

令和元年6月26日現在

機関番号：82113

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14363

研究課題名（和文）縮小模型火災実験による市街地火災性状予測の検証法

研究課題名（英文）Verification method of city fire estimation using reduced model fire experiment

研究代表者

岩見 達也（IWAMI, Tatsuya）

国立研究開発法人建築研究所・住宅・都市研究グループ・主任研究員

研究者番号：20370744

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：過去に建築研究所が実施した在来木造2階建建築物の火災実験を対象とし、1/10スケールで建築物全体の火災性状を再現するための模型仕様の確定及び燃焼実験を実施した。その結果、開口部材の材質及び材厚については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を確認した。一方で模型では温度上昇が緩慢で最高温度も低くなることから構成部材の熱物性値（断熱性）の違い等が影響していることが推測された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では市街地火災性状の予測に対してこれまで検討されてこなかった縮小模型による実験手法を採ること、検証が極めて困難である現代市街地における市街地火災の延焼性状に関する検証を試みたものである。過去の実大火災実験について縮小模型による再現実験を行い、室内温度の再現性に課題は残るものの、火災の進行過程については一定の再現性を確認することができたことから、今後さらに検証を進めることで市街地火災安全性評価に関する検証の可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：For the fire experiment of a wooden two-story building conducted by the Building Research Institute in 1984, the model specifications were determined and the fire experiment was conducted to reproduce the fire behavior of the entire building on a 1/10 scale. As a result, it was confirmed that the process of fire spread inside could be reproduced by selecting the material and thickness of the opening member so as to satisfy the similarity of fire spread time inside the building. On the other hand, in the model, since the temperature rise is slow and the maximum temperature is also lowered, it is presumed that the difference in thermal property value (heat insulation) of the component members is affecting.

研究分野：市街地火災

キーワード：縮小模型 部材試験 再現性 市街地火災 相似則

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市防災分野における最近の市街地火災研究は、現実の火災ではなくシミュレーション等による仮想的な火災に基づいて行われ、その成果は地域防災計画の基礎データとしても用いられている。しかしそのシミュレーションは、近年市街地大火がほとんど発生していないことから現実の火災と比較した検証が困難で、対象地域が広大であるために実験での再現も困難であり、予測精度の検証は数十年前の実際の市街地火災を検証データとして実際とシミュレーションによる延焼動態を比較する以外に方法がない状況である¹⁾。しかし市街地火災が頻発した頃と現代では市街地の状況に大きな違いがあり、現代の市街地の構造を十分反映した検証にはなっていない。

東京都では建築基準法の準防火地域より建築物の構造制限が厳しいいわゆる新防火区域を導入し、原則として準耐火建築物以上の性能を要求する地域を設けており、その動きは密集市街地を抱える他の自治体にも広がりを見せつつある。準耐火建築物は確かに燃えにくいが耐火建築物のように燃えないわけではなく、木造3階建の増加に伴って市街地に存在する可燃物量そのものはかえって増加している可能性がある。それにもかかわらず、既述したように木造準耐火建築物が集積した場合の市街地の火災安全性は十分に確認されないままとなっている。

建築火災分野、燃焼工学分野では、相似則に関する研究が古くから行われており、縮小模型実験による現実問題への適用が行われているが建築物内部での火災性状の再現に関心が寄せられており建物間の延焼問題に対する取り組みはほとんど行われていない。市街地火災を対象とした縮小模型実験の例もいくつかは存在するが、建物間延焼の相似則の検討を含めた実大スケールの予測可能性の評価を視野に入れた検討には至っていない。

