

高架下の駅コンコースにおける火災時煙流動性状に関する模型実験

Study on Smoke Behavior in Under-viaduct Stations by using Scale Reduced Model.



尾住 秀樹*



鈴木 修*



真船 奨**



小林 俊夫*



鈴木 博人*

In the event of fire at concourse of under-viaduct stations, smoke may exhaust from stairway from concourse to platform as well as natural smoke exhaust opening prescribed by the Building Standard Act. However there is little knowledge about the smoke exhaust. In this study, in order to compare amount of smoke exhaust from stair openings to that of natural smoke exhaust openings, we experimented on smoke flow in the event of fire in under-viaduct stations, with a simple scale reduced model which stairway was placed at right angle. As a results, in this experiment case, the amount of smoke exhaust from stair openings was found to be more than that from the natural smoke exhaust openings.

●キーワード：火災、階段、模型実験、煙流動、高架下駅、コンコース

1. はじめに

駅で火災が発生した場合には、煙を適切に屋外に排出することが、旅客避難の安全上極めて重要である。排煙方法には、開口部などの排煙口から屋外へ排出する自然排煙と開口部からダクトおよびファンで強制的に屋外へ排出する機械排煙がある。

高架下コンコースで火災が発生した場合には、図1で示すような階段開口部から排煙されると考えられる。階段開口部からの排煙は自然排煙と考えられるが、建築基準法上の排煙口として認められていない。また、階段開口部からの排煙についての知見は極めて乏しいのが現状である。

そこで、本研究ではコンコースと階段が直角に配置された高架下駅を対象に、火災時の煙流動に関する模型実験を行った。実験から、階段開口部からの排煙量と、建築基準法で定められた自然排煙口からの排煙量を求めることで、両者を比較することにより、階段開口部からの自然排煙量を評価した。

2. これまでの研究内容

これまでに、筆者らはコンコースと階段が直角に配置された高架下駅の模型を用いて、火災時の煙流動に関する実験を実施してきた。その結果、コンコースで発生した火災による煙が、図2のように階段開口部から旅客階段部に自然排煙されていることが確認できた。また、旅客階段部において、煙層と空気層の二層に分かれて、煙が上家方向に抜けていくことが確認できた^{1)~3)}。これから、高架下駅直角模型で、実際の煙流動を再現できていると考えられる。

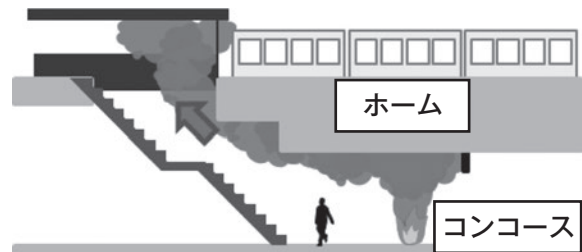


図1 高架下駅コンコース火災のイメージ

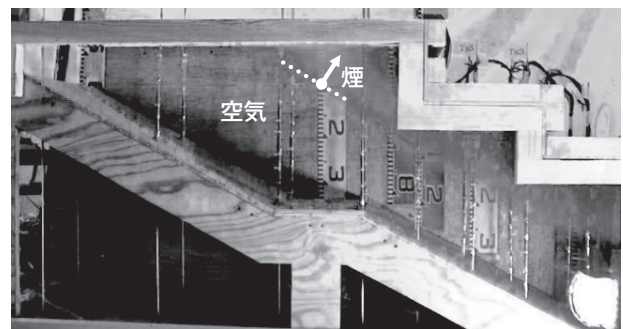


図2 旅客階段部における煙流動(目視確認)¹⁾

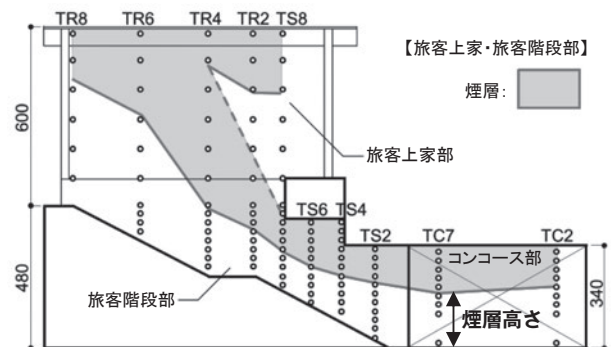


図3 温度上昇値を用いて算出した旅客階段部における煙層¹⁾

3. 実験概要

本研究では、既往の研究と同様にコンコースと階段が直角に配置された高架下駅の模型を用いて、階段開口部からの排煙量を評価する模型実験を実施した。実験から、コンコースに接する階段開口部から排煙される排煙量と、自然排煙口からの排煙量を求めて、両者を比較することで階段開口部からの排煙量を評価した。

