

# 駅の階段とホーム狭隘部における 混雑時の歩行安全性評価

山本 昌和\* 石突 光隆\*

Safety Evaluations of Crowd Walking on Stairs and Platforms in Stations

Masakazu YAMAMOTO Mitsutaka ISHIZUKI

Stations in urban area are usually congested. If a station doesn't have enough capacity for unusually large numbers of passengers, they may be exposed to risks of crowd disasters. But so far criteria about crowd safety have not existed except the experiential knowledge. An experimental study was performed to reveal some of criteria about crowd safety on stairs and platforms, which are the riskiest places in stations. Through experiments, the density of crowd which makes passengers on stairs feel uneasy and the density variation at narrow parts of platforms were acquired. From these results, an approach to new criteria of crowd safety and evaluation methods using these criteria obtained was derived.

キーワード：駅，階段，ホーム，混雑，安全性，評価

## 1. はじめに

都心の駅構内では、大規模な旅客流動が日常的に発生する。特に、朝夕のラッシュアワーには、旅客が集中し、駅構内のホーム、階段は混雑した状態となりやすい。

また、輸送障害などに起因する列車遅延が生じた場合には、駅構内に滞留する旅客が増加しやすい他、運転見合わせなどに伴う振替輸送が行われた場合には、迂回先となる他の路線や駅に通常時を上回る旅客が集中することもある。更に、災害の影響で、都市全域にわたって運行を停止していた鉄道が、運行を再開した直後も、一部の駅に多数の旅客が一斉に押し寄せ、ホームや階段が混雑する場合がある。

そこで、本研究では、上記のような発生頻度は低いが、旅客の安全を脅かす可能性のある混雑を対象とし、規制の判断や、異常時を想定した駅施設計画の参考となる評価指標を提案することを目的とする。

## 2. 混雑時の旅客の誘導判断基準について

### 2.1 駅における混雑時の対応

駅における混雑時の旅客の制御方法としては、花火大会等駅周辺で開催されるイベントへの対応が参考となる。イベントのように事前に来場者数が予想できる混雑に対しては、通例、開催者・交通事業者・警察・警備会社等による事前協議が行われ、警備計画が立てられる<sup>1)</sup>。

一方、朝夕のラッシュアワーに発生した輸送障害や災

害等に起因する混雑に対しては、発生そのものが予測し難いことから、綿密な計画と要員の配置が難しく、各駅で隣接駅や管轄支社、周辺在住の職員への応援要請を行いながら、人的な対応が取られている。

ただ、いずれの場合も、入場規制等の判断は各駅の責任者の経験に基づき、旅客が危険な状態となる事前の段階で混雑状態を低減させ、旅客の安全を確保するような対策が取られている。

### 2.2 駅以外の施設における混雑への対応

駅以外の施設での群集の制御方法について、不特定多数の人が集まる場所での警戒業務に当たる、雑踏警備業の取組みを参考に、群集制御の目的と手段を文献<sup>1) 2)</sup>に基づき整理した(表1)。施設入口付近での群集を整然とした状態に保つための手段、混雑による圧力を抑制するための手段、その他緊急事態のための対策に分類されている。

群集が収容限界を超えた場合や、混雑が過密となってきた場合など、危険の兆候が見られた場合には、早期に群集を迂回・分断させる対応を取るものとされており、その判断では、群集の密度が目安とされている。具体的な密度の値については、研究者や自治体、警察による過去の調査データが参考とされている。

### 2.3 混雑する空間の安全性に関する基準の例

雑踏警備業その他の関連文献から、場所ごとの収容限界を示す密度の基準値を整理したものが表2である。

水平路での密度の基準値は、実際に群集の安全確保の実務に携わる雑踏警備での例である。

\* 構造物技術研究部 建築研究室

特集：構造物技術

階段については、建築物の避難設備の規模算定を行う際の基準<sup>3)</sup>である。この値の根拠は書かれていないが、他文献<sup>4)</sup>から推察すると、建築基準法で定められた標準的な階段（幅員1.2m以上、踏面24cm以上）に1段おきに2人ずつ並ぶ状況を想定したと思われる。

エスカレータ（以下、ESC）については、収容人数に関する記述はないが、標準的な仕様<sup>5)</sup>では、ステップに乗ることが可能な人数から密度4.0人/m<sup>2</sup>となる。

