

氏 名	はら だ かず のり 原 田 和 典
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 2859 号
学位授与の日付	平 成 6 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	耐 火 試 験 に お け る コ ン ク リ ー ト の 温 度 上 昇 の 予 測 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 寺 井 俊 夫 教 授 森 田 司 郎 教 授 岡 崎 守 男

### 論 文 内 容 の 要 旨

コンクリート建築構造部材の耐火試験では、含まれる吸着水や結晶水のため顕著な温度横ばい現象を生じ、精度の良い温度予測が困難で、実物試験を行うのが一般的である。また試験結果はばらつきが大きく、その原因は明確にされていない。本研究は、これらの問題を解決するため、コンクリート部材の耐火試験時の温度上昇を記述するモデルを構成し、計算により予測を行うことに関する成果を述べたもので、2部8章からなっている。

第1部第1章ではこれまでの研究のレビューを行い、次いで本研究で用いるモデルについて述べている。このモデルは、多孔体としてのコンクリートの実質部に対する熱伝導式、空隙内の混合ガスと水蒸気成分の対流拡散式、物理吸着水の拡散式である。水蒸気の発生項は、物理吸着水と水蒸気の間で可逆的な水蒸気の吸脱着を考え吸着式で表し、モルタル中の結晶水の非可逆的な熱分解による水分発生は、アレニウス式の3項の和で表している。また熱収支式に吸脱着及び熱分解の潜熱を考え、これまでの研究に較べ、温度の横ばい現象に関する要因をより詳細に考慮している。

第2章では、理論式に現れる基本的な諸物性値の測定とコンクリートの配合に対応した諸物性値の推定について述べている。

熱伝導率については、常温から800°Cまでのセメントペースト、モルタル及びコンクリートの熱伝導率を熱線法で測定し、Maxwellの関係から粗骨材、細骨材の熱伝導を求めておく。これらを用いて、配合が異なるときの熱伝導率をMaxwellの関係から推定する。

セメントペーストの熱分解は、TGにより測定し、アレニウス式3項の和で表現した。比熱、密度、空隙率、液状水拡散係数及び平衡含水率をモルタルに対して測定し、これよりコンクリートの配合による値を推定している。

第3章ではモデルの数値計算法について述べている。基本式をラプラスの方程式の基本解を用いて積分方程式に変換し、離散化して常微分方程式としている。これは単純な差分法よりは多少精度が良くなることを例示している。時間積分は陰的ルンゲクッタ法を用い安定な解を得ている。

第4章では、40mm厚のモルタル板に対する実験結果を計算値と比較し精度を検証し、温度の横ばいを含めて良い一致を得ることを示している。また水蒸気の移動や再吸着による温度上昇、含水率の分布の変化等有益な分布が示されている。

第2部では耐火試験結果のばらつきの分析、具体的部材への適用を行っている。第1章では、同一試験機関で行われた耐火2時間のデッキプレートの合成床版（最小厚さ90mm）110例につき調査し、裏面最大温度が $247.5 \pm 77.5$ という極めて大きい分布があることを述べている。この原因として、密度、初期の含水率と温度の3要因を考え相関を求めたが、余り明確な関係が見出せていない。

第2章では第1章の要因が試験結果に及ぼす影響を明らかにするため、厚さ70, 100mmの平板につき計算を行った。その結果、骨材の相違による温度の変化範囲は70mmで $207.5 \pm 71.5$ , 100mmで $197.5 \pm 82.5$ となり、前章のばらつきとほぼ同程度となること、また初期の含水率と温度の影響は共に $20^{\circ}\text{C}$ 程度であることを示している。また初期含水率と温度の補正方法を提案している。耐火試験には骨材の熱伝導率の規定が必要なことを示している。

第3章では、まずデッキプレート合成床版に対する実験結果と計算を比較し良好な一致が得られることを示した。

次に床版の断面形状と温度上昇の関係について検討している。平均厚さ（コンクリート量）を一定として、リップの幅と高さを変えて計算を行い、ISO判定基準である裏面最大温度と平均温度からみて、熱的に最も無駄のない最適な形状が決まることを示した。またこのときの断面温度分布から、補強鉄筋の挿入位置を決定できると述べている。また平均コンクリート厚さ及びコンクリートの調合による影響も計算している。

第4章では、 $305 \times 305\text{mm}$ の断面の鉄筋コンクリート柱に対して計算を行い実験と比較し良い一致が得られること、かぶり厚さによる鉄筋の温度上昇を求めると、従来の研究の結果と良く一致することが示されている。断面の分布の時間変化は、デッキプレートの場合と異なり、中心部は分布が少なく、含水率の時間的変化も少ない。また内部の水蒸気圧は周囲から圧縮され高くなり、水蒸気が表面から放散され内部に進入し難いことを示している。

## 論文審査の結果の要旨

コンクリート構造部材の耐火試験時の温度上昇は、コンクリートの熱分解による温度の横ばい現象のため、予測の精度が悪く、実物試験によるのが通常の方法である。本研究は、高温に加熱されたコンクリートの熱と水分移動をモデル化し、数値的に解くことに関する研究をまとめたもので、得られた主な成果は以下のごとくである。

1) コンクリート固体部の熱伝導、空隙内の水蒸気、液水の移動を表す式に、物理吸着水の吸脱着、結晶水の非可逆的熱分解項を加えたモデルを提案し、これをモルタル板に適用し、数値解と実測値を比較し良い一致を得ることを示した。

2) 上の理論をコンクリートに適用するため、セメントペーストの諸物性値と、砂、粗骨材の熱伝導を測定しておき、配合に従いコンクリートの物性値を推定する方法を用いる。これによる計算値と実測値は

良い一致を得ることを示した。

3) 数値解として、空間的には積分方程式に変換し離散化し、時間的には陰的ルンゲクッタ法により積分し、安定で精度の良い解が得られることを示した。

4) 合成床版の耐火試験の実測結果に対する計算を行い、実測結果と良い一致を得ることを示した。次に合成床版の形状を変え計算を行い、コンクリート厚さに応じ、耐火時間を最大にするという意味で熱的に最適な形状を決めた。

5) これまでの合成床版の耐火試験の結果はばらつきが多いが、この原因として、規定されていない条件のうち、コンクリートの調合、初期含水率及び温度を考えその影響を計算した。この結果、コンクリート調合による影響が最も大きく、温度、含水率はその影響が小さいことを示した。また温度と含水率の補正方法を示した。これは耐火試験の規格を決める上で重要である。

6) コンクリート柱に対しても計算を行い、かぶり厚と鉄筋の温度上昇の関係を求め、従来の理論と良く一致することを示した。

以上本研究は、耐火試験時のコンクリート部材の温度上昇を推定する理論を示したもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成6年2月18日、論文内容とそれに関連した事項につき試問を行った結果、合格と認めた。