2. 研究の目的

都市防災分野における最近の市街地火災研究は、現実の火災ではなくシミュレーション等による仮想的な火災に基づいて行われ、さらに地域防災計画の基礎データとしても用いられている。しかしそのシミュレーションは、近年市街地大火がほとんど発生していないことから現実の火災と比較した検証が困難で、対象地域が広大であるために実験での再現も困難であり、数十年前の実火災との簡易な比較等、不十分な検証に留まっている。そこで本研究では建築火災分野、燃焼工学分野における相似則に関する成果を踏まえて、過去に行われた実大規模の火災実験を縮小模型実験で再現することで、縮小模型を用いた現実の火災の延焼性状に関する評価可能性を示すとともに、現代の市街地の火災安全性の把握を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

3.1. 原型実験と関連する相似則

過去に実施された実大規模の建築物1棟を対象とした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」²⁾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經由する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。

火災性状に関する相似則は幾何スケールを s として以下が提案されている³⁾。

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

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

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

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

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

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

ただし、複数室、複数建築物の火災を再現する場合には、各室が出火する時間に関する相似性を確保することが特に重要となることから、延焼経路となる開口部材に関しては式4及び式5よりもむしろ、部材の燃え抜け時間・崩壊時間が下記を満足するように材質や材厚を選定することが重要であると考えられる。

(室間延焼時間) / (代表火災継続時間) ~ const.

(建物間延焼時間) / (代表火災継続時間) ~ const.

3.2. 部材試験

模型実験に先立って原型実験で用いられた部材の性能確認及び模型実験における構成材選定の参考とするため、小型炉を用いた防耐火性能に関する部材試験を実施した。部材試験の様子を図1に、試験ケース及び裏面温度が300℃に到達した加熱時間を表1に示す。原型模型における外壁に関しては、49分以上裏面が300℃以上にならず、実験を通して概ね外壁の形状を保っていたことと整合する結果が得られた。単板に関する実験においては、各面材の加熱に対する抵抗性を把握することができた。



図1 部材試験の様子（硬質木片セメント板）

表 部材試験のケース及び結果

種類	構成	厚[mm]	裏面300℃ 到達時間	
単板	繊維混入ケイカル板	6	4分58秒	
単板	繊維混入ケイカル板	12	12分14秒	
単板	硬質木片セメント板	12	8分11秒	
単板	せっこうボード	12.5	17分13秒	
単板	せっこうボード	9.5	13分41秒	
単板	ケイカル板	4	裏面温度計測せず。約2分05秒に亀裂確認。 亀裂大きくなり約3分15秒で加熱終了	
原型 模型 再現	床	パーティクルボード	20	21分26秒
	1階外壁	加熱側：繊維混入ケイカル板	12	300℃ 到達せず。 (60分で加熱終了)
		ロックウール充填	100	
		非加熱側：硬質木片セメント板	12	
	2階外壁	加熱側：せっこうボード	12.5	49分16秒
		中空	105	
		非加熱側：硬質木片セメント板	12	
	天井	加熱側：ロックウール吸音板	12	32分48秒
下張り：せっこうボード		12.5		

3.2. 模型実験の条件設定

模型のスケールを1/10として各室の面積や配置、天井高、開口部の面積や位置はなるべく原型の条件を再現するよう模型を製作（図2）し、2019年1月に建築研究所実大火災実験棟内で実験を行った。実験に用いた構成材は既述した部材試験の結果を踏まえて選定した。具体的選定材を以下に示す。

(1)外壁及び間仕切り壁

構成材は、原型実験において実験終盤まで外壁材の目立った脱落がなく区画形状が保持されていたことから、式4及び式5を満足しないが、熱伝導率の低さと模型製作の容易性を考慮して25mm厚セラミックファイバーボードを用いた。

(2)外壁開口部

普通ガラス窓の模型として火災時に早期に破損・脱落すること及び内部の観察が可能であることから1mm厚ポリカーボネート板（透明）（以下、「ポリカ」という。）を選定した。乙種防火戸の模型としては網入りガラスの鉄線が火災による高温に晒されて軟化しガラス重量を保持できなくなったときに脱落する機構を模擬することを目指して、市販のアルミ箔（11μm厚）に重りをつけて開口部上端からつり下げるように設置した。ただし、2階階段室の開口部は原型実験では点火後32分に人為的に破壊していることから模型実験ではセラミックファイバーボードをはめ込んで閉鎖し一定時間後に取り外すようにした。その他の開口部も原型に倣って、厨房食事室を1/4だけ開放した以外はすべて閉鎖状態とした。