このように、駅での混雑時の安全性を考える上で、水平路は、具体的な基準も明確で雑踏警備での実績も豊富である。ESCは、ステップ上の混雑よりも、降り口での混雑による危険性が高いことから、混雑検知と自動制御<sup>6)</sup>による安全性の向上が具体的に進められている。

### 3. 階段における旅客収容密度

駅では、階段内に旅客を滞留させないことが原則であるが、旅客の流れを完全に制止できない場合など一時的に階段内の旅客密度が高くなることもある。しかし、階段の旅客収容密度について、これまで定量的に検討された例はない。そこで実験による検討を実施した。

#### 3.1 階段における混雑再現実験

##### 3.1.1 実験概要

一般的に、群集は一斉に動き始める時に危険が生じやすく、階段の収容人数を考える上では、安全に歩行開始できる密度を保つことが重要であると考え、それらの密度を把握するための実験を行った。

実験には、図1のような高低差1.65mの階段において、中央6段分の測定範囲を中心に6～37名の被験者を均等に整列させた状態から3歩だけ階段を昇らせ（もしくは、降りさせ）、被験者頭部に付けたマーカーにより被験者の移動量を測定した。歩行を3歩に限定したのは、無理な歩行を継続させないための安全対策の一環である。

被験者には、同じ条件を2～3回体験させた後、歩行開始する際の足の動き、および不安感に関するアンケート調査（表3）を実施した。再現した条件は、静止時の密度として、0.62～4.94人/m<sup>2</sup>の10種類とした（表4）。

##### 3.1.2 実験結果

図2、3に、密度と歩行開始の遅れの関係を示す。歩行開始の遅れは、測定範囲内にいる被験者のうち、最初に歩行開始した被験者の移動開始時刻を基準とした、その他の被験者の移動開始時刻との差と定義する。

降りの場合、密度の増加に伴い段階的に遅れが増加し、密度4.94人/m<sup>2</sup>では遅れは大幅に増加する。昇りの場合、密度1.23人/m<sup>2</sup>以上での遅れは概ね0.6secで推移し、降りと同様に密度4.94人/m<sup>2</sup>の場合、遅れは大幅に増加する。また、降りと昇りの比較では、降りの方が全体

表1 雑踏警備業における群集制御に関する対応手法

目的	手段	事例
群集の整列	・整列場所の確保 ・迂回路による歩行距離の延長 ・適正な整列方式の選択 ・最前列の着座 ・適正な広報 ・交通機関との連携	博覧会会場、コンサート会場、ショッピングセンター、パチンコ店の入口における警備など
群集圧力の抑制	・動線の変更と切換 ・障害物の移動 ・誘導帯による障害物の回避 ・群集の分断、迂回 ・交差点での動線整理 ・後方への広報の徹底	各種パレード、マラソン、花火大会会場、神社仏閣の初詣の来場者動線における警備など
の緊急時対応	・緊急動線（人）の確保 ・緊急動線（車）の確保 ・待ち列内に横断路の確保	雑踏警備全般に共通

表2 密度の上限を表わす基準値の例

場所	基準値	出典
水平路	2.0人/m <sup>2</sup> (歩行時の限界密度) 4.0人/m <sup>2</sup> (停止時の限界密度) 3.5人/m <sup>2</sup> (行列、収容場所の面積の算定基準)	「雑踏警備業務の手引き」 <sup>1)</sup>
階段	4.0人/m <sup>2</sup> (0.25m <sup>2</sup> /人) (避難経路の階段室の必要滞留面積から逆算)	建設省告示第1441号
ESC	約4.0人/m <sup>2</sup> (電動機の性能の下限值、標準的な寸法、乗込み率80%から試算)	・国土交通省告示第478号 ・「鉄道駅のエスカレーターハンドブック」 <sup>5)</sup>