3.1 相似則

模型実験では、実物大スケールの挙動と相似となるように相似則を考慮する必要がある。本研究では、模型は実験スペースの関係から1/10スケールとし、実験条件は相似則に可能な限り則って設定した。

ここでは、実物大スケールと模型スケールのFroude数が一致するように、式①～④のKlote⁴⁾らが提案した相似則に基づき、発熱速度、実験時間、模型材料の熱慣性を決定した。

$$Q_m = Q_f (l_m/l_f)^5 \quad \dots ①$$

$$t_m = t_f \sqrt{l_m/l_f} \quad \dots ②$$

$$(k\rho c)_{w,m} = (k\rho c)_{w,f} (l_m/l_f)^9 \quad \dots ③$$

$$T_m = T_f \quad \dots ④$$

ここで、 Q :発熱速度[W]、 l :長さ[m]、 t :時間[s]、 T :温度[°C]、 k :熱伝導率[W/mK]、 ρ :密度[kg/m³]、 c :比熱[J/kgK]、 $(k\rho c)_w$:熱慣性[W²s/m³K²]、添え字 f :実大スケール、添え字 m :模型スケールを示す。

3.2 実験用模型

実験用模型として、コンコースに階段が直角に配置された高架下駅の模型(図5a)、および自然排煙口からの排煙量を評価するための階段の無いコンコースに自然排煙口を設置した模型(図5e,f)を作成した。なお、本模型実験では自然排煙口と階段開口部からの排煙量を比較することを目的としているため、発生した煙が階段開口部および自然排煙口以外から排出されないように、給気口として必要な隙間を残した上で、コンコースの両端を間仕切壁で閉鎖した。

3.2.1 階段の天井形状および幅員

模型実験の階段部の天井形状は、一般的な天井形状である凹凸天井(図5.b)と斜め天井(図5.c)の2種類とした(表1)。

駅における階段の最低幅員は社内規定において1,500mm以上と定められているため、階段幅員は最小幅員を150mmとして4種類の階段幅員の異なる模型を作成した。

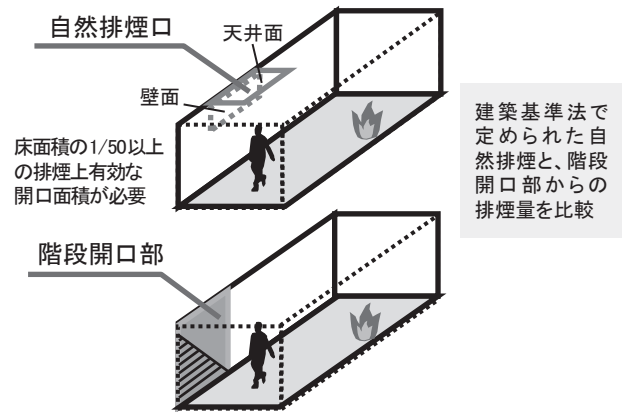
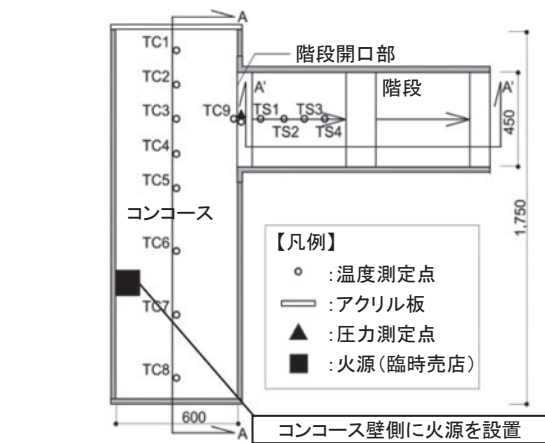
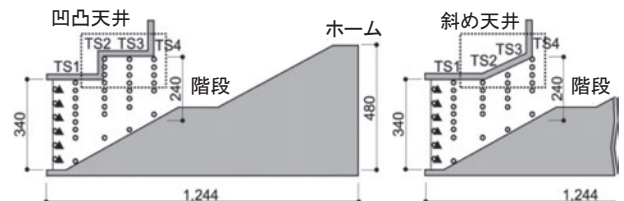