(3)室間ドア

室間のドア材は燃え抜けによる隣室への延焼を再現するため木材を用いた。燃え抜け時間は相似則を考慮して材質・材厚を選定することとし、事前に実施した原型実験の1階のみを部分

的に再現した部分模型予備実験(図3)におけるドア材燃え抜け時間に関する結果を踏まえて、以下の通りとした。室間ドアも原型と同様にすべて閉鎖した。

- ・ドア A,F : 2mm 厚バルサ材
- ・ドア B : 5mm 厚バルサ材
- ・ドア C,D,E,G : 5.5mm 厚合板

(4)床・天井・屋根

部材試験の結果を踏まえて床材は 9mm 厚合板、天井材は 6mm 厚ケイ酸カルシウム板とした。各階天井材の上には床組及び小屋組を想定した杉材クリブ(小口径 15mm×521mm、7本×2段(床組)又は3段(小屋組))を設置し、天井材や床材の崩壊にともなって床組・小屋組が燃焼するように設計した。小屋組クリブの上には野地板を想定した 5mm 厚合板を載せ、さらにその上に屋根材として 6mm 厚ケイ酸カルシウム板を 49mm 角のタイル状に切断したものを 144 枚を並べた。なお、階段室の界床には縦穴に相当する 110mm×80mm の開口を設けた。

(5)収納可燃物

収納可燃物は図3に示すように、小口径 16mm×長さ 80mm 又は 144mm の杉材片を 16mm 間隔で形状に組み上げてクリブを作成し、105℃環境で十分乾燥させた上で、厨房食事室、居間、寝室1及び寝室2は5段組×2個、水廻及びスタジオは6段組1個、階段室は1階に3段組1個、2階に長さ 144mm 木片 3本を配置した。クリブ1段あたりの重量はおよそ 40gであった。

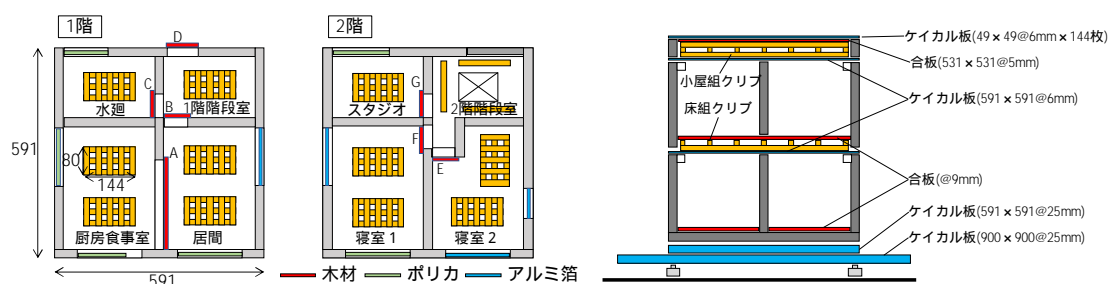


図2 模型の平面図及び断面図



図3 部分模型予備実験の様子

4. 研究成果

4.1. 計測項目

重量減少、発熱速度、各室中央付近2点(床から 110mm 及び 180mm)の温度、ドア材中央裏面(被延焼室側)温度、各室床材裏面及び天井材裏面温度、床組内及び小屋組内温度、屋根材裏面温度、周囲の熱流束の計測を行った。その他、赤外線カメラによる撮影を行った。