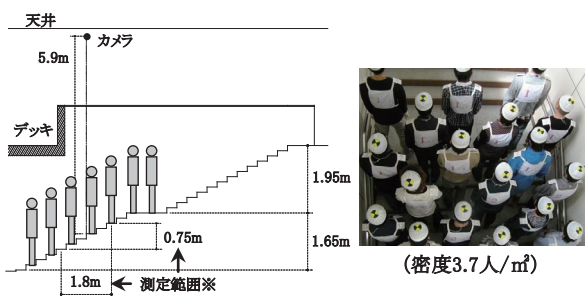


図1 階段での混雑再現実験の概要

表3 階段における歩行開始実験のアンケート内容

Q1: 階段をのぼる（おりる）ときの足の動きについてお聞きします。  
 ①合図に合わせて自分の意思で踏み出すことができた  
 ②合図は聞こえたが、踏み出すことができず、前のひとが動くまで踏み出すことができなかった  
 ③合図は聞こえたが、踏み出すことができず、後の人が当たったので踏み出さざるを得なかった  
 ④まったく踏み出すことができなかった

Q2: 階段をのぼる（おりる）ときの気持ちについてお聞きします。  
 ①不安 ②どちらかといえば不安 ③どちらでもない  
 ④どちらかといえば安心 ⑤安心

表4 階段において再現した密度と整列状況の模式図

凡例	密度(人/m <sup>2</sup> )								
	0.62	1.23	1.65	1.85	2.47	3.09	3.70	4.32	4.94
12段目	●	●●	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●●	●●●●●●●	●●●●●●●●	●●●●●●●●●
11段目		●	●●	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●●	●●●●●●●	●●●●●●●●
10段目			●	●●	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●●	●●●●●●●
9段目				●	●●	●●●	●●●●	●●●●●	●●●●●●
8段目					●	●●	●●●	●●●●	●●●●●
7段目						●	●●	●●●	●●●●
6段目							●	●●	●●●
5段目								●	●●
4段目									●
3段目									
2段目									
1段目									

※密度4.94人/m<sup>2</sup>の条件は追加試番として実施したため、アンケート調査は行わなかった。

的にデータのばらつきが大きく、遅れも大きい。

次に、図4、5に、足の踏み出し状況に関するアンケートの結果を示す。昇り降りともに「後ろから押され踏み出さざるを得なかった」「まったく踏み出せなかった」という回答はほとんど見られず、密度2人/㎡で「前が動くまで踏み出せなかった」という回答が出始める。密度の増加に伴い「自分の意思で踏み出せた」という回答は少なくなり、「前が動くまで踏み出せなかった」という回答が増える。これら回答が逆転する（互いに半数となる）密度は、降りでは4人/㎡、昇りで4.32人/㎡であった。このことから群集内を自由意思で歩行開始できる密度は、概ね4人/㎡であることが分かる。

図6、7に、歩行開始時の不安に関するアンケートの結果を示す。ここでは「安心」「どちらかといえば安心」という回答は「安心」として、「不安」「どちらかといえば不安」という回答は「不安」として集計した。

昇り降りともに、密度2人/㎡で「不安」という回答が出始め、密度の増加に伴い「安心」という回答は減少し、「不安」という回答が増加する。「安心」と「不安」が逆転するのは、足の踏み出し状況に関するアンケート結果と同様に4人/㎡であった。特に、降りでは密度4.32人/㎡で不安と答えた被験者の割合は70%に達している。

### 3.2 階段で安全が確保できる収容密度の上限

実験から、極度に混雑した階段で歩行者が不安を感じずに歩行開始できる密度は、2人/㎡以下、自らの意思で足が踏み出せ、半数以上の歩行者が不安を感じずに歩き始められる密度は、4人/㎡以下であることが分かった。

言い換えると、階段内で停止状態にある群集の平均的な密度が2人/㎡を超える場合、一部の歩行者は、自由に足を踏み出せない状況にいる可能性があり、事故を未然に防ぐ意味でも、前列から徐々に歩行を開始するよう促すなどの誘導を行う必要があると言える。また、階段内に群集を滞留させる場合も、規制解除時の安全を確保するため、密度を4人/㎡以下に保つ必要があると言える。

## 4. ホームでの旅客の安全確保に関する定量的目安

駅のホームは、旅客の安全に最も注意が必要な場所であるが、混雑時に旅客を誘導する上での定量的な条件・目安は存在しない。そこで実験による検討を実施した。

### 4.1 ホーム狭隘部での通過実験

#### 4.1.1 実験概要

ホーム上の安全確保については、優先度の高い転落防止や触車防止に着目し検討した。特に、ホーム狭隘部（階段や事務室等とホーム端に挟まれた空間、以下、狭隘部）は危険性が高く、混雑時でも、旅客が狭隘部を安全に通

