

5) - 2 模型実験を活用した市街地火災性状予測【安全・安心】

Prediction of urban fire behavior using model experiments

(研究開発期間 平成 28～令和 2 年度)

住宅・都市研究グループ
Dept. of Housing and Urban Planning
防火研究グループ
Dept. of Fire Engineering

岩見 達也
Tatsuya Iwami
鍵屋 浩司
Koji Kagiya

In this study, in order to reproduce the city fire with the reduced model and acquire the data that can verify the urban fire simulation, we examined the law of similarity for making full-scale predictions using a reduced model, how to realize it in experiments, and confirmed the assurance of similarity. Appropriate similarity rules were derived from the results of fire experiments. It was confirmed that the fire behavior can be reproduced by applying these similarity rules. In addition, it was suggested from the similarity rule that it is difficult for fire to spread to the surroundings when the scale is small.

【研究開発の目的及び経過】

市街地火災の危険性を把握する際、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ることが多い。しかし、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ることから、シミュレーションの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。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。

本研究では、縮小模型により市街地火災を再現し、市街地火災シミュレーションの検証が可能なデータの取得を行うため、縮小模型により実大の予測を行うための相似則の検討、実験での実現方法、相似性の確保の確認等を行い、縮小模型による実験方法を示すとともに、シミュレーションの検証データの整備を行った。

以上に加えて、平成 28 年 12 月 22 日に新潟県糸魚川市で大規模火災が発生したことから、シミュレーションの検証データの一つとして、現地調査及び情報収集を行うと共に、シミュレーションの精度向上に資するデータの整備・分析を行った。

【研究開発の内容】

以下では、本研究において実施した主な実験について概要を示す。

2 階建て家屋が 15 棟並ぶ市街地をモデル化し、縮小スケール 1/10 及び 1/20 の 2 種の縮小模型による市街地延焼実験を実施した¹⁾²⁾。風速と隣棟間隔による延焼速度への影響を計測し、延焼する条件を整理した。この実験

では、実大換算隣棟間隔が同じであっても、縮小スケールが小さい方が隣棟延焼が生じにくくなる傾向が確認された。



写真 1 縮小模型による市街地延焼実験 (1/20 スケール)

縮小模型と実大スケールの比較を行うため、1981 年 1 月に実施された在来木造小規模実大実験³⁾を原型実験として選定し、1/5 スケールの模型による相似則の適用性の検証のための実験を実施した(写真 2)。壁、床、天井、室内可燃物、開口部等の各部材は相似則を考慮して選定した。

観測結果について、模型実験点火後 568.5 秒を実大実験の開始時点に合わせた上で、模型の経過時間の進行速度を相似則に基づいて $(1/5)^{1/2}$ 倍に調整したものが図 1 である。居室の温度履歴は近い傾向を示しているが、900 秒前後での温度が模型の方がやや低くなっている。小屋裏 3 カ所(居室裏、押入裏及び踏込裏)に関しては、概ね一致した傾向が再現され、層間部材及び小屋裏区画部材の燃え抜けに要する時間及び周壁の熱物性の相似性が再現された結果と考えられる。また、初期(模型 568.5 秒以前)の火災成長が大きく異なっており、初期火源の

設定に課題が残る結果となった。

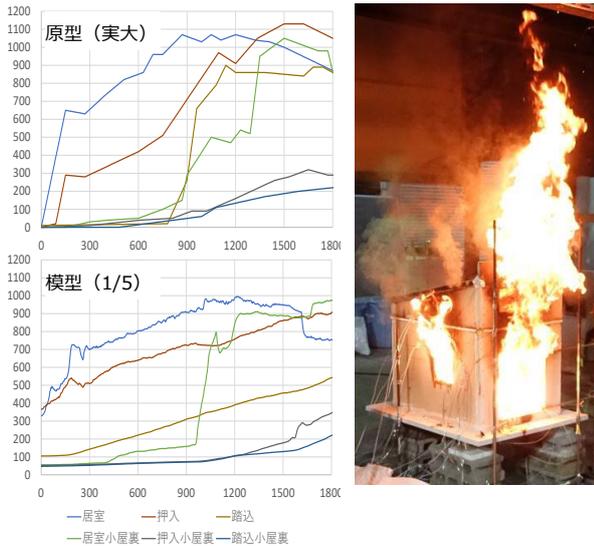


図1 実大比較実験温度履歴 写真2 実大比較実験

縮小スケールが小さい場合に室内温度の上昇が緩慢で最高温度も低くなる傾向が見られたことから、縮小スケールと燃焼性状の関係の把握のため、スケールと周壁構成材が異なる条件での模型実験を実施した。

前掲の実大火災実験を原型実験とし3種のスケール ($s = 1/3, 1/9$ 及び $1/15$) の模型を設計した。なお、原型では内部の押入、小屋裏、複数開口部など、やや複雑な区画条件となっているが、本検討では単純化して単一区画、単一開口部とした。各スケールに用いる可燃物は相似則を考慮して設計した。模型の条件を図2に示す。

