなった。

これら①~③の調査結果を用いて、次の項目「地下鉄駅舎の避難安全評価のケーススタディ」を行う。

6. 地下鉄駅舎の避難安全評価のケーススタディ

東京メトロT線K駅をモデルに、避難安全を評価するケーススタディを行った。

6-1 解析概要

煙流動解析と避難シミュレーションを並列計算して煙にさらされている人の状態と避難安全性を評価できる解析ソフト「建物火災時における避難安全評価システム(EVATUS)」により行う。また、計算条件は前項で調査・分析した結果を使用する。

6-2 解析対象

解析対象の地下鉄駅ホームはT線K駅ホームとする。売店から発熱させ、乗降客の避難の様子を確認する。

6-3 計算条件

計算は次の3つの乗降客のパターンで行った。

- ① 避難時に階段とエスカレーターを使用する場合
- ② 避難時に階段のみ使用する場合
- ③ 電車到着時を想定した場合(避難時に階段とエスカレーターを使用する)

人数設定は、電車の中にいる人は次のように決め

る。定員は1両あたり152人で10両編成のため、1,520人とし、乗車率はT線の一定区間の最大乗車率が196%のため、これを参考に国土交通省が発表している混雑度の目安180%を本計算では使用する。よって、この定員数と乗車率をかけたもの(1,520人×180%=2,736人)を使用する。なお、向かい側のホームの人数は比較的少ないため、0.125倍(342人)とした。

火源設定については、表5より、最大の12000kWを使用する。



図7 シミュレーション画像

また図7のように空間を分割し、空間の高さの接続部を9割の開口部を設けるように設定し繋げた。

6-4 計算結果

表6 計算結果

人の滞在場所	ホーム				ホームと車内	
	エスカレーターも使用		階段のみ使用		電車到着を想定	
	階段	エスカレーター	階段	エスカレーター	階段	エスカレーター
配置位置①	330秒	—	330秒	—	490秒	—
配置位置②	—	203秒	—	—	—	429秒
配置位置③	154秒	—	154秒	—	123秒	—
配置位置④	219秒	176秒	237秒	—	181秒	184秒
配置位置⑤	217秒	218秒	237秒	—	188秒	187秒

この計算結果より、エスカレーターを利用可能とすると、階段のみの場合よりも約8~20秒ほど早く避難できることがわかる。電車到着時を見ると、階段・エスカレーターのみでの避難口は限られ、人が集中するため、避難時間が大幅にかかっていることがわかる。

7. まとめ

本研究では、東京のある地下鉄T線を軸に調査検討を進めたが、他の路線にも危険の高いと思われる駅も対象に評価することが大切だと考えられる。

さらに今後の課題として、地下鉄駅ホームはスプリンクラー設備が設置されてなく、特に初期消火の確実性についての評価を行うことも必要であると考ええる。また、熱感知器が出口(改札、階段)の近くで、長いホームには煙感知器のみだったため、覚知までに時間もかかり、気がついたときは火災が大きくなっているという場合も考えられる。

初期消火の確実性は、普段ホームに駅員がいない状態において、駆けつけの容易さが影響するので、これも駅の特性に依存することになる。初期消火の確実性の面からも避難安全性を評価したい。

【参考文献】

- 1) 田中総他:「地下鉄駅舎火災における煙流動性状」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2005年9月
- 2) 長谷見雄二他:「地下鉄火災における煙流動性状」、日本建築学会学術講演梗概集、2004年8月
- 3) 朝日新聞オンライン記事データベース「開蔵」
<http://database.asahi.com/library/>
- 4) 国土交通省:「地下鉄における火災対策設備の現況」
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/08/080411/01.pdf>
- 5) 東京メトロ:「火災対策」
<http://www.tokyoMetro.jp/safety/prevention/fire/index.html>
- 6) 石橋輝樹、蓮田常雄、藤井光治郎:「キオスクを火源とする模擬線路踏の火災実験」、日本建築学会構造系論文集、1995年4月
- 7) 日本建築学会:「建築設計資料集成—人間」、2004年1月