図4 自然排煙口と階段開口部からの排煙検証イメージ

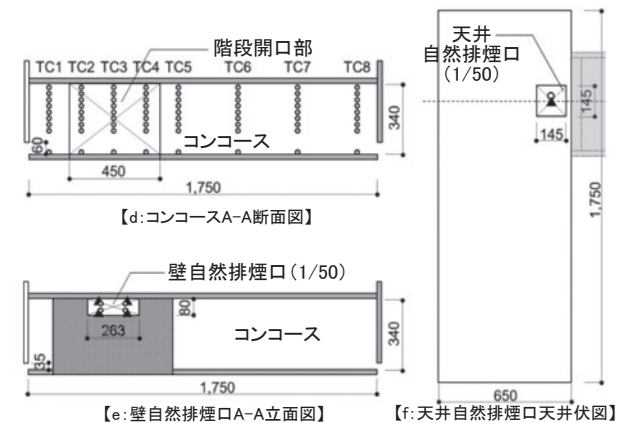


【a:コンコース+450mm階段平面図】



【b:凹凸天井階段A'-A'断面図】

【c:斜め天井階段A'-A'断面図】

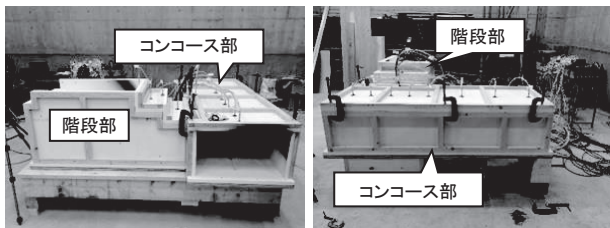


【d:コンコースA-A断面図】

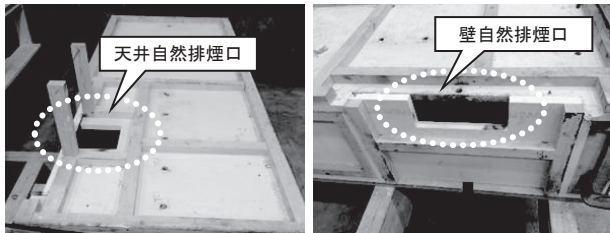
【e:壁自然排煙口A-A立面図】

【f:天井自然排煙口天井伏図】

図5 直角模型図面(単位:mm)



【コンコース、階段模型正面(a)(b)(d)】 【コンコース、階段模型側面(a)(b)(d)】



【天井自然排煙口(f)】 【壁自然排煙口(e)】

図6 ホーム下コンコースの1/10の模型と実験風景

3.2.2 自然排煙口の位置および大きさ

階段の無いコンコースに自然排煙口を設置した模型は、建築基準法で定められている天井自然排煙口と壁自然排煙口の2種類を作成した(表2)。天井および壁自然排煙口の位置は、階段開口部と火源からの距離がほぼ同じとなるようにした。天井自然排煙口の形状は、正方形とした。また、壁自然排煙口は、鉛直高さを建築基準法上有効とされる80mm(実物大800mm)とする長方形とし、天井に接するように設置した(図7)。コンコース部の床面積に対する自然排煙口の面積率は、建築基準法で1/50と定められていることから、1/50を中心に5種類設定した。

3.3 想定する火源

火源は、図5に示す位置に設置したコンコース内における臨時売店とする。実物大で1,200mm四方の臨時売店を想定するとその発熱速度は3MWとなることから、模型実験における火源の発熱速度は相似則に基づいて9.49kWとした。また、火災の継続時間は、火災発生から20分後に消火活動が開始されると仮定して、相似則により6分19秒とした。

