

第1章 はじめに

中高層木造建築物への関心の高まりとともに、内装にも木材を活用する設計事例が増えている。一般的に、壁や天井の内装に可燃性材料を用いることは、火災の成長を著しく早め、在館者の避難を困難なものにすると考えられてきた。しかし、内装が火災の成長に与える影響は、可燃性材料の貼り方や室の規模により大きく異なる。Peel et al.¹⁾は、内装を部分的に木質化した区画を用いて、ISO 9705 ルームコーナー試験に従った実大火災実験を行い、木質化した部分の総面積が同じでもその位置や形状により火災の成長が大きく異なることを報告している。また、フラッシュオーバー（以降では、室内の部分的な燃焼がある時点を境に室全体へ急激に拡大する現象という意味で用いる）が発生するまでの時間は、木質化した部分の火源からの高さや空間に占める比率、火源から上方への延焼経路となる部分の木質化の有無に影響されると結論づけている。市原ら²⁾は、壁や天井の全面を木材で仕上げた約 10m² と約 50m² の区画を用いて、隅角部に火源を設置した実大火災実験を行っている。これによると、50m² 区画の方が火災の成長が遅く、その要因として、煙層から天井面への加熱が小さく、天井の木材の燃焼拡大が緩やかであったことが考えられる。また、50m² 区画の天井を不燃材料で仕上げた場合には、フラッシュオーバーが発生しなかったことが報告されている。

建築火災時の避難安全検証法³⁾⁴⁾では、木質内装材の貼り方によらず一律に設計火源の火災成長率を大きくするため、内装の一部にしか木材を使用しない場合には、設計火災性状が厳しすぎる想定となり、設計上の過剰な制約となっている。また、室の規模が内装材の燃焼拡大に与える影響も考慮されていない。これに対し、高度な避難安全検証では、候補となる木質内装材の燃焼拡大性状を実大火災実験によって把握し、測定された発熱速度データから設計火源の火災成長率を決定している事例がある⁵⁾。しかし、こうした実大火災実験を誰しもが容易に実施できる訳ではない。内装木質化に関する設計の自由度を向上させるためには、計算の簡易さを重視する避難安全検証法の改善には限界があることから、高度な避難安全検証向けに、内装材の燃焼拡大性状を合理的に予測可能な手法を開発する必要がある。また、内装材の燃焼拡大に伴う煙の発生は、火災室だけでなく非火災室においても煙層の降下を早め、火災階や建物全体での避難に影響を与える。開発する手法を高度な避難安全検証で用いるためには、非火災室を含む複数室間の煙流動性状も同時に予測できる必要がある。

本研究では、内装材の燃焼拡大による火災成長と非火災室を含む複数室間の煙流動を一体的に解析可能な非定常の火災モデルを開発した。具体的には、火災室の隅角部に火源が存在するシナリオを想定し、①内装材の熱物性から上方、側方、下方への燃え拡がり速度を予測可能な火災伝播モデル⁶⁾⁷⁾と、②建物内の各空間の気体温度の鉛直分布を予測可能な多層ゾーンモデル⁸⁾を統合することによって、フラッシュオーバーが発生するまでの火災性状を定式化した。本モデルでは、火源条件の他に、火災室の可燃性内装材を貼る範囲の形状、可燃性内装材の厚さや熱物性および単位面積あたりの発熱速度の時刻歴を指定する

