

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 原 哲 夫

本論文は、火災建物の避難安全計画に必要とされる建物内の煙流動特性の CFD (Computational Fluid Dynamics) 予測手法の確立を最終目的とし、そのための基礎的検討を行ったものである。

煙流動の CFD 予測は、現状の半経験的な 2 層ゾーンモデルによる煙流動予測に比べて適用条件が広く、詳細な予測が可能であり、安全計画をより高度なものにすると考えられる。しかし現状では計算機能力の限界や火災現象の不確定性により、複雑な建物内の火災現象全てを CFD 予測により忠実に予測することは期待できない。不確定な要素の多い火災時の建物の避難計画において、必要とされる事項を相応の精度で予測することが、工学的にまず必要とされる。建物内の煙流動現象は、複雑な浮力乱流であり、現状の CFD 技術、計算機能力では、直接、支配方程式に基づいてこれを解析することができない。現象を簡明にモデル化した乱流モデルと解析条件のモデル化に基づき、限定された情報に関して解析を行うこととなる。そのため、解析・予測の基礎となる乱流モデルと解析条件（境界条件）のモデル化の妥当性及びその実用的な数値シミュレーション手法の検討が必須となる。

本論文は、CFD 予測に必要とされる性能条件を火災時の建物の安全計画をより高度化する立場から、明らかにし、標準 $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルに基づく乱流シミュレーションが、これら必要条件を十分に満たし得ることを明らかにするとともに、必要性能を満たすための数値シミュレーション条件を明らかにしている。

本論文は、火災時の避難計画上、最も基本となる 3 つの建物内の煙流動現象を抽出し、これに CFD 解析を適用し、その有用性を確認している。この 3 つの流れは自由プルーム、壁コーナー近傍の制限プルーム、及びプルームが天井に衝突し拡散する天井ジェットであり、これらの流れに対する標準 $k-\epsilon$ 型 2 方程式モデルに基づく CFD 解析の予測精度を実験との比較により定量的に検証し、建物内煙流動特性の CFD 予測の実用化の体系を提示している。

論文は以下に示す 6 章で構成されている。

第 1 章では、序論として本研究の背景と目的、本研究における検討課題と研究範囲、研究内容の概要を述べている。

第2章では、火災時の煙流動の計画・設計手法に一般に用いられている2層ゾーンモデルについて、その性能限界を検討している。火災煙流動性状について2層ゾーンモデルの性能限界を単純な形状のモデル空間(単位空間)を対象として検討し、この結果から安全計画の高度化のための煙流動特性CFD解析の必要性能を提案している。

第3章では、火災時の煙流動性状の解析に際し、最も基本となる物理現象である自由プルームに関して、標準 $k-\epsilon$ 型2方程式モデルに基づく乱流シミュレーションの予測精度を実験結果と比較検討している。検討では、解析結果に対する様々な影響因子に関して検討を加え、安全計画の高度化という実用上の観点からは、標準 $k-\epsilon$ 型2方程式モデルに基づく乱流シミュレーションが、極めて有効であることを明らかにしている。

第4章では、実火災において壁コーナー近傍のプルームの火災危険度が高く、煙流動性状予測の必要性が高いことに着目して、同じく標準 $k-\epsilon$ 型2方程式乱流モデルに基づくCFD解析を行い、実験値に基づきその予測精度を検証している。火源直上部分の温度、速度に関しては、流体の熱膨張に関して圧力波伝搬を除きこれを考慮する簡易圧縮モデルが、流体の熱膨張による密度変化を平均流の運動方程式のみに考慮する非圧縮モデルより実測値の再現性がよいことを示している。また火源付近の解析メッシュの格子依存性を検討し、実用上問題のない解析メッシュの程度を提案している。非圧縮モデルによるプルーム流量は、火源から離れた上部では実測値に対してよく一致し、こうした領域では非圧縮モデルによる解析も実用上十分な解析精度を与えることを示している。

第5章では、火災プルームが天井に衝突し、水平に拡散する天井ジェットに関し標準 $k-\epsilon$ 型2方程式乱流モデルに基づくCFD解析を行い、実験値に基づきその予測精度を検証している。この流れ場では、高温火源の影響が大きいことから簡易圧縮モデルは実験値との対応がよいことを示している。

第6章では、全体のまとめを行い、各章で得られた知見をまとめ、総括的な結論を述べている。

以上を要約するに本論文では、まず建物火災時の安全計画の高度化という実用上の観点から、煙流動特性に対する安全計画上の考察プロセスを示し、2層ゾーンモデルに代表される従来法の性能限界を検証し、CFD解析の必要性能を設定している。

次に、標準 $k-\epsilon$ 型2方程式乱流モデルに基づき、建物内の煙流動の基本となる3つの流れ場(①自由プルーム、②壁コーナー近傍の制限プルーム、③自由プルームが天井に衝突拡散する天井ジェット)を解析し、実験値との検証を行い、安全計画の高度化の観点から相応の精度が確保されることを示している。

すなわち本論文は、今後の建築防災計画において、合理的な煙流動特性予測と避難安全設計をなすための土台を提供し、安全計画の高度化を可能としたものであり、その寄与するところは大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。