

# 津波火災により類焼した津波避難ビルの上階延焼危険性 に関する模型実験の試行

西野 智研<sup>1\*</sup>, 北後 明彦<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 工学研究科建築学専攻

<sup>2</sup> 都市安全研究センター

キーワード： 津波火災、津波避難ビル、開口噴出火炎、開口噴出熱気流、  
上階延焼、火災安全設計

津波火災により類焼した津波避難ビルの上階延焼危険性を把握するための基礎実験を行った。ここでは、津波火災が津波避難ビルに漂着し建物の一室に類焼した状況を、原型の1/10に相当する模型で表現し、屋内と屋外の両火災によりもたらされる外壁付近の温度分布の測定、および、開口噴出火炎の観察を行った。

## 1. はじめに

津波からの一時的な避難場所として、その重要性が指摘されている津波避難ビルでは、津波により流れ出た家屋や自動車が漂着し、何らかの要因により燃焼することで、建物の一部が火災に巻き込まれる可能性がある。津波避難ビルが類焼しても、瓦礫や海水に取り囲まれた状況では、屋外への避難は難しい。このため、屋内に侵入した火災をある範囲で区画化することで、避難者が安全に待機可能な階（以降では、避難安全階と呼ぶ）を確保する必要がある。これは、津波火災により下階で発生した火災を上階の避難安全階まで延焼させないことに等しい。

上階延焼をもたらす主要な要因に、火災室の開口から外気に噴出する火炎・熱気流がある。この性状を把握するための研究は、これまでも数多くなされているが、その殆どは建物の一室から単独で火災が発生するような、平常時の建築火災を想定したものである。この場合、噴出する火炎・熱気流の性状は、室内に積載される可燃物量や開口形状により概ね決定され、無次元化された温度と距離・高さの間に、一定の相関が見出されている。しかし、津波火災時のように、別の火災が屋外に存在する場合には、それにより形成される上昇気流の影響で、開口からの吹き出しは壁側に吹き流される可能性がある。加えて、複数の熱気流が合わさることで、高温領域そのものが拡大する可能性があるため、上階延焼の危険性はより高くなることが予想される。

そこで本研究では、津波火災により類焼した津波避難ビルの上階延焼危険性を把握することを目的とする。ここでは、このための基礎的な検討として、津波火災が津波避難ビルに漂着し建物の一室に類焼した状況を、原型の1/10に相当する模型で表現することで、屋内と屋外の両火災によりもたらされる外壁付近の温度分布の測定、および、開口噴出火炎の観察を行った。

## 2. 模型実験の概要

### 2.1 実験装置

図1に、実験で使用した模型の概要を示す。模型は、次の二つの装置から構成される。

- (1) 建物の外壁に漂着し燃焼する津波火災を模擬したバーナー
- (2) 津波火災により積載可燃物の着火が生じた区画とその周りの外壁を模擬したボード

津波火災により生じる上昇気流は、プロパンガスをバーナーで燃焼させることで発生させた。バーナーは、鋼板で作成した囲いの中に、プロパンガスを流すための直径10mmの銅管を通し、これに直径2mmの噴出口を50mm間隔で設けた。このとき、噴出口の上部には金網を設置し、その上に砂利を敷くことで、ガスの噴出が砂利の隙間から生じるようにした。バーナーの形状は、津波により流れ出た可燃物が外壁に沿って面的に堆積する状況を仮定し、建物の開口に対し十分に大きな寸法として、外壁に沿った方向に長辺1500mm、垂直な方向に短辺500mmを持った長方形とした。

類焼先となる区画は、厚さ12.5mmのセラミックファイバーボードを組み合わせ、幅・奥行きが500mm、高さが300mmの直方体とした。外壁には、形状が可変な開口を設け、開口の幅方向中心とバーナーのそれが同じ平面上になるように配置した。外壁とバーナーの間には、漂着した可燃物が外壁に沿って隙間なく堆積している状況を仮定し、離隔距離を設けないものとした。また、区画の床は、漂着した可燃物がその直下階の天井付近まで堆積している状況を仮定し、バーナーの噴出口から70mmの高さとなるよう、位置を調整した。

