

模型実験を活用した市街地火災性状予測

住宅・都市研究グループ 上席研究員 岩見 達也

I はじめに

市街地の火災安全性を評価する手法の一つとして市街地火災シミュレーションの活用が挙げられるが、市街地火災のような低頻度災害の予測は実火災に基づく検証が困難であることから、市街地火災シミュレーションモデルの予測精度検証を目的として縮小模型を用いた火災実験を実施してきた。本稿では、実験結果の概要及び模型実験と実大現象を比較するために適用する相似則の検討状況について報告する。

II 15棟の縮小模型を用いた延焼実験¹⁾

外壁が準耐火構造の2階建て建築物が東西に3棟、南北に5棟の計15棟が並ぶ状況を想定して、1/10スケールの縮小模型による燃焼実験を実施した。模型の概要を図1に示す。実験条件としては隣棟間隔0.2m、0.3m、0.4m、北風0m/s、1.6m/s、3.2m/s、点火は、北から2列目中央の模型1階中央とした(一部の条件では北から1列目中央の模型に点火)。

隣棟間隔が0.3m以下で延焼が発生したが、0.3mに比べて0.2mでは延焼速度が約1.3倍に早くなった。また、無風に比べて風速1.6m/sでは延焼速度が約2倍に早くなった。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。



写真1 実験状況

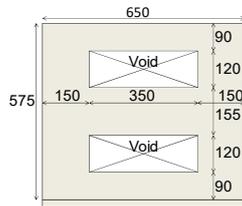


図1 建物模型の概形

表1 実験条件及び延焼有無(北2列目点火条件のみ示す)

原型		模型			
隣棟間隔[m]	風速[m/s]	隣棟間隔[m]	風速[m/s]	点火模型	延焼有無
3	10	0.3	3.2	北2列目中央	なし
3	0	0.3	0	"	東西隣へ延焼
3	5	0.3	1.6	"	第2～第5列延焼
2	0	0.2	0	"	全て延焼
2	5	0.2	1.6	"	全て延焼
4	0	0.4	0	"	なし
4	5	0.4	1.6	"	なし

III スケールの違いと火災継続時間に関する検討²⁾

前項で用いた1/10スケール模型に対する1/20スケール模型による再現性の確認及び、室内に設置する収納可燃物量の違いによる火災継続時間等の燃焼性状への影響に関する検討を行った。表2に各スケール模型の概要、表3に本検討で基本とする相似則³⁾を示す。

表2 各スケールの模型寸法(単位:m)

	原型	1/10 模型	1/20 模型
室内寸	6.0×6.0	0.6×0.6	0.3×0.3
天井高	2.5	0.25	0.125
外壁開口部	3.5×1.2	0.35×0.12	0.175×0.06
界床開口部	1.4×1.4	0.14×0.14	0.07×0.07

表3 基本とする相似則

発熱速度	$Q \sim s^{5/2}$	s: 幾何スケール 本検討では、1/10 模型 に対する 1/20 模型の 比較であり s = 1/2
壁等の熱伝導率	$k \sim s^{3/4}$	
壁等の密度	$\rho \sim s^{3/4}$	
壁等の厚さ	$\delta \sim s^{1/4}$	
時間	$t \sim s^{1/2}$	

壁材の熟物性に関しては、スケールが小さいほど高い断熱性が求められるが入手可能な材料が限られることから、同等の材料(25mm厚セラミックファイバーボード)とした。発熱速度の相似を確保するため、室内に設置する木材の表面積を $(1/2)^{5/2} = 0.177$ 倍となるよう調整した。火災継続時間に関しては、木材の総発熱量(総重量に比例)の相似則 $Q \times t \sim s^{5/2} \times s^{1/2} = s^3$ すなわち、 $(1/2)^3 = 0.125$ を満足する必要がある。これを満足するケースを基本条件(1/20①)として、火災継続時間を1/10スケールと合わせる条件 $Q \times t \sim s^{5/2} \times s^0 = s^{5/2}$ すなわち木材重量を $(1/2)^{5/2} = 0.177$ 倍とした条件(1/20②)を併せて行った。実験の様子を写真2に、各模型実験時の各階の全計測点の平均室内温度の履歴を図2及び図3に示す。



写真2 スケール比較実験の様子(左1/10:右1/20)

図2は発熱速度及び火災継続時間に関する相似(表3に示す相似則)を満足する条件で行った模型スケールの比較実験

の結果である。異なるスケールであっても室内の可燃物の表面積及び総重量の相似を満足することで、1階2階共に火災の進行状況は概ね一致することが確認できた。

図3は発熱速度の相似は満足するが、火災継続時間に関する相似は基本とする相似ではなく、 $t \sim s^0$ （スケールによらず一定）となる条件による模型スケールの比較実験の結果である。1/20スケールと1/10スケールが同じ速度で火災が進行しており $t \sim s^0$ から予測される結果と一致した。