3.4 測定機器

本研究では、排煙量を求めるために、模型内の温度と圧力を測定した。模型内の温度は、熱電対ツリーにより計測することとし、図5に示すTC1~9、TS1~4の位置に設置した。熱電対ツリーには、鉛直方向に30mm間隔で熱電対温度計を設置した。

また、模型内の圧力は、T型ピトー管式圧力計を設置して階段開口部のコンコース側と階段側の圧力差を測定した(図8)。階段開口部の圧力差は、高温の煙が天井に沿って排出されるため、開口部の上部と下部で異なることが想定される。そこで、開口部の圧力差を鉛直方向の6点で計測することとした。また、壁自然開口部では、コンコース側と外側

表1 階段開口部模型形状

No.	階段の天井形状	階段幅員 [mm]	階段開口部の開口面積率 ※
1	凹凸天井	150	1/87.5
2		300	1/43.8
3		450	1/29.2
4		600	1/21.9
5	斜め天井	150	1/87.5
6		300	1/43.8
7		450	1/29.2
8		600	1/21.9

※上部から80mmを有効開口とみなす

表2 自然排煙口模型形状

No.	自然排煙口の位置	自然排煙口の開口寸法 [mm]	自然排煙口の開口率
9	天井	123×123	1/70
10		133×133	1/60
11		145×145	1/50
12		163×163	1/40
13	壁	188×188	1/30
14		188×80	1/70
15		219×80	1/60
16		263×80	1/50
17		329×80	1/40
18		438×80	1/30

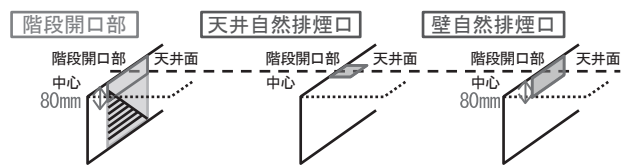


図7 階段開口部、自然排煙口の比較

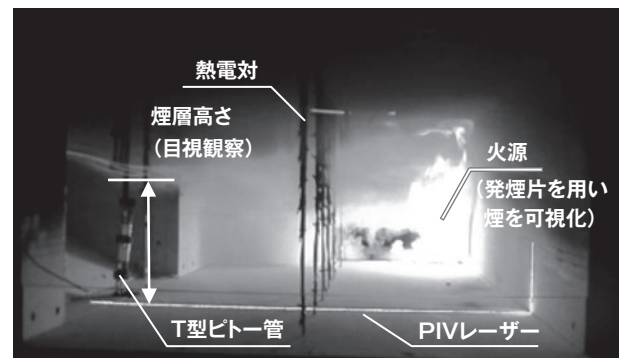


図8 実験風景(凹凸天井幅員600mm階段部比較)

の圧力差を測定するために、階段開口部と同様に場合に圧力計を2箇所設置した。なお、天井自然排煙口の圧力差は、排煙口中心に設置した圧力計により計測した。

4. 開口部からの排煙量の算出

(1) 階段開口部

階段開口部からの排煙量は、開口部の温度 T_i と圧力差 Δp_i を用いて、式①②③により算出した。階段開口部からの排煙量 m_{mi} は鉛直方向に6分割して算出し、それらの合計をそれぞれ排煙量 m_m とした。

$$\rho_i = \frac{353}{(T_i + 273)} \quad \dots \text{①} \quad v_i(z) = \sqrt{\frac{2\Delta p_i}{\rho_i}} \quad \dots \text{②}$$

$$m_{mi} = \alpha \rho_i v_i A \quad \dots \text{③}$$

v : 流速[m/s] Δp : 圧力差[Pa] ρ : 密度[kg/m³]

m_m : 排煙量(質量流量)[kg/s] A : 排煙口面積[m²]

α : 流量係数0.7 T : 温度[°C]

添え字 i : 開口分割部の番号

なお、建築基準法では、天井から下方800mmまでが排煙に対して有効な開口部とされている。そのため、階段開口部からの排煙に有効な面積は、コンコースに面した階段開口部全体の面積ではなく、階段幅員と建築基準法上有効とされる天井から下方80mm(実物大800mm)の積と定義した(図7)。

(2) 壁自然排煙口

壁自然排煙口からの排煙量 m_m は、階段開口部と同様に、式①②③により算出した。壁自然排煙口からの排煙量は鉛直方向(800mm)に2分割して算出し、それらの合計をそれぞれ排煙量 m_m とした。