4.2. 実験結果

表2は原型と模型の火災進行の経過を示したものである。経過の流れは概ね再現されているものの、時間は模型実験の実時刻が原型に近い時刻となっており、実大に換算した時刻では、模型実験の火災進行が遅い結果となった。また、火災の進行に伴って2階床や屋根が燃え落ちることを想定して3.に既述した単板部材試験の結果を踏まえて天井材として選定した 6mm 厚ケイ酸カルシウム板は、クラックは入るものの結果として崩壊までは至らなかった。実験の様子を図4に示す。



(a)南東側（点火前） (b)南側（点火直後） (c)南側（15分経過） (d)北側（28分経過）
（2階寝室1へ延焼） （2階スタジオ盛期）

図4 模型実験の様子

図5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よく一致している。

図6～図8はそれぞれ、各室間ドア裏面(出火が遅い方の室内側)の温度履歴、南面熱流束及び模型重量履歴を示している。熱流束に関しては、居間の南面開口上端高さ、壁面から南側に0.6mの地点において、最大約3.9kW/m²を示しており、この観測点に対応する原型実験における壁面から南側6m地点の最大値12kW/m²と比べるとやや低い結果となった。重量減少速度は27分から60分の間が最も激しく、概ね一定で0.24kg/min程度であった。

4.3. まとめ

実大火災実験の縮小模型による再現を試みた。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200K程度低くなった。構成部材の熱物性値(断熱性)の違い等が影響していると考えられ、模型実験によって市街地の火災安全性を検証する上では今後一層の検討が必要である。熱流束に関しても原型実験より低い値となっており、全体とし

表2 実験経過一覧

原型実験		模型実験		
時刻	経過	時刻	実大換算	経過
0'	点火	0'	(0)	点火
3'	食事室南ガラス破損	3'40"	(11'36")	同左
4'	食事室南窓火炎噴出	4'45"	(15'01")	同左
6'	居間出火	6'24"	(20'14")	居間クリブ出火
6'30"	寝室1南ガラス破損	6'48"	(78'25")	寝室1ポリカ溶ける
7'15"	居間FO	7'03"	(22'18")	同左
32'	階段2ガラス割る	10'	(31'37")	階段2窓開ける
33'	階段室FO	13'	(41'07")	同左
42'	寝室1火炎猛烈	25'18"	(80'00")	寝室1FO
60'	寝室1床燃え抜けか	-	-	-
62'	寝室2火が入る	35'	(110'41")	寝室2東窓開ける
64'	寝室2盛んに燃える	-	-	寝室2内部燃焼
65'	居間可燃物落ちる	-	-	-
66'	食事室可燃物落ちる	-	-	-
68'	寝室2窓落ち火炎噴出	36'42"	(116'03")	寝室2南窓脱落
74'	外側仕上げ剥落盛ん	-	-	-
80'48"	倒壊	-	-	-

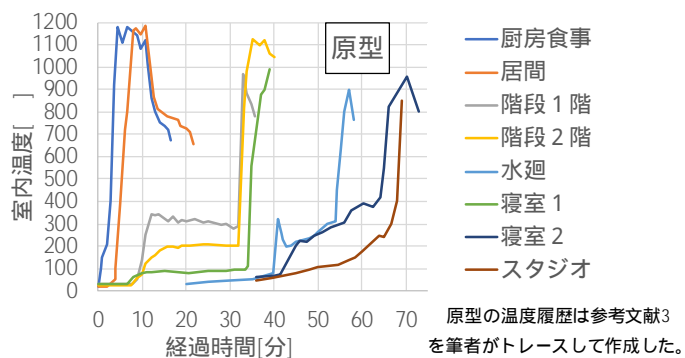
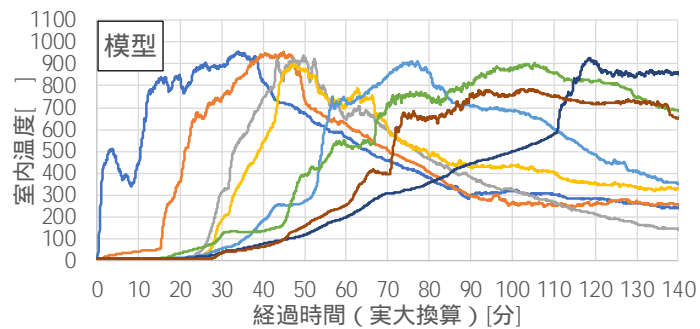