但し2階温度に関して、1/20スケールの方が100℃程度低い傾向が見られ、今後詳細に検討する必要がある。

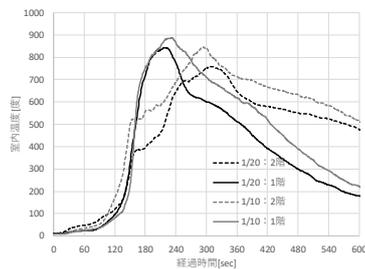


図2 1/10と1/20①の温度履歴比較

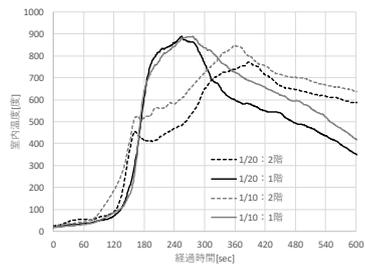


図3 1/10と1/20②の温度履歴比較

※1: 図2及び図3では、1/10スケール実験の時間は、1階室内温度が500℃になる時間が1/20スケール実験と一致するよう調整して表示している。

※2: 図2においては、時間に関する相似則 $t \sim s^{1/2}$ を考慮して、1/10スケールの結果を $2^{1/2}$ 倍速で表示している。

IV 実大火災実験の再現性に関する検討⁴⁾

実際の建築物に近い条件での縮小模型実験の有効性を確認するため、過去に実施された実大規模の建築物1棟の火災実験を原型として、これを1/10スケールに縮小した模型実験により再現を試みた。

原型の実験は、1984年9月10日に建設省（当時）建築研究所屋外火災実験場において実施された「建築物の防火設計法の開発のための木造住宅火災実験」とした。実験建物は在来工法2階建木造住宅（各階床面積29.81m²、延床面積59.62m²）で、内装をすべて不燃化し、1階壁体内は燃え抜け及び壁体内を経由する2階への延焼が生じにくいようロックウールまたはグラスウールを充填している。また、開口部のいくつかは延焼防止のため乙種防火戸仕様の網入りガラス窓となっている。点火は1階南西にある厨房食事室内の間仕切壁に近い部分であった。

図2は各室の温度の履歴を示したものである。全般的な傾向としては模型の温度上昇の勾配が緩やかで温度の最大値も原型に比べて小さくなっている。水廻及びスタジオの温度履歴は比較的良好一致している。開口部材の材質及び材厚については熱物性値の相似性ではなく室間延焼時間の相似性を満足するように選定することで室間延焼の経過を再現できる可能性が確認できた。一方で模型では温度上昇が緩慢で最高温度も低くなった。

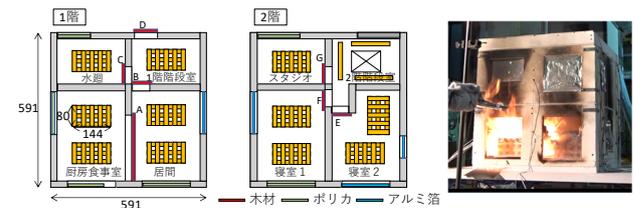


図4 再現実験模型の平面図

写真3 実験の様子

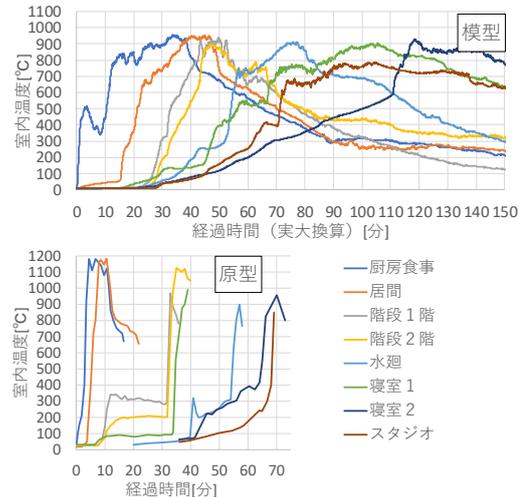


図5 実大実験と模型実験の室内温度履歴比較

V おわりに

縮小模型を用いた火災実験を実施し、スケールの違いによる火災性状への影響等の確認を行い、縮小模型により一定の再現性が確保できることを確認した。但し、縮小模型の室内温度が低い傾向が見られ、今後詳細な検討が必要である。

IVに示した検討は、JSPS 科研費「縮小模型火災実験による市街地火災性状予測の検証法」（挑戦的萌芽研究（16K14363））の助成を受けた。

参考文献

- 1) 岩見達也、樋本圭佑：縮小模型による市街地延焼火災実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.7
- 2) 岩見達也、鍵屋浩司、樋本圭佑：縮小建物模型内部に配置した可燃物の燃焼性状、日本火災学会研究発表会概要集、2017.5
- 3) James G. Quintiere：Fundamentals of Fire Phenomena、John Wiley & Sons Inc、2006.3
- 4) 岩見達也：縮小模型による木造家屋火災の再現に関する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2019.9