

第6章 おわりに

6.1 まとめと今後の課題

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炎伝播モデルと、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。開発したモデルを用いて、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。その結果、モデルの予測性能について、次のような結論が得られた。

- 火災室や非火災室における煙の降下は実態よりも早く予測される。しかし、出火後ある程度時間が経過した後の気体温度の鉛直分布については概ね良好な予測結果が得られる。特に、上部の温度勾配や低温領域から高温領域に遷移し始める高さは概ね良好に予測される。
- 火災室における内装材の燃焼拡大は実態よりも激しく予測される。発熱速度は過大に評価され、フラッシュオーバーの発生時間は短く予測される。しかし、可燃性内装材を貼る部分の高さや面積、上方への延焼経路となる部分の可燃性内装材の有無により燃焼拡大の性状が異なるという観測事実の定性的な傾向は予測結果に表れる。

開発したモデルは、可燃性内装材の貼り方に応じて火災性状を予測することができるため、これまでの避難安全検証で生じていた設計上の制約を緩和することができる。また、二層ゾーンモデルが抱えていた温度予測の曖昧な点を改善し、設計で想定する火災性状の信頼性を高めることができる。しかし、モデルには依然として改善の余地がある。室内での放射熱の授受については、気体の層を灰色体として扱うことによって、正確さを向上させる必要がある。火災室内の発熱速度については、各層に存在・供給される燃料と酸素の当量比から燃焼率を推定することによって、燃料支配型だけでなく換気支配型の燃焼も考慮する必要がある。その他に、煙の水平流動の考慮、内装材の温度を計算する際の一次元熱伝導方程式の境界条件の修正、物理的な熱分解モデルを用いた内装材の燃焼速度の予測などによって、モデルの予測精度が向上する可能性がある。

6.2 モデルの機能と使用上の注意点

開発したモデルの機能や使用上の注意点としては、次のようなことがあげられる。

- 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（着火温度や火炎伝播パラメータを含む）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。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。また、木質材料を想定しており、紙や布のような内装材についての解析結果は確認されていない。

- 避難安全検証に用いるための煙層高さや煙層温度を各空間の気体温度の鉛直分布からN%法（10%）を用いて決定する。
- 代表的な可燃性内装材については、コーンカロリメータ試験装置やLIFT試験装置を用いて着火温度や火炎伝播パラメータを測定した結果が多数報告されているため、設計で検討する内装材の種類や厚さと一致する条件、または近い条件での測定結果を参考にして指定することができる。
- 可燃性内装材の単位面積あたりの発熱速度の時刻歴についても、代表的な可燃性内装材に限れば、コーンカロリメータ試験装置を用いた測定結果が多数報告されているため、設計で検討する内装材の種類や厚さと一致する条件、または近い条件での測定結果を選定し、グラフから読み取った発熱速度を直線補間して指定することができる。
- 計算の発散を防ぐために時間刻みを0.05sに設定しており、計算に要する時間は二層ゾーン建物内煙流動予測モデル¹⁴⁾¹⁵⁾に比べて長くなる。しかし、低性能CPU（Celeron N4100、周波数1.1GHz）を搭載したデスクトップPCを用いた場合でも、本報で実施した計算の所要時間は1分のオーダー（長いケースでも数分程度の時間）であり、数値流体力学シミュレーションに比べれば圧倒的に短い。
- 建物と外気との間に開口がない、または対象空間と他の空間との間に開口がないなど、完全に密閉された空間があると、火災により室内の静圧が異常に高まり、計算が継続できなくなる。静圧計算の実行上、常に若干の開口は設ける必要があり、人為的な開口を設ける場合には、煙流動性状に影響が出ないように、空間の下部に設けるといった配慮が必要になる。また、人為的な開口が小さすぎると、計算時間が膨大になる場合があるため、そのような場合には、人為的な開口の大きさを調整する必要がある。

開発したモデルは、表面が平らな内装材を対象にしており、表面に凹凸がある内装材は適用範囲外である。しかし、式(65)の $\dot{Q}_{cell}''(t)$ を内装材の見付面積に対する露出面積の比で割り増せば、内装材の表面に凹凸がある場合にも適用できる可能性はある。また、開発したモデルに機械排煙設備やスプリンクラー設備の効果を組み込むことができれば、防火対策を追加する代わりに木質化する内装の部分を拡大するなど、火災安全性を確保しながら内装木質化に関する多様なニーズをより柔軟に検討できるようになるとと思われる。