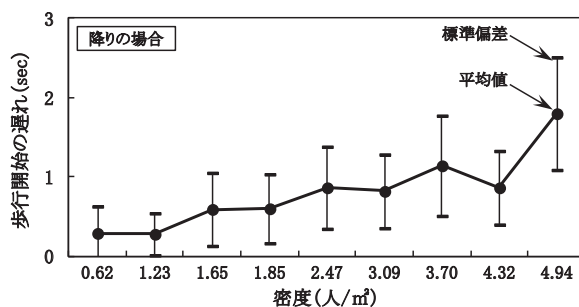


図2 密度と歩行開始の遅れの関係（降り）

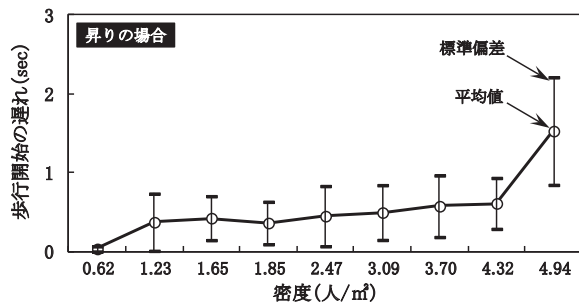


図3 密度と歩行開始の遅れの関係（昇り）

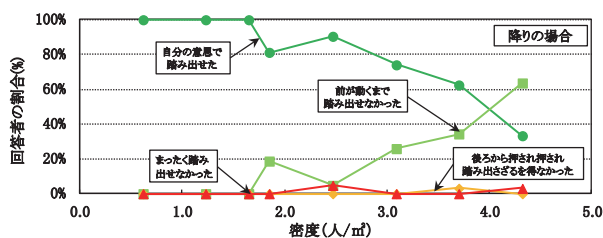


図4 密度と足の踏み出しの関係（降り）

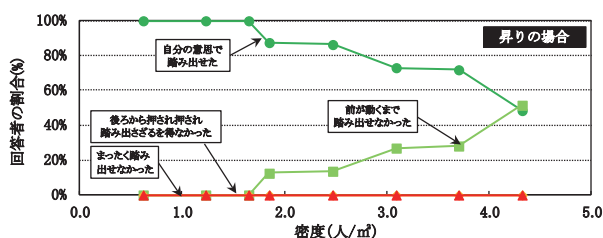


図5 密度と足の踏み出しの関係（昇り）

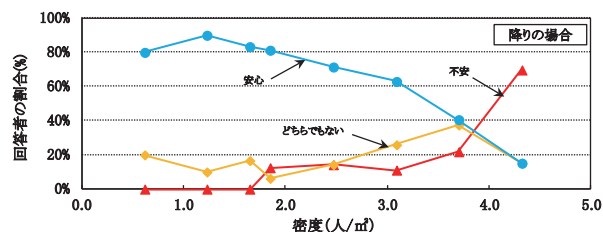


図6 密度と不安感の関係（降り）

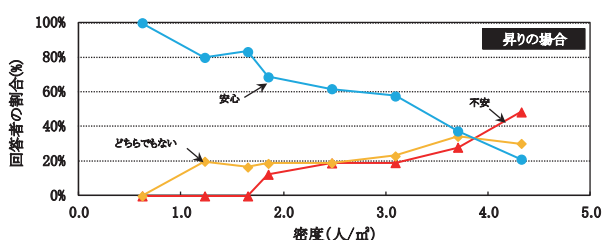


図7 密度と不安感の関係（昇り）

特集：構造物技術

過できる条件を把握するための実験を行った。

実験は、図8に示すような模擬ホームの狭隘部と被験者（18～64歳/平均25.5歳の男性80人）により、狭隘部の混雑状況を再現し、その密度を測定した。

模擬ホーム上には、端部から70cmの位置に白線を敷設し、被験者には、その内側を歩行するように指示した。このような白線は、現在では敷設の義務付けはされていないが、ホームにおける警戒白線として、「ホーム縁端から70cm～100cmの位置であり、標準は80cm」<sup>7)</sup>のような目安が示されていた経緯があり、これは、ホーム上での旅客の安全に対する風速限界により定められたものでもある<sup>8) 9)</sup>。今回は、最小の70cmとした。

