

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宋 勲

本論文は、建築基準法の改正に伴う耐火性能検証法においてもコンクリート部材の設計基準強度の適用範囲は、 $60\text{N/mm}^2$ 以下および軽量2種コンクリートは適用範囲外として制限されているように、爆裂しやすいとされている高強度および軽量コンクリート部材を用いた耐火試験を実施し耐火性能を評価すると共に、高温時の熱的性質を考慮した伝熱解析を行い両者を比較検討し、さらに、熱応力連成解析方法を用いてコンクリートの表層部の応力集中による爆裂誘発要因の検討、耐火性能と爆裂との関係、爆裂発生とその対策について研究したものである。

第1章では、火災時における高強度コンクリートの耐火性能に関わる研究の背景を整理し、本研究の目的と範囲を明らかにしている。

第2章では、本研究に関わる既往の研究として、盛期火災とコンクリート部材については、火災性状、フラッシュオーバー、盛期火災との関わりを、火災時におけるコンクリート材料の特性については、コンクリートの化学的・物理的・力学的性状と解析モデル化との関わりを、コンクリートの爆裂現象については、熱応力、熱衝撃、水蒸気圧および部材の寸法や形状による影響を、コンクリート部材の熱応力解析については、火災温度・時間曲線、伝熱による温度上昇予測、水分移動による内圧力の形成、非定常熱応力の発生について整理している。

第3章では、高温下におけるコンクリートの力学的特性や空隙の構造特性、コンクリートの耐火性能に影響を及ぼす爆裂現象について、ISOの標準火災温度曲線を用いて実験的に検討し、高強度コンクリートの爆裂は、強度、含水率が高いほど顕著であるが、空隙発生のメカニズム解明は困難であることを明確にしている。

第4章では、コンクリートの耐火性能に影響を及ぼす爆裂現象について、軽量1種、2種コンクリート、天然軽量骨材およびポリプロピレン繊維入りコンクリート試験体を用いて実験的に検討し、高強度、高含水率、低熱拡散率、軽量骨材使用の場合は加熱初期に爆裂が誘発され、短時間の局部火災でも爆裂による断面欠損の危険性があること、一部の試験体では、1種、2種に関係なく加熱を止めるまで爆裂が内部へ進行すること、ポリプロピレン繊維は溶けることで温度上昇による熱応力や水蒸気圧の上昇を緩和するため爆裂の防止に有効であることを確認し、高耐火性軽量材料の開発が必要であることを提示している。

第5章では、部材の温度分布を正確に知るため高温時の熱物性値の変化を考慮した伝熱解析を行い、計算結果は実験値とほぼ一致しており、今後さらにコンクリートの熱物性値に関する詳細なデータの蓄積を続けると共に爆裂による断面欠損に伴う温度の急上昇を爆裂の発生とリンクさせることの必要

性を明らかにし、熱応力は加熱後ある一定時間までは急激に増加するが、それ以後は温度の増加に関わらず漸減する傾向があるため爆発性爆裂は起きなくなるが、応力勾配だけが爆裂を誘発する原因とはいえないことも指摘している。また、セメント硬化体と骨材境界面では、異なる熱的性質を持つことから応力も相違すること、骨材の境界面は内部温度の上昇により両端が拘束を受けているため膨張や収縮が拘束され応力が集中すること、セメント硬化体に対する骨材の拘束効果は加熱面の膨張を拘束することにより部分的に応力が集中するためポップアウトの原因となること、高強度で熱膨張係数が低いセメント硬化体は特にその傾向が強く骨材同士の応力の関係から骨材境界面の近辺にはポップアウト爆裂が起きる可能性があることを明らかにしている。さらに、軽量コンクリートの通増的な爆裂は、加熱面から徐々に応力が集中し、かつ骨材自体が爆裂性を持つことにより骨材自身の爆裂および骨材がセメント硬化体の伸縮を拘束することができなくなることが原因であるとしている。

第6章では、性能設計法とコンクリート部材の耐火性能要求、およびそれらと爆裂の関わりを検討し、爆裂は熱応力および水蒸気圧の複合作用から生じるが状況によりどちらかが優先的に働くこと、爆裂誘発の条件は、コンクリートの調合や種類、加熱条件、部材条件などに分類でき、特に高強度や軽量コンクリートは、材質的に熱応力と水蒸気圧の複合作用で爆裂が誘発されることを示している。

第7章では、コンクリート部材の耐火性能を向上させるための提案やコンクリート部材に生じる爆裂現象への対応などをまとめ、最も基本的な爆裂防止対策として熱の遮断や部材温度上昇の低減方法などを考慮して、耐火性能を有する耐火物を用いることによるコンクリート表層部の爆裂を防ぐ方法の検討や耐火物を用いた高耐火性軽量コンクリートの開発の必要性を提言している。

第8章では、総括として本研究の結論を記している。

以上要するに、本研究は、従来著しく不足していた高強度コンクリート部材の火災時における爆裂現象の推移に関する諸問題を実験と解析を通して究明し、特に火熱によるコンクリート内部のセメント硬化体の構造変化およびそれらと骨材の境界面における熱応力変化との関連から爆裂発生の原因について詳細な解析を行ったもので高強度コンクリート部材の耐火性能確保に寄与するところが極めて大きい。

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。