区画の中央には、エタノールを入れた鉄製の箱型容器100×100mmを設置し、ライターでこれに点火した後、30秒後にプロパンガスを噴出し、同様に点火する。

## 2.2 実験条件

表1に、実験の概要を示す。ここでは、(1) 区画の開口形状、(2) プロパンガスの流量、の2条件を変化させ、これらの組み合わせからなる全9条件の下で燃焼実験を行った。まず、開口形状については、開口幅  $B$  と開口高さ  $H$  を 0.1m と 0.2m に変化させ、縦長・正方形・横長の3条件を検討した。一方、プロパンガスの流量については、マスフローメータを用いて調整し、各開口形状につき3条件の検討を行った。この流量を決定するにあたっては、事前に燃焼ガスを集煙フードで収集し、酸素消費法により求める発熱速度を確認しながら、流量を調整した。ここでは、ガス噴出面に普通自動車が無間なく堆積し、全てが盛んに燃焼している状況を仮定して、これと相似となる発熱速度、および、その半分を目安とした。相似となる発熱速度を求めるにあたっては、普通自動車一台あたりの発熱速度を3MWとし、この領域における原型の発熱速度を算出した後、次の相似則<sup>2)</sup>を用いて模型に換算した。

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_T} = \left( \frac{L}{L_T} \right)^{5/2} \quad (1)$$

ここに、 $\dot{Q}$  は発熱速度、 $L$  は代表長さ、添え字の「 $T$ 」は模型を表す。この結果、燃焼実験で検討した発熱速度  $\dot{Q}_T$  は 67.1kW と 27.6kW となった。なお、バーナーの上部に形成された間欠火炎領域の先端は、前者の場合で概ね区画の床から 100mm の高さ、後者の場合で概ね区画の床の高さであり、いずれの条件においても、区画の開口から噴出する火炎との合流は生じなかった。

## 2.3 測定項目

### (1) 温度

温度測定点は図1に示す位置に設定した。なお、開口上端の幅方向中心を原点とし、開口と垂直に  $x$  軸、鉛直上方に  $z$  軸をとる。区画内部温度の測定には、シース熱電対 ( $\phi 1.6\text{mm}$ ) を用いることとし、区画の隅に2カ所 (高さ方向に5カ所)、開口付近に1カ所 (開口下端から上端まで 25mm 間隔) の測定点を設けた。また、噴出火炎・熱気流温度の測定には、K型熱電対 ( $\phi 1.6\text{mm}$ ) を用いることとし、これを鉄製格子に固定した (鉛直方向 21 点×水平方向 6 点)。これらの測定値は、区画

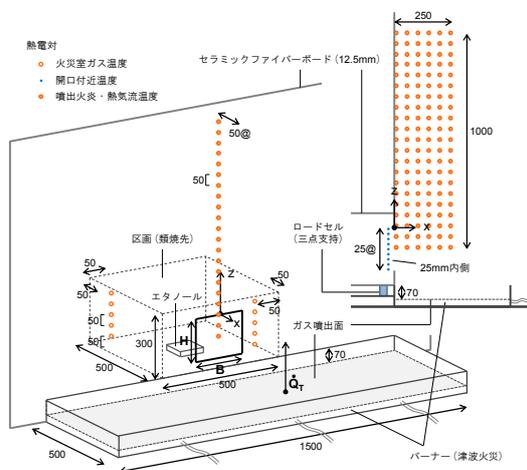


図1 1/10 スケール模型と各種測定点(単位: mm)

表1 実験の概要

$B$ (m)	$H$ (m)	$\dot{Q}_T$ (kW)	$\dot{m}_F$ (kg/s)	$T_F$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	火炎 噴出	気流 軸 附着
0.1	0.2	0	0.00187	687.2	○	
		27.6	0.00117	632.7	○	○
		67.1	0.00063	588.3	○	○
0.2	0.2	0	0.00120	590.8	○	
		27.6	0.00088	737.4	○	○
		67.1	0.00080	581.8	○	○
0.2	0.1	0	0.00114	668.4	○	○
		27.6	0.00063	439.5		○
		67.1	0.00054	489.3		○

$\dot{m}_F$ : 質量減少速度  
 $T_F$ : 火災室ガスの平均温度 (区画隅2箇所の熱電対計10点の平均)

内に設置したエタノールに着火後、それが燃え尽きるまでの間、データロガーにより2秒間隔で記録した。本研究では、定常的な燃焼状態における温度の測定を行うことを目的とし、測定値は、各条件について区画内の温度変化が小さい時間の平均値をとった。