設定した狭隘部の幅員は、2.5m、2.0m、1.5mである。2.5mは新幹線ホームにおける跨線橋口、地下道口、待合所等とホーム縁端との距離の最小値であり、1.5mは在来線ホームにおける同値の最小値である<sup>10)</sup>。

表5に実験条件を示す。実験では、階段から流入した乗車旅客の流れが単独で通過する状況（1方向流）と、階段へ向かう降車旅客の流れと交錯する状況（対向流）を再現した。混雑状態を持続させるため対向流の人数比は1:1とした。更に、狭隘部で列車を待つ旅客（以下、乗車待ち旅客）を想定し、被験者数名を警告ブロックの内側に立たせた。

また、被験者には、ホーム端から安全な距離を保つことができたかを把握するためのアンケート（表6）を実施し、試番終了毎に回答させた。

4.1.2 実験結果

図9に示す密度推定範囲の面積と狭隘部両端を通過した被験者数から推定した狭隘部密度の変化から、ピーク値を抽出して最大密度と定義した。この値は狭隘部の瞬間的な混雑の程度を表す。

図10に、最大密度と「白線から押出されそうになった」と回答した被験者の割合との関係を示す。1方向流では、最大密度に拘わらず、押出されそうになったと回答した被験者はほとんどいないのに対し、対向流では、最大密度が高い程、押出されそうになったと回答した被験者が増えていることが分かる。しかし、対向流の場合、最大密度が同程度でも、押出されそうになったと回答した被験者がいない場合があることもわかる。

次に、図11に狭隘部幅員と「白線から押出されそうになった」と回答した被験者の割合との関係を示す。1方向流では、狭隘部幅員に拘わらず押出されそうになったと回答した被験者はほとんどおらず、対向流では、狭隘部幅員が狭い程、押出されそうになったと回答した被験者が増える傾向が見て取れる。また、狭隘部が広くても、押出されそうになる被験者がいることが分かる。

このことから、狭隘部で旅客が安全な歩行範囲から押し出されるような状況は、特に対向流において起こりや

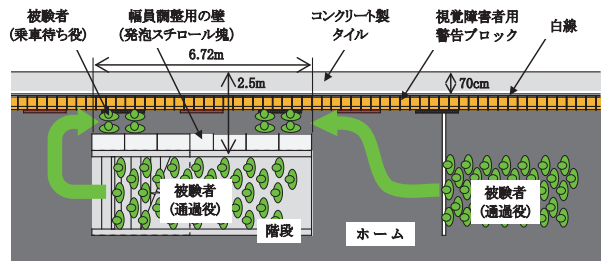


図8 ホーム狭隘部での通過実験の概要

表5 狭隘部において再現した条件

試番	狭隘部幅員	乗車待ち人数	方向
A01～A16	約2.5m	0,2,4,8,12,35人	1方向流
			対向流
B01～B12	約2.0m	0,2,4,8,21人	1方向流
			対向流
C01～C10	約1.5m	0,2,4,5,7,9人	1方向流
			対向

表6 狭隘部における通過実験のアンケート内容

Q：狭隘部を歩いている際に、自分の意思に反して、白線の外側に押し出されそうになりましたか？あてはまるものに丸をして下さい。  
 ①なった ②なりかけた  
 ③なりそうな不安を感じた ④ならなかった