ことによって、火災室内全体の発熱速度や各空間の気体温度等の鉛直分布を時系列に予測することができる。すなわち、壁や天井に貼る可燃性内装材の面積、厚さ、位置および材種の違いを考慮することができる。ただし、表面が平らで加熱により溶融しない内装材に限られる。表面に溝があるものやルーバー状のものなど、内装材の表面に凹凸がある場合には、本モデルを適用することができない。なお、壁の一面のみを可燃性材料で仕上げる場合など、壁際に火源を想定することが現実的な場合もある。また、内装に可燃性材料を使用しない場合には、火災プルームの巻き込み量が大きくなる中央火源を想定する必要がある。そこで、隅角部火災シナリオだけでなく、内装材の燃焼拡大を伴わないが火災プルームの巻き込み量が最も大きくなる中央火災シナリオと、天井を不燃材料で仕上げることを前提に壁際火災シナリオも扱えるようにした。ここでの壁際火災シナリオでは、火災プルームの巻き込み量が隅角部火災シナリオよりも大きくなることのみを考慮し、壁に貼られた可燃性材料の燃焼拡大は隅角部火災シナリオと同様に扱っている。

代表的な先行研究として、Karlsson⁹⁾、Quintiere¹⁰⁾、Wade and Barnett¹¹⁾、Peel et al.¹²⁾、Lattimer et al.¹³⁾ は、二層ゾーンモデルを基盤として、内装材の燃焼拡大による火災成長を予測する計算モデルを開発している。しかし、内装材が燃え拡がり火災性状が急激に変化するような非定常性の強い場合には、煙層の内部にも鉛直方向の温度勾配が形成されるため、二層ゾーンの仮定が成り立たない可能性がある。また、煙層がある部分の内装材の温度も高さによらず常に一様とはならない。内装材の温度は火炎伝播速度を決定する重要な要因であり、二層ゾーンモデルが抱える温度予測の曖昧な点は、内装材の燃焼拡大性状の予測結果の信頼性に影響を与える可能性がある。本研究では、こうした課題を解決するため、鈴木ら⁸⁾²⁰⁾により提案された多層ゾーンモデルの概念を基盤としたが、我が国の設計実務において長く活用されてきた二層ゾーン建物内煙流動予測モデル¹⁴⁾¹⁵⁾を更新し、設計火災性状の予測を高度化するという狙いもある。ただし、本研究での多層ゾーンモデルは、①火炎からの放射は気体の層に全く吸収されることなく透過し、周壁表面に入射して吸収されるのに対し、気体の層と層の間や層と周壁表面の間での放射熱の授受を考える際には、気体の層を黒体として扱う、②開口噴流プルーム流量の計算にTanaka et al.¹⁶⁾の予測式を用いるなど、鈴木ら⁸⁾²⁰⁾の多層ゾーンモデルを簡略化したものとなっている。

本報では、まず、開発した予測モデルの概念を整理する。ただし、機械排煙設備やスプリンクラー設備の効果はモデルに含まれていない。なお、モデルでは、火災室の一部の内装材が可燃性材料であり、それ以外の内装材は燃焼しないことを想定している。そこで、モデルの概念を整理する第2章と第3章では、「内装材」と「可燃性内装材」を区別して用いることとし、「内装材」には「可燃性内装材」とその他の内装材も含まれるものとする。次に、過去に実施された複数の実大火災実験の再現計算を行い、計算結果を実験結果と比較することによって、モデルの予測性能を検証した内容を整理する。ここでは、多層ゾーンモデルの基本的な予測性能と内装材の燃焼拡大を含めた全体の予測性能を調べるため、

(I) Yamana and Tanaka¹⁷⁾の大規模吹き抜け空間の煙降下実験

(II) 出口ら¹⁸⁾の単室隅角部火災の自然排煙実験

(III) 吉田ら¹⁹⁾の複数室間の煙流動実験

(IV) Peel et al.¹⁾の内装を部分的に木質化した小規模区画の燃焼拡大実験

(V) 市原ら²⁾の内装を部分的に木質化した大規模区画の燃焼拡大実験

の再現計算を行い、(I)～(III)については気体温度の鉛直分布を、(IV)と(V)については区画内の発熱速度を、計算結果と実験結果の間で比較した。さらに、モデルを設計実務に用いるための参考として、木質内装空間の仮想プランに適用した内容を整理する。最後に、本報全体のまとめとモデルの使用上の注意点を整理する。