図2は、本稿で検討する屋外火災が単独で燃焼する場合について、それにより形成される上昇気流の温度上昇分布の測定値を示したものである。いずれの条件においても、各高さにおける最高温度上昇点は外壁に最も近い位置にあり、外壁から水平方向に遠ざかるにつれて、温度上昇は減衰する結果となった。外壁に最も近い測定点での温度上昇は、発熱速度  $\dot{Q}_T$  が 27.6kW の条件で 61.5~117.6K, 67.1kW の条件で 112.7~248.3K であった。

### (2) 燃料の質量減少速度

燃料の重量減少速度の測定には、並置した3基のロードセルを用い、各ロードセルの指示値の和をとった。

## 3. 区画火災性状に対する屋外火災の影響

図3に、燃料の質量減少速度  $\dot{m}_F$  の測定値を、図4に、火災室ガスの平均温度  $T_F$  (区画の隅2カ所に設置した熱電対計10点の測定値の平均) を示す。ここでは、開口噴出火炎が形成された条件を白抜きで、形成されなかった条件を黒塗りで示してある。

燃料の質量減少速度は、いずれの開口条件においても、屋外火災の発熱速度が増加するに伴い、減少する結果となった。特に、開口が縦長の条件において、変化が大きい。火災室ガスの平均温度についても、屋外火災の影響がある場合のそれは、基本的に、ない場合のそれに比べて低いことが分かる。こうした傾向は、屋外火災により形成される上昇気流の影響で、外気から区画への酸素の流入が抑制されていたことに起因している可能性がある。

屋外火災の影響がない単独の区画火災の条件では、いずれの開口条件においても、開口から噴出する火炎が形成された。これに対し、屋外に火災が存在する条件では、縦長・正方形の開口条件において、開口噴出火炎が形成されたものの、横長の開口条件においては、火炎の噴出が生じなかった。この要因の断定は困難であるが、横長の開口条件では、火災室ガスの平均温度が 500 $^{\circ}\text{C}$ 未滿と、一般的に言われているフラッシュオーバーの発生温度よりも低いことから、この発生の可否が火炎の噴出

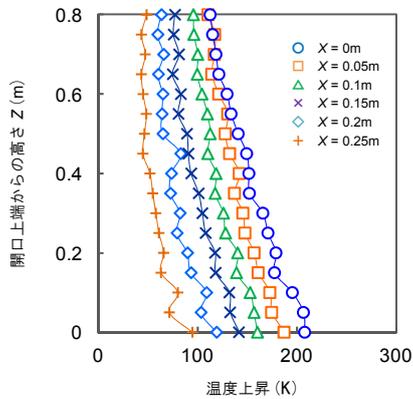
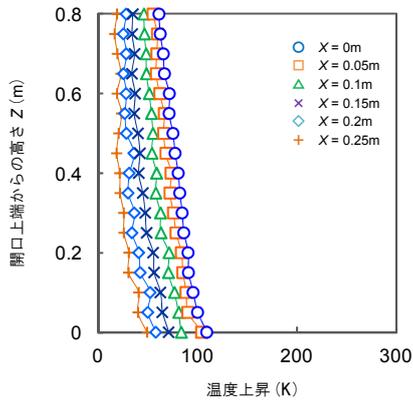


図2 屋外火災による上昇気流の温度上昇分布  
(上:27.6kW, 下:67.1kW)

に関係している可能性がある。

#### 4. 開口噴出火炎・気流炎性状に対する屋外火災の影響

図5に、全9条件の下で測定された外壁近傍の温度上昇分布を示す。ここでは、格子状に配置された測定点の温度上昇値を補間し、100K 間隔の等温度上昇線からなる連続的な分布を示した。また、気流軸を、開口温度の最高点を始点にとり、同じ高さにあつて最も高い温度上昇を示した測定点を順に結んだ線と定義し、これを点線で示した。

開口形状が縦長の条件を見ると、屋外火災の影響がない単独の区画火災の条件では、開口から噴き出した気流軸は、浮力により徐々にその向きを鉛直方向に変えながら、外壁に付着することなく、そのまま上昇する軌跡となった。これに対し、発熱速度 27.6kW の屋外火災が存在する条件では、気流軸は弧を描くように、一度外壁から遠ざかった後、すぐに付着していることが分かる。また、発熱速度が 67.1kW の条件では、屋外の上昇気流による吹き倒しが顕著となり、気流軸は屋外に噴出した直後から外壁に沿って上昇する軌跡となった。一方、気流軸と交差する等温度上昇線の位置に着目すると、屋外火災の発熱速度が増加するに伴い、その位置は鉛直方向に移動しており、熱