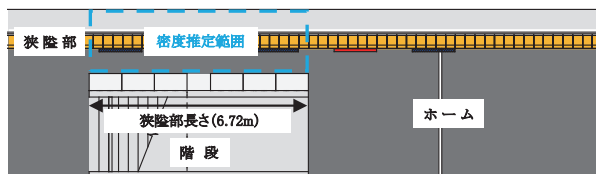


図9 狭隘部の密度を推定する範囲

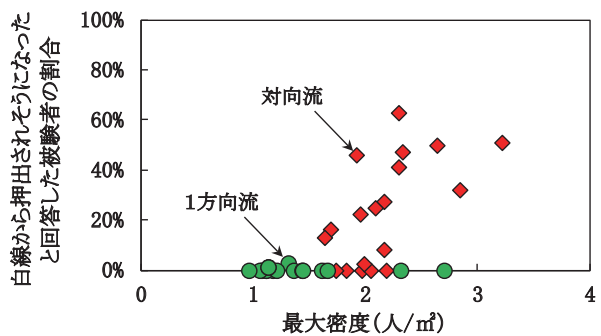


図10 最大密度と歩行状況との関係

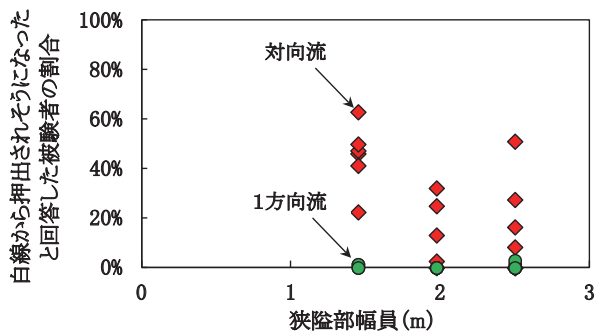


図11 幅員と歩行状況との関係

すく、狭隘部の密度と関係性があることが分かる。同時に、1方向流では、狭隘部の密度が高くなる場合でも、歩行範囲から押し出される状況はほとんど発生しないことも分かる。また、狭隘部の拡幅が必ずしも最大密度の低下につながる訳ではないことも明らかとなった。

#### 4.2 ホーム狭隘部を安全に通過できる条件

ホーム狭隘部においては、旅客が安全な歩行範囲から押し出されることがない条件を考える際、幅員や密度など単独の指標では説明が難しいことが明らかとなった。

そこで、特に対向流において安全が脅かされる現象が生じやすかったことから、狭隘部で旅客がすれ違うという現象に着目し、すれ違うためのスペースの有無を判定するための指標、通行可能列数  $L_{pass}$  (列) を定義した(図12)。旅客の単位寸法は、厚み30cm、幅50cm、ホーム端を安全に歩行できる範囲(安全歩行幅)は、(狭隘部幅員) - 70cm と仮定した。

今回の実験結果のうち、対向流に関するものに対して  $L_{pass}$  を算定し、アンケート結果と比較したものが図13である。白線から押し出されそうになった被験者が表れるのは、 $L_{pass}$  が2列未満となる場合であることが分かる。

このように、対向流が生じるホーム狭隘部では、混雑時の密度だけではなく、乗車待ちの状態および幅員との関係で決定される、通過可能な列の数によって、安全性を判定できる可能性のあることが分かった。

### 5. 安全評価指標の適用

#### 5.1 階段における評価指標の適用イメージ

駅の階段において、旅客の過度の滞留が生じやすい具体的な状況として、ホーム上での混雑の増大に気付いた誘導員が、ホームにつながる複数の階段で規制を開始するまでに階段内の密度が上限に達してしまうことが考えられる。このとき、既に階段内に旅客が滞留した状態では、正確な密度を把握することは困難であることから、駅の階段のように閉鎖空間における安全確保には、センサー等による常時監視が適している(図14)。

このように、階段内の密度を複数のエリアに分けて監視し、密度の状態に応じ「正常」「注意」「要制御」などの対応を切り替える際に、今回得られた密度の目安が参考になるものと考えられる。

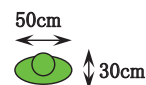
#### 5.2 ホーム狭隘部における評価指標の適用

ホームでの旅客の安全については、ホームドアの設置が有効であるが、コスト等の面で、全ての駅での設置は難しい。そのため、当面ホームドア設置が困難な駅では、引き続きホームの安全性を検討していく必要がある。

特に危険性の高い狭隘部に関して、旅客のはみ出しの

$$L_{pass} = \frac{W' - 0.3L_{wait}}{0.5}$$

$L_{pass}$  : 通行可能列数(列)  
 $L_{wait}$  : 乗車待ち列数(列)  
 (ただし  $L_{pass}$ ,  $L_{wait}$  は整数)  
 $W'$  : 安全歩行幅(m)  
 $W$  : 狭隘部幅員(m)  
 $W' = W - 0.7$