(3) 天井自然排煙口

天井自然排煙口からの排煙量は、排煙口中心で計測した温度 T_i と圧力差 Δp_i を用いて、式①②③により算出した。

5. 結果と考察

階段開口部と自然排煙口で測定した排煙量の比較を行った。図9に各種実験条件における排煙量を示す。

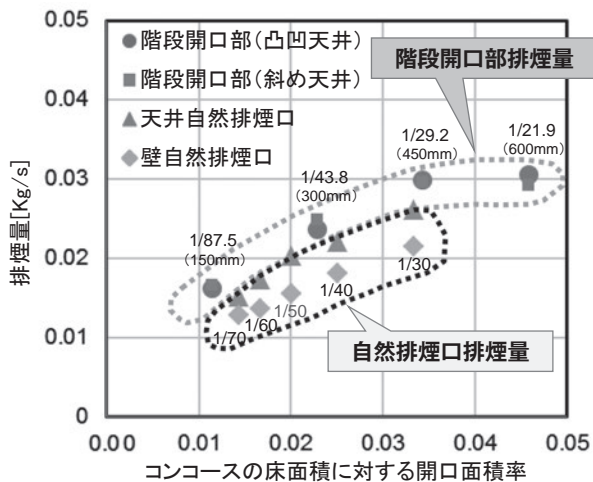


図9 階段開口部と自然排煙口の比較(排煙量)

5.1 階段部の天井形状の影響

凹凸天井と斜め天井の場合における階段開口部からの排煙量を比較すると、両者の排煙量はほぼ同等であった。このことから、階段の天井形状が階段開口部からの排煙に与える影響は少ないと考えられる。また、開口面積率が大きいほど排煙量が増加した。

5.2 自然排煙口の位置の影響

天井自然排煙口と壁自然排煙口の排煙量を比較すると、天井自然排煙口が壁自然排煙口よりも多く排煙される傾向がみられた。これは熱せられた空気によって煙は上昇するため、煙の上昇方向に設置された天井自然排煙口の排煙量が多くなったものと考えられる。また、開口面積率が大きいほど排煙量が増加した。

5.3 階段開口部と自然排煙口の比較

階段開口部と自然排煙口の排煙量を比較すると、階段開口部の方が多く排煙される傾向がみらる。これは、階段開口部の煙層が建築基準法有効とされる天井から下方80mm(実物大800mm)より低くなり、天井から下方80mmより下方からも排煙されているためと考えられる。

このことから、階段開口部では、建築基準法上有効とされる天井から下方80mmより低い部分も排煙口として機能したと推察される。結果として、開口面積率が同じであれば、階段開口部の方が、自然排煙口より排煙量が多いと考えられる。

本実験から、階段開口部からの排煙に有効な面積を階段幅員と天井から下方80mm(実物大800mm)としたときに、少なくとも開口面積率が1/50であれば建築基準法で定められた開口面積率1/50の自然排煙口に比べて、排煙量が多くなると考えられる。

6. まとめ

コンコースに階段が直角に配置された高架下駅の模型を用いて、階段開口部からの排煙量と、建築基準法で定められた自然排煙口からの排煙量を比較した。

今回実施した火災時の模型実験は、コンコースに階段が直角に配置された高架下駅の模型のみである。実際の高架下駅の形状はさまざまである。

そこで、さまざまな形状の高架下駅の階段開口部からの排煙量を評価するためには、模型実験より簡便に排煙量を把握できる方法を開発する必要があると考えている。今後は、その方法として煙流動シミュレーションの適用可能性について検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 真船奨他: 高架下の駅コンコースにおける火災時煙流動性状に関する模型実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.59-60, 2014
- 2) 真船奨他: 高架下の駅コンコースにおける火災時煙流動性状に関する模型実験(その2 実験概要・煙流動性状結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.299-300, 2015
- 3) 佐藤大輔他: 高架下の駅コンコースにおける火災時煙流動性状に関する模型実験(その3 実験結果と考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.301-302, 2015
- 4) John H.Klote and James A.Milke: "Principles of Smoke Management", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., pp.217-224, 2002