

外99-5

早稲田大学審査学位論文(博士)の要旨

2923

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

局部火災加熱される建築部材  
の温度応答予測に関する研究

熱的性状

申請者

若松 高志

Takashi Wakamatsu

1999年 6月

従来の建築基準法において、金属構造による耐火建築物は、火災盛期を想定した加熱に耐力部材全体を暴露して、その温度により耐火性能評価を行っている。鉄骨部材の場合、このような加熱条件では耐力を長時間維持することが困難であるため、耐火設計は不燃断熱材による耐火被覆を前提として成り立ってきた。しかし、近年の耐火鋼の開発や耐火塗料、鋼管コンクリート、ステンレスやアルミニウム等の導入に見られるように、火災安全性を確保しながら構造部材の耐火被覆の軽減や省略を行ったり、被覆方法を多様化させる試みが各方面で進められ強い関心が寄せられている。これらの開発は、構造物の軽量化や施工の合理化、構造部材の露出による意匠的表現などを目的として進められているが、現状では法令上の制約のため特殊な事例や小規模な計画に限られている。

アトリウム、駐車場、駅舎、空港等の建築物のように、建物において一つの区画が十分広いか、区画の開口面積が可燃物の量に対して十分広い場合、構造部材に対する加熱は局部に留まるはずであり、その温度上昇は部材全体が加熱される場合より小さいことが予想される。もし、金属構造物が局部的な加熱を受ければ、金属は他の材料に比べて熱伝導率が高いので、部材全体を通じた熱伝導によって部材温度の平均化が促進され、部分的な温度上昇が抑制される可能性がある。本来耐火設計は、個々の建物で実際に起こり得る火災の加熱に対して、構造部材の耐火性を確保できれば良いはずであるから、火災時の加熱が局部的である建物の場合には、この特徴を適切に評価することができれば、耐火被覆を省いた耐火設計や耐火被覆の方法の多様化を誘導できると考えられる。現行法では、耐火構造の建築物については建物の階数や部分ごとに耐火時間が仕様の決定され、このような研究成果を実際の建築物の設計に応用することは困難であった。しかし、建築基準法が1998年6月に改正され、現行法の耐火建築物規定に対して、2000年には性能的規定の概念が取り入れられた構造耐火性能評価法が導入されることが決定しており、これにより、工学的予測手法を用いた耐火設計が法令的に可能となる。ところで、孤立した火災やその加熱性状については、スプリンクラーの作動や壁面の火炎伝播などの評価を目的とした研究が進められているのに対して、局所的な火災を想定した加熱性状や部材温度を工学的に予測する研究は行われていない。また、駐車場や線路上空建物等に関して、収納可燃物である自動車や販売店を燃焼させ、その上方にある構造部材の温度・変形等を計測する実大実験が行われたことがあるが、このような実大実験では費用・労力を必要とする上、例えば部材と燃焼面との位置関係等を系統的に変化させて比較検討を行うのは極めて困難であり、得られる結果も一般性の失われたものとなりがちである。以上の様な観点から、本論文は局所的な火災に加熱される建築部材の温度応答を工学的に予測する手法を開発することを目的としている。構造部材が局部加熱される状態には種々の場合が考えられるが、加熱性状の把握が比較的明瞭な条件として、天井下面に設けたH型鋼の梁が床上の火源に加熱される状況を想定する。本論文では、まずこの実験を通して梁部材各部位への入射熱量の測定を行い、火源の発

熱性状・寸法、火源・部材間の幾何学的位置関係等から、部材の部位ごとに入射熱分布を予測するモデルを誘導した内容について述べている。次に、実験で得られた入射熱データを境界条件として、有限要素法および差分法による部材温度計算を行い、実験結果との比較を通じて計算モデルの妥当性を検証する。この結果、実用的な精度で温度予測が可能であること、予測を行う上で必要な入射熱データの補正方法、および、実験条件下において推定される表面熱伝達係数等を明らかにしている。さらに、入射熱データを入力せず、全てを計算によって予測する手法として数値流体解析を用いる方法を検討し、実験結果との比較を通じて解析精度を検証し、境界条件の設定方法や解析モデルを構築する場合の注意点等、数値流体解析を用いて部材の加熱性状予測を行う場合の技法について順次述べている。本論文は6章で構成され各章の概要は以下の通りである。

第1章「序論」では、研究の背景として、火災時の加熱が局部的であるような場合の構造部材の耐火設計法を体系的に整える必要があることを示し、次に本研究に関連する建築基準法の改正部分に関する簡単な説明、合理的な耐火設計による可能性について論述している。次に、本研究によりどのようなことが可能となるのか、研究の意義や検証を行った3種類の計算手法の位置づけ等について述べている。さらに、既往の研究として、天井面への入射熱量に関する研究、線路上空建築物の部材の温度予測に関する研究そして開放型駐車場の部材温度予測に関する研究内容について説明を行っている。