旅客単位寸法：  
厚み30cm幅50cm

図12 通行可能列数の定義

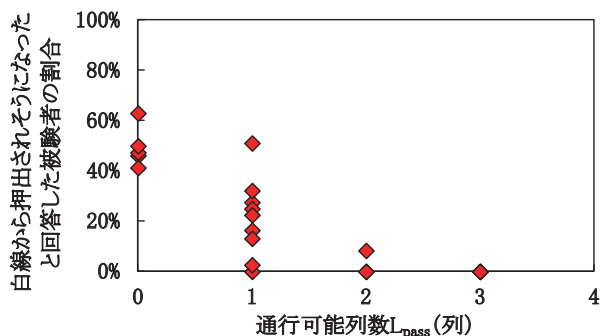


図13 対向流における通行可能列数と歩行状況の関係

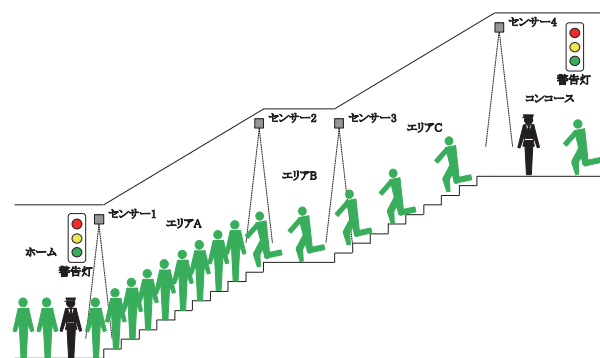


図14 階段の常時監視のイメージ

可能性を判定する  $L_{pass}$  を用いた検討の流れを図15に示す。

まず、対象となる狭隘部において、対向流の規制を実施するかしないかを検討する。対向流の規制をしない場合は、当該狭隘部での乗車待ちの実態を踏まえて、採用する  $L_{pass}$  を決定する。その  $L_{pass}$  が実現できるような乗車待ち可能人数を算定し、規制を実施する際の目安とすることで、狭隘部の安全な範囲に旅客が通過できるスペースを確保することができる。

この方法では、意図的に端部を歩行する旅客の転落・触車を防ぐことはできないが、危険な範囲を歩行せずとも通過可能な狭隘部を整備することが重要と考える。

参考例として、図16に乗車待ちの規制時の目安となる、 $L_{pass}$  別の狭隘部幅員と乗車待ち列数の関係を示す。狭隘部幅員の適用範囲は、今回実験で再現した1.5～2.5mとした。 $L_{pass}$  算定時の旅客の単位寸法は、図12と同様とした。例えば、幅員2mの狭隘部で  $L_{pass}=2$  を実現するには、乗車待ち列数は1列以下に保つ必要があることが分かる。

特集：構造物技術

次に、図17に、 $L_{pass}=2$ を目標とするとき、狭隘部に収容可能な乗車待ち旅客数の目安となる、狭隘部幅員別の狭隘部長さと乗車待ち人数の関係を示す。 $L_{pass}$ 算定的前提は、図12と同様である。例えば、長さ5m、幅員2.0～2.3mの狭隘部では、最大でも乗車待ち人数を10人程度に抑える必要があることが分かる。

このような判定手法の運用に向けた課題としては、 $L_{pass}$ の算定に必要な、人体寸法やホーム端の安全率の取り方があり、これらは地域や路線によっても考え方が異なることが想定される。また、着衣や所持品、姿勢の違いによる寸法の違い、ホーム端での危険を避けられる距離の妥当性、判定手法が適用できる狭隘部空間の大きさの上限についても、更に具体的な事例を基に検討を進める必要があると考える。

6. 結論

本研究では、通常時を上回る混雑を想定した、駅階段およびホーム狭隘部における旅客の安全性を評価するための評価指標について検討し、以下の成果を得た。

- (1) 駅階段における混雑再現実験を実施し、階段に旅客を滞留させる場合の目安として、旅客密度が2人/m<sup>2</sup>超の状態では、歩き始めに不安を感じる旅客がいる可能性があることと、半数以上の旅客が不安を感じずに歩き始めるためには、階段内の旅客密度を4人/m<sup>2</sup>以下に保つ必要があることを明らかにした。
- (2) 駅のホーム狭隘部では、特に対向流において、安全な歩行範囲をはみ出す現象が起きやすいことから、乗車待ちの状態と幅員の関係で求まる、通過に必要なスペースを2列以上確保することで、はみ出しを抑止できる可能性があることを明らかにした。
- (3) 階段およびホーム狭隘部における、混雑時の安全管理上の条件および目安を提案した。