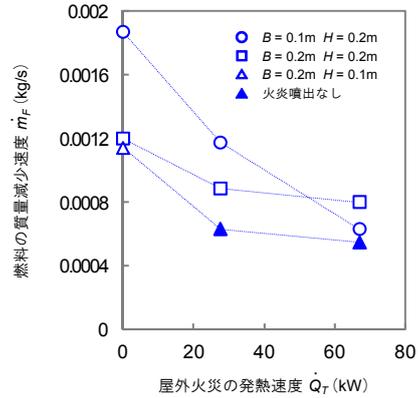


図3 燃料の質量減少速度

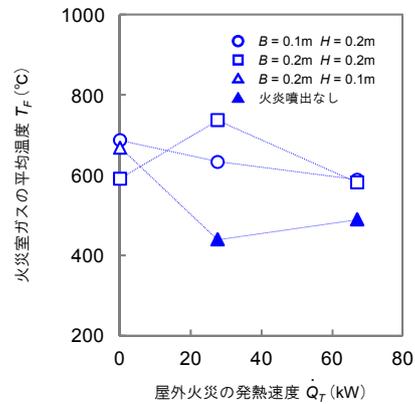


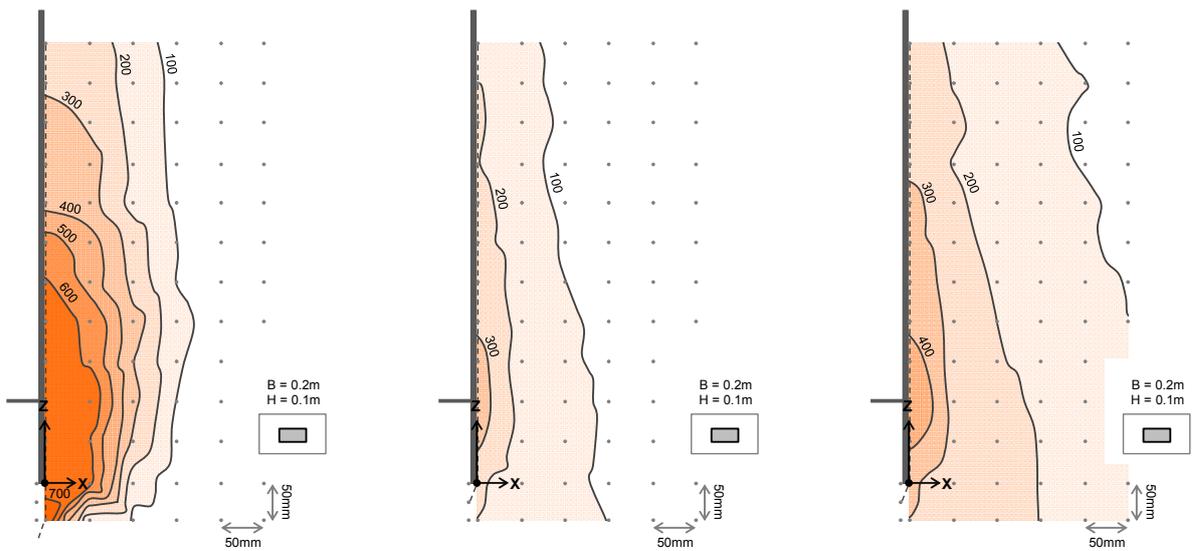
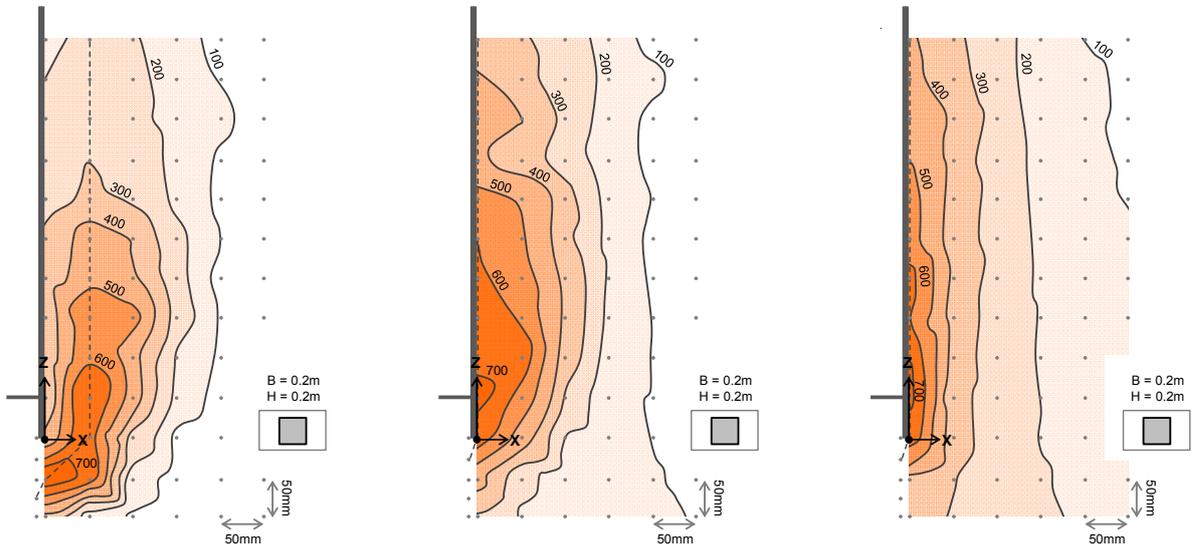
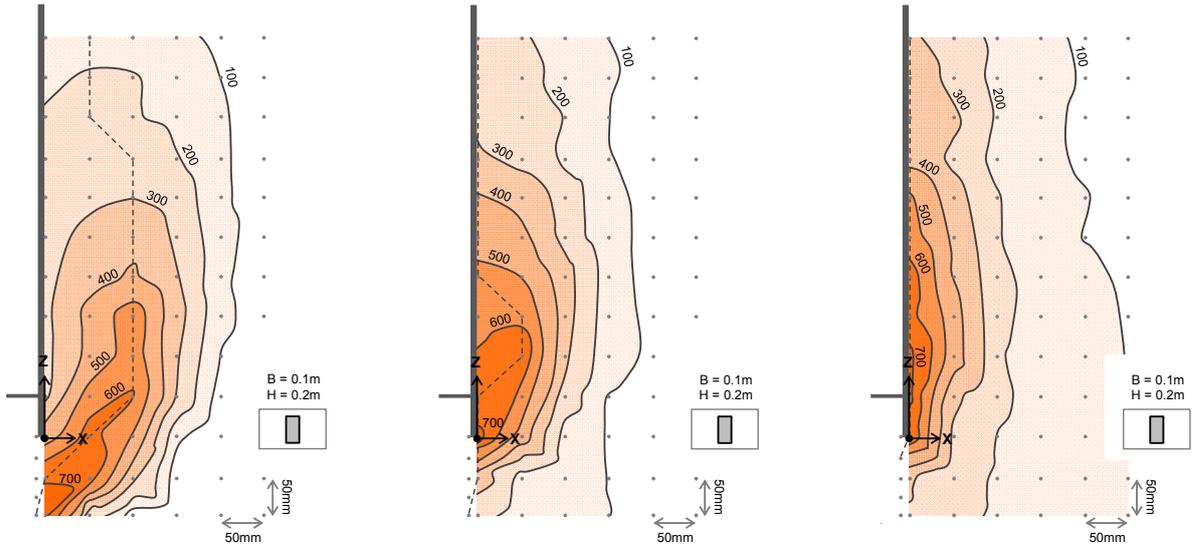
図4 火災室ガスの平均温度

気流の合流によって、高温領域が上階方向に拡大していることが分かる。

このような屋外の上昇気流による開口噴出火炎・気流の壁側への吹き倒し、および、高温領域の上階方向への拡大は、開口形状が正方形の条件においても生じており、上階延焼の危険性は増加している。ただし、屋外火災の影響により区画の火災性状が抑制され、火災が噴出しなかった横長の条件では、逆に高温領域は縮小している。

#### 4. まとめ

津波火災により類焼した津波避難ビルの上階延焼危険性について、模型実験による基礎的な検討を行った。今後は、気流軸に沿った温度上昇の計算手法を提案するとともに、庇といった上階延焼防止対策の有効性について検討する。



(1) 屋外火災なし(区画火災)

(2) 屋外火災あり( $\dot{Q}_T = 27.6\text{kW}$ )

(3) 屋外火災あり( $\dot{Q}_T = 67.1\text{kW}$ )

図5 外壁近傍の温度上昇分布