第2章「局部的な火災加熱を受ける部材の加熱性状」では、天井の下に位置するH型普通鋼の梁部材が、局部的な火災加熱を受ける場合の加熱性状を実験からモデル化する。既往の研究から、部材への入射熱量は火源の発熱速度、火源と部材との距離、火源寸法に支配的な影響を受けると考え、これらをパラメータとして行った実験の概要を説明する。次に実験結果から、梁部材各部位への入射熱量を比較した場合、同一の垂直断面に関しては上下フランジやウェブに顕著な入射熱分布がある場合でも、金属部材の熱伝導特性により温度には大きな分布が生じないことを明らかにする。さらに、実験から得られた入射熱量の分布を梁部材の部位ごとに解析し、入射熱量の大きさを支配する条件・分布状況が部位によって異なることを明らかにする。これにより火源の発熱速度・寸法、火源と部材の距離等の条件を与えれば、梁部材各部位への入射熱量分布の予測が可能なモデルを作成し、その内容について詳述している。

第3章「有限要素法による部材温度予測計算」では、前章の実験で測定した梁部材各部位の入射熱量を境界条件として、有限要素法を用いた部材の温度分布予測計算を行う方法について論述している。有限要素法を用いれば、実験では崩壊を起こすような高温の条件でも、数値計算で予測が可能となること、局所火災を想定できる建築物の設計において実験により耐火性能を評価しようとする場合、実験条件や実験計画を決定するための情報を、事前に計算により得ることが可能となることを論述する。次に、有限要素法による部材の温度予測を行うためには、

境界条件である入射熱量について実験値の補正が必要なほか、表面熱伝達係数等の推定が必要であることを示す。さらに、これらの補正・実験パラメータの推定法を検討した上で有限要素法による温度応答の数値計算を行い、実験結果との比較を通じて、計算モデルの妥当性を検証する。これにより、梁の材軸方向の温度分布について、実験で得られた各測定点での入射熱量の平均値と、測定点の間を直線で補間した値を境界条件として与えた場合、実用精度での計算が可能であることを確認する。

第4章「差分法による部材温度予測計算」では、差分法を用いた簡易な部材温度の計算法を確立し、実験結果との比較を通じて計算モデルの妥当性を検証している。まず、差分法は、有限要素法ほど詳細な温度情報を必要としない様な場合に、部材内部の熱伝導を単純な形で表現することが可能であり、これにより複雑で困難と考えられているこの種の計算を非常に簡単に精度良く解ける計算手法であることを説明する。次に、部材の水平方向のみの熱伝導を考慮する1次元熱伝導モデルを作成し、実験で得られた入射熱データを代入して梁部材の材軸方向の温度分布を算出し、これらの値を実験データと比較することにより計算精度を検証している。また、入射熱データを関数式で近似する方法を検討し、関数式から選られる値を代入して温度計算を行った場合、実験データを直接代入した場合とどの程度の差が生じるかを比較し、どちらの場合も実用的な精度での計算が可能であることを確認する。さらに、アルミニウムや耐火鋼等の数種類の金属に関する温度予測を行い、許容温度以下に部材温度を維持するために必要な火源条件および火源と梁部材の位置関係を差分法モデルを用いて比較している。最後に、応用例として耐火被覆を省略した普通鋼梁の直下で自動車が1台燃焼する場合を想定し、この梁を許容温度以下に維持するために必要な階高を予測するケーススタディーについて論述している。

第5章「数値流体解析による部材の加熱性状予測」では、数値流体解析による予測計算を行い、実験結果との比較を通じて計算モデルの実用性について検証している。前章までに行った有限要素法や差分法による部材の温度予測では、境界条件として入射熱量を与える必要があること、これらの値は実験による測定値をモデル化したものであるが、数値流体解析により局部火災加熱を受ける部材の加熱性状を再現できれば、入射熱量や温度等の部材の加熱性状が、全て計算により求めることが可能となることについて論述している。次に、ここで用いる数値流体解析プログラムの内容、特徴について述べ、単純な計算条件として火源上の高温流体の解析を行い、実験式との比較を通じて境界条件の設定方法および計算方法の妥当性を検証する。最後に、局部的な火災加熱を受ける部材の数値流体解析に関する計算概要を示し、これらに関する感度予測、計算結果と実験結果の比較による解析精度の検証について詳述している。

第6章「結論」では、本研究における研究成果を総括し、今後の研究課題、問題点等に言及して論文を締めくくる。