

縮小模型を用いた市街地火災実験

住宅・都市研究グループ 主任研究員 岩見 達也

I はじめに

大規模地震時には市街地火災による甚大な被害の発生がシミュレーション等により予測されているが、現代の市街地状況は大火が頻発した当時と大きく異なり、市街地火災のような低頻度災害に関して、その危険性を定量的に把握することは極めて困難である。本稿では、市街地における火災性状を把握し、市街地火災のシミュレーションモデルの検証のためのデータを蓄積することを目的として実施した 1/10 縮小模型を用いた市街地火災実験の概要について報告する。

II 実験条件

(1) 相似則

火災に関する相似則は、幾何スケールを s として下記が提案されている¹⁾。

$$\text{風速} : U \propto s^{1/2} \quad (\text{式 1})$$

$$\text{発熱速度} : \dot{Q} \propto s^{5/2} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{時間} : t \propto s^{1/2} \quad (\text{式 3})$$

$$\text{面材熱慣性} : k\rho c \propto s^{3/2} \quad (\text{式 4})$$

$$\text{面材厚さ} : \delta \propto \left(\frac{k}{k\rho c} \right)^{1/2} s^{1/4} \quad (\text{式 5})$$

$$\text{外気温} : T_{\infty} \propto s^{1/6} \quad (\text{式 6})$$

(2) 建物模型

外壁構成材は原型を準耐火構造（屋内側石膏ボード 12 mm+9 mm、屋外側石膏ボード 12 mm+金属板 2 mm）と想定した。比熱 1.0 kJ/kgK の均質材と見なすとその物性値は表 1 第 2 列の通りとなる。建物模型の幾何スケールを 1/10 に設定する場合、相似則を満足するには表 1 第 3 列の値が目標値となる。目標値に比較的近い外壁構成材として 25 mm 厚のセラミックファイバーボードを選定した。外気温の制御は困難で

あるため、式 6 については考慮しないこととした。

建物形状は、一辺 6.0 m（内寸）の正方形平面で天井高 2.5 m の 2 階建て建築物を原型とした。これを 1/10 に縮小し、4 面の外壁全てに高さ 120 mm×幅 350 mm の開口部を 2 カ所（各階 1 カ所）、1 階と 2 階を隔てる床中央に一辺 140 mm の正方形（原型で約 2.0 m² 相当）の開口部を設けた（図 1）。

表 1 建物構成材の熱物性値

	原型	模型目標値	模型選択材
熱伝導率: k [kW/mK]	16.9×10^{-5}	3.01×10^{-5}	6.00×10^{-5}
密度: ρ [kg/m ³]	1114.3	198.15	250
比熱: c [kJ/kgK]	1.00	1.00	1.00
厚: δ [m]	0.036 ^{**}	0.0202	0.025
熱慣性: $k\rho c$ [kW ² s/m ⁴ K ²]	0.189	0.00597	0.015

(3) 建物配置及び実験条件

実験は 2015 年 8 月～9 月に建築研究所火災風洞実験棟で実施した。第 1 測定洞（幅 5 m×高さ 4 m×長さ 10 m）内に南北 5 棟、東西 3 棟、計 15 棟を並べた（図 2）。建物模型の周囲には、均質な市街地条件を再現するために、25 mm 厚ケイ酸カルシウム板製、同一形状（A、E 列は東西方向幅 300 mm）、開口部無しのだミー模型を配置した。表 2 に示す 9 通りの実験ケースを設定し隣棟間隔及び風速を変化させて火災性状の計測を行った。Case1、2 では C1 棟、Case3～9 では C2 棟の 1 階中央クリブに市販の着火材約 18 g を置いて点火した。

表 2 実験条件及び延焼有無

ケース番号	原型		模型				延焼有無
	隣棟間隔[m]	風速[m/s]	隣棟間隔[m]	風速[m/s]	点火模型		
Case1	4	10	0.4	3.2	C1棟		なし
Case2	3	0	0.3	0	"		D1へ延焼
Case3	3	10	0.3	3.2	C2棟		なし
Case4	3	0	0.3	0	"		B2、D2へ延焼
Case5	3	5	0.3	1.6	"		第2～第5列延焼
Case6	2	0	0.2	0	"		全て延焼
Case7	2	5	0.2	1.6	"		全て延焼
Case8	4	0	0.4	0	"		なし
Case9	4	5	0.4	1.6	"		なし

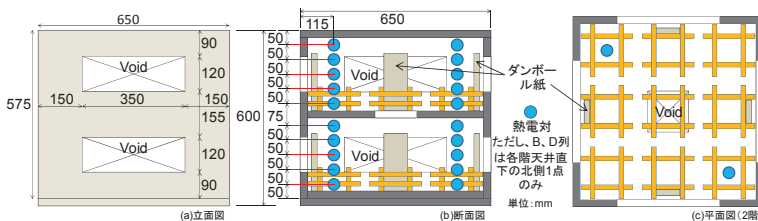


図 1 建物模型の概形及び可燃物配置と熱電対計測位置

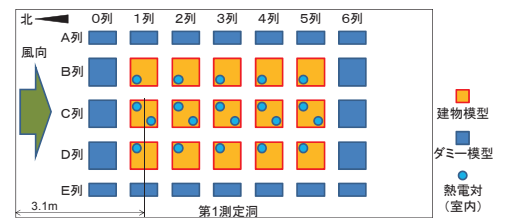


図 2 建物模型の配置及び熱電対計測位置

(4)建物内可燃物

建物内部に配置する可燃物は木(杉)材クリブ(105℃で24時間以上乾燥)を用いた。床全面になるべく均一に配置すること、開口部を通じて室内に設置可能であることを考慮して、小口16mm角×長さ178mmの角材を2本5段で作成したクリブ9個を各階に設置した。乾燥後の重量は1,256~1,290g/階であり、式2及び式3より発熱量(発熱速度×時間)が s^3 に比例することから原型で約35kg/m²相当であった。