7. おわりに

本研究では、実験により階段、ホーム狭隘部での混雑時の歩行安全性評価の基礎的な目安を提案した。今後、鉄道事業者での誘導案内の実態に合わせた実用的な評価手法となるように検討が必要であると考えている。

文献

- 1) 全国警備業協会編：「雑踏警備業務の手引」, pp.24-35, 2006年9月
- 2) 全国警備業協会編：「雑踏警備業務の手引【上級】」, pp.65-92, 2006年9月
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課編：「2001年版避難安全検証法の解説及び計算例とその解説」, pp.31-60, 2005年3月

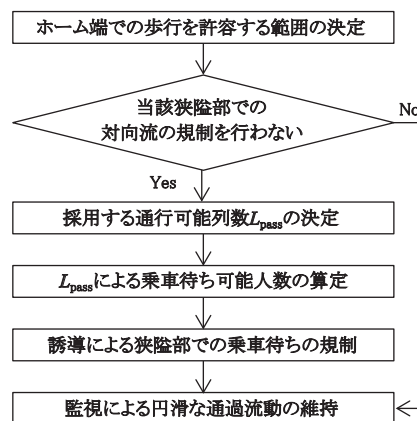


図15 狭隘部の対策検討の流れ

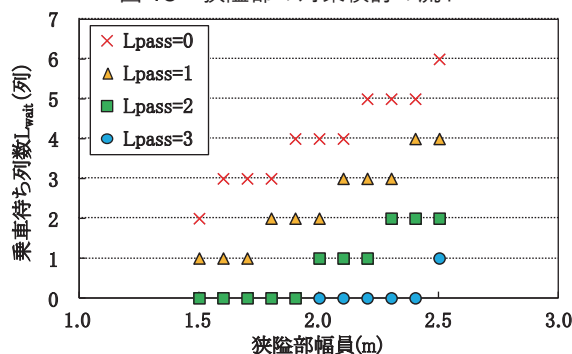


図16 狭隘部幅員と乗車待ち列数の関係

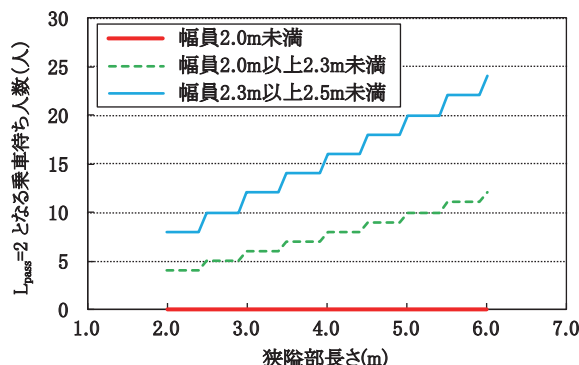


図17 狭隘部大きさと乗車待ち人数の関係

- 4) 萩原一郎：建築火災における避難安全規定の研究，博士論文，1996年4月
- 5) 日本鉄道車両機械技術協会編：「鉄道駅のエスカレーターハンドブック」, pp.7-19 - 7-20, 8-2 - 8-15, 2004年5月
- 6) 飯田真至, 酒井信弘, 大北直寛, 中野義彦：エスカレータ混雑検知システムの開発と検証, Rolling Stock & Machinery, 第17巻, 第7号, pp.42-45, 2009年7月
- 7) 旅客設備研究会：国鉄 旅客設備ハンドブック, 株式会社交通日本社, 1985年3月
- 8) 小美濃幸司, 種本勝二：列車風とホーム上の人の安全, RRR, 第62巻, 第11号, pp.22-25, 2005年11月
- 9) 種本勝二, 梶山博司：列車通過時のホーム上の列車風と圧力変動, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.53-56, 2003年11月
- 10) 国土交通省監修：解説 鉄道に関する技術基準 (土木編), 日本鉄道施設協会, pp.539-566, 2002年3月