区画構成材は $1/3$ スケールのケイ酸カルシウム板 (タイプ3、1号品、厚さ35mm) (材①) を基準に設定し、 $1/9$ 及び $1/15$ は熱伝導率等の物性値が相似則に基づいて求めた目標値に近い材として、それぞれイソウール BSSR1300 ボード厚さ25mm (材②) 及びイソウール BSSR1300 ブランケット130厚さ25mm (材③) を選定した。実験ケースとしてスケールと区画構成材の組み合わせにより図3凡例に示す6ケースを設定した。

ここでもスケールが小さいほど室内温度が低下する傾向が見られたが、同一構成材によってスケールのみ異なる場合と比較して相似に近い構成材を採用した方が近い温度を示した。また、クリブの材径及び材間距離を相似にすることで、火災初期の内部延焼性状も概ね相似になることを確認した。図は省略するが、重量減少速度及び発熱速度、火災温度は、いずれのケースも近い温度分布を示した。一方、相似な位置で計測した受熱流束はスケールの違いにより大きく異なる結果となったが、輻射吸収係数を0.8、火災の厚さを開口幅×1.5程度と考えれば

概ね相似な値を観測した。逆に言えば、周囲での熱流束を一致させるためには輻射吸収係数を s^{-1} で相似にする必要があることを示している。なお、条件は多少異なるが、原型の居室温度 (図1) とケイカルLの温度履歴の傾向は概ね一致した。

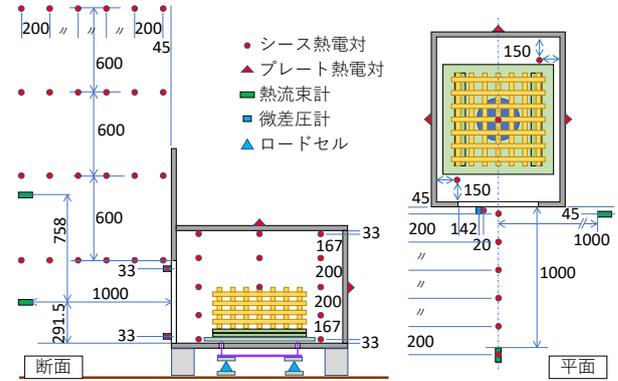


図2 1/3 模型の形状と計測位置[mm]

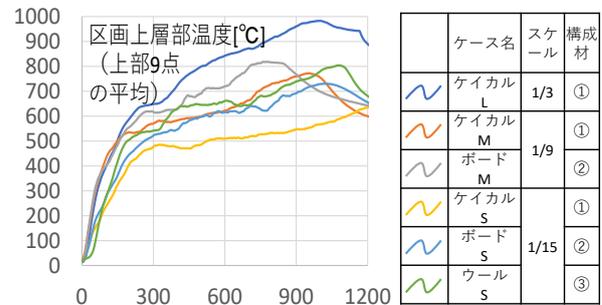


図3 スケール検証実験温度履歴

【研究開発の結果】

火災実験の観測結果を踏まえて、相似則の検討及び検証を実施した。その結果、以下の相似則を採用することで、室内温度や噴出火炎等の燃焼性状に関して概ね再現できることを確認した。また、スケールが小さいケースで周囲への延焼が生じにくくなることは輻射吸収係数の相似則から予想できることが示唆された。

- | | |
|----------------------------------|---|
| ① 発熱速度 $Q \propto s^{5/2}$ | ⑦ 燃抜部材厚さ $\delta' \propto s^{1/2}$ |
| ② 時間 $t \propto s^{1/2}$ | ⑧ 可燃物表面積 $A_{fuel} \propto s^{5/2}$ |
| ③ 周壁材の熱伝導率 $k \propto s^{3/4}$ | ⑨ 可燃物重量 (体積) $M_{fuel} \propto s^{1/2}$ |
| ④ // 密度 $\rho \propto s^{3/4}$ | ⑩ 可燃物材径 $\phi_{stick} \propto s^{1/2}$ |
| ⑤ // 厚さ $\delta \propto s^{1/4}$ | ⑪ 可燃物材間距離 $d_{stick} \propto s^{1/2}$ |
| ⑥ 温度 $T \propto s^0$ | ⑫ 輻射吸収係数 $\kappa \propto s^{-1}$ |

【参考文献】

- 1) 岩見達也他：縮小模型による市街地延焼火災実験、日本建築学会 2016 年度大会(九州)学術講演梗概集、2016.7
- 2) 岩見達也他：縮小建物模型の火災性状の相似性に関する実験的検討、日本火災学会研究発表会概要集、2018.5
- 3) 木造住宅在来工法合理化促進業務報告書、財団法人日本住宅・木材技術センター、1981.3