(5)延焼用可燃物

当初、外部からの加熱によりクリブが出火、延焼することを想定していたが、予備的に行った実験では延焼が起これにくい状況が確認されたことから、建物内の火災性状を再現するために設定したクリブとは別に延焼用の可燃物(受熱材)を設置することとした。受熱材は事前の試行で延焼が起これやすかったダンボール紙を用いた。ダンボール紙は高さ190mm×幅84mm×厚20mm(4層)とし、クリブ同様に乾燥させて各開口部に平行になるように固定した。乾燥後の重量は97~98g/階(4枚)であり、クリブ重量の約8%に相当する。

III 計測内容

(1)室内温度

図1及び図2のとおり、C列の各建物模型に北東角及び南西角に各階5点ずつ計20点、B列及びD列の各建物模型に北西(B列)又は北東(D列)角に各階1点ずつ計2点、合計120点について線径0.65mmのK型ガラス被覆熱電対(C1棟のみ径1.6mmのK型シース熱電対)を壁に小穴を開けて差し込んで室内温度を計測した。

(2)その他の計測項目

上記の他、地上175mm(建物模型1階開口部中央高さ)の屋外温度分布、周囲への放射熱、風速等を計測しているが本稿では室内温度の計測結果について報告する。

IV 計測結果

(1)点火模型の火災性状

図3に点火模型の各階の室内温度について、1階室内温度が600℃に達した時点を基準に時間軸をあわせて風速別に代表ケースを示す。風速3.2m/sで温度がやや低い傾向を示している。図に省略したケースを含め同一風速では各ケース概ね温度履歴は一致しており個別模型の火災性状の再現性は高いといえる。火災進行全般に関しては、先に2階の温度が上昇するが、1階のFO後には2階の燃焼が緩慢になって一時温度が低下する。1階が概ね燃え尽きた後に2階の燃焼が激し

くなって、最後に2階も燃え尽きるといった経過をたどる。

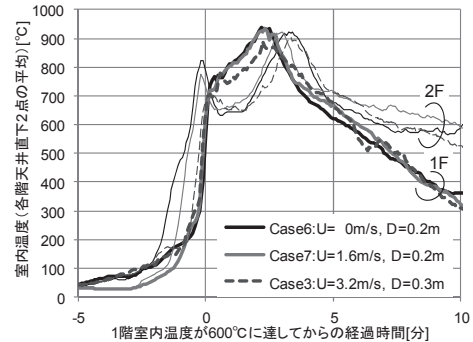


図3 風速別の点火模型の室内温度の時刻歴

(2)延焼性状

図4は広範囲に延焼拡大が見られたCase5~7について、各階の室内温度が200℃を超えた時刻を示している。Case6とCase7の比較では風速1.6m/s条件の方が風下及び風横方向に2倍程度の延焼速度を示している。風上側へはC1棟2階へ無風条件で早期に延焼しているが、全体としては風速1.6m/s条件の方がやや延焼が早い。

Case5とCase7の比較から隣棟間隔の違いを確認すると、隣棟間隔が狭い方が延焼が早く、その比は点火模型近傍では2倍程度であるが、点火模型から離れるに従いその差は縮まる傾向にあり、点火模型から最も遠い第5列の模型では1.2~1.3倍程度となっている。

V まとめ

幾何スケール1/10の縮小模型により延焼火災実験を実施した。縮小模型を用いることで再現性良く系統的に火災性状を計測できることを確認し、風速と隣棟間隔による延焼有無及び延焼速度を定量的に把握した。今後、実大スケールへの適合性の確認を含め、実現象の解明及び検証データの蓄積を進める予定である。

	Case5 (隣棟間隔0.3m、風速1.6m/s)			Case6 (隣棟間隔0.2m、風速0m/s)			Case7 (隣棟間隔0.2m、風速1.6m/s)		
	D列	C列	B列	D列	C列	B列	D列	C列	B列
1階	-	-	-	968 1313	509 934	1008 1398	943 893	879 834	868 1053
2階	752 692	149 164	637 577	728 813	219 269	823 858	328 438	114 134	313 593
3階	772 812	934 889	702 802	933 1168	754 709	953 1368	513 533	434 629	523 643
4階	982 1007	974 1114	977 1032	1548 1643	1299 1479	1483 1653	673 708	659 884	728 848
5階	1197 1277	1209 1379	1202 1382	2203 2193	2049 2084	2188 2283	873 1083	979 1099	983 1038

単位: 秒
上段: 2F
下段: 1F

風向 Case5 Case7

図4 Case5,6,7の各室内温度が200℃を超えた時刻

謝辞 本実験の計画及び実施においては国土技術政策総合研究所の樋本圭佑氏の協力をいただいた。
参考文献 1) James G. Quintiere : Fundamentals of Fire Phenomena, John Wiley & Sons Inc, 2006.3