図5 室内温度履歴

原型の温度履歴は参考文献3を筆者がトレースして作成した。

て燃焼が緩慢で室内温度が低くなることが影響していると考えられる。

<参考文献>

- 1) 岩見達也ほか：飛火を反映した市街地火災シミュレーションの構築(その2)火災実験に基づいた飛火現象のモデル化とシミュレーションの構築、日本建築学会大会講演梗概集(関東)、2011
- 2) 建設省建築研究所：「建築物の防火設計法開発のための木造住宅火災実験」報告書、建築研究資料No.54、1985.9
- 3) James G. Quintiere : Fundamentals of Fire Phenomena, John Wiley & Sons Inc、2006.3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

岩見達也：「縮小モデル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、防火、2019年7月

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩見 達也 (IWAMI Tatsuya)

国立研究開発法人建築研究所
主任研究員

研究者番号：20370744

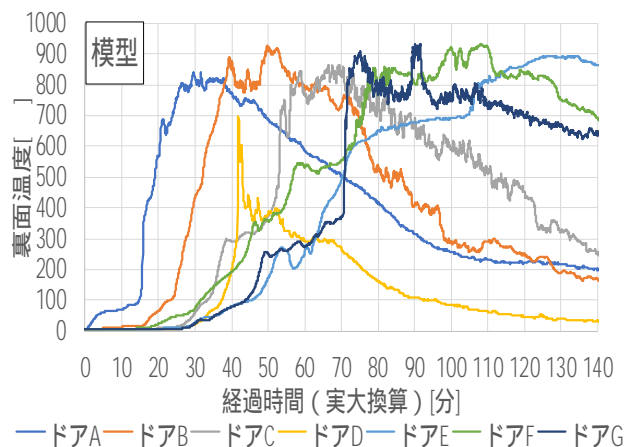


図6 各室ドア裏面温度

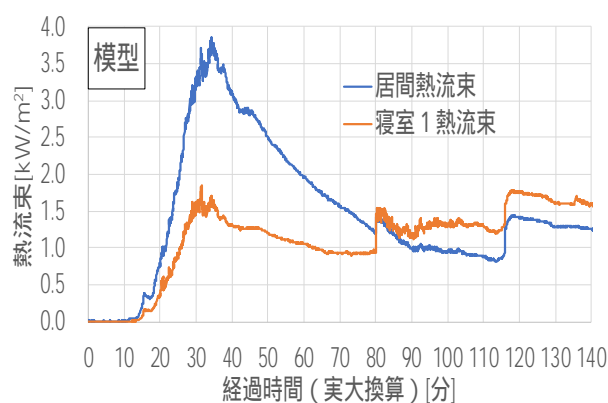


図7 熱流束の履歴

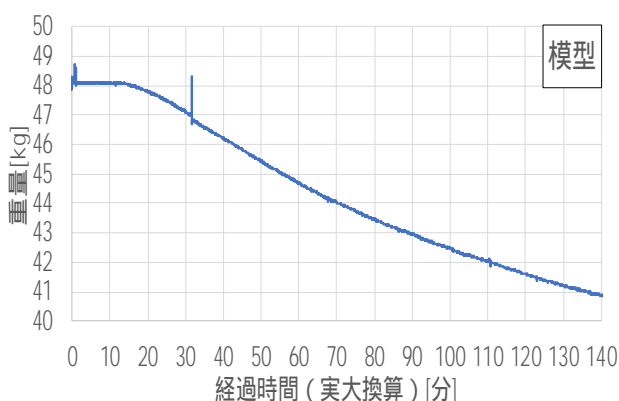


図8 模型重量

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。