

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |    |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----|------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 博士（工 学）                               | 氏名 | 林 成俊 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 材料構成則に基づくプレストレストコンクリート部材の耐火性能評価に関する研究 |    |      |
| <p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、プレストレストコンクリート（以下 P C と略記）部材の構成材料であるコンクリートおよび鋼材の高温時構成則を明らかにするとともに、これをモデル化することを目的としている。これに基づき火災時の P C 部材の挙動を解明および予測可能な理論を構築し、最終的には P C 部材の性能評価型耐火設計法を提案するものである。</p> <p>第 1 章は序論であり、本論文の背景および目的について述べている。</p> <p>第 2 章では、P C 部材の構成材料である鋼材およびコンクリートの高温時性状に関する既往の研究をまとめている。特に高温時の P C 鋼材の応力ひずみ関係、ヤング係数、クリープとリラクセーション、コンクリートとの付着に関するデータが不足していることを指摘している。</p> <p>さらには、建築基準法により定められている耐火性能設計法についてまとめ、P C 部材に対する現行耐火設計法は仕様規定になっており、性能評価型設計法への移行が望ましいことを指摘している。</p> <p>第 3 章では、P C 鋼材に対する高温時引張試験の概要およびその結果をまとめている。応力 ひずみ関係を得るために行う通常の引張試験とともに、所定の温度において応力を一定に保った状態でひずみの増加を測定するクリープ試験を行った。クリープ試験では、応力を一定に保ったまま温度を上昇させる非定常クリープ試験と、温度を上昇させた後に応力を加える定常クリープ試験を行っている。得られた実験結果に基づき、P C スtrandの降伏強度は、300℃を越えると大きく低下し、その低下の程度は P C 鋼棒よりも大きいことを明らかにした。さらには、応力 ひずみ関係、ヤング係数、クリープひずみを温度や時間の関数としてモデル化した。</p> <p>また、200℃を越えると P C スtrandのクリープひずみは急増し、250℃からは P C 鋼棒のクリープひずみも増加し始める。実験結果から、Norton-Bailey モデルの材料定数を定めた。得られたクリープモデルは、実験結果をよい精度で追跡できることを示した。</p> <p>第 4 章では、火災時構成則変化が部材の構造性能に及ぼす影響を把握するために P C 梁部材を対象とした載荷加熱試験および有限要素解析（F E M）を行った。F E M 解析では、第 3 章で得られた、高温による P C 鋼材とコンクリートの構成則変化を適用し、実験では把握できなかったコンクリートの過渡ひずみ、および P C 鋼材のクリープひずみが部材たわみ変化に及ぼす影響や、プレストレス力の増減、熱応力などについて検討している。</p> <p>載荷加熱実験では、約 1/3 スケールの P C 梁部材試験体を 3 体作製し、加熱時間を</p> |                                       |    |      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |         |    |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----|------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 博士（工 学） | 氏名 | 林 成俊 |
| <p>パラメータとして試験を行った。実験より P C 部材の耐火設計法確立に必要となる知見を得るとともに，F E M解析を適用して，挙動追跡を行った。その結果，コンクリートの過渡ひずみは加熱初期における部材たわみに大きな影響を与えること，加熱開始後 80 分から増加する部材たわみは P C 鋼棒の性能低下に起因していることが示された。</p> <p>第 5 章では，火災時の P C 梁部材のたわみを評価するため，コンクリートおよび P C 鋼材の構成則変化によるたわみ増加量の算定法を提案し，第 4 章における実験結果を用いて検証を行っている。また，部材内の P C 鋼材の構成則変化に基づいた部材保有耐火時間の算定法を提案し，F E M解析結果との検証を行った。部材変形を以下の 3 つの成分に起因しているとしている：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1．熱応力によるひずみ</li> <li>2．コンクリートの過渡ひずみ</li> <li>3．ヤング係数の低下と断面 2 次モーメントの低下</li> </ol> <p>鋼材温度が 120℃に達するまでの PC 部材のたわみはコンクリートの構成則変化に，その後は PC 鋼材の構成則変化に大きく依存する。そのため，火災時部材たわみはコンクリートの構成則変化によるたわみと PC 鋼材の構成則変化によるたわみの合計で表現できることを示した。</p> <p>第 6 章では，以上の研究成果をまとめている。</p> |         |    |      |

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、プレストレストコンクリート（以下P Cと略記）部材の構成材料であるコンクリートおよび鋼材の高温時構成則を明らかにするとともに、これをモデル化したものである。これに基づき火災時のP C部材の挙動を解明および予測可能な理論を構築し、最終的にはP C部材の性能評価型耐火設計法を提案するものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. P C鋼材の高温引張試験結果に基づき、P C鋼材の高温時降伏強度、ヤング係数、応力ひずみ関係の変化のモデル化を行った。定常状態におけるP CストランドおよびP C鋼棒のクリープひずみを把握し、Norton-Bailey モデルの材料定数を定めることで、モデル化した。常温から 250℃（P C鋼棒は 300℃）までの温度範囲であればP C鋼材のクリープひずみを Norton-Bailey モデルで追跡できることを示した。また、非定常状態でのP Cストランドのクリープひずみは、250℃まで温度に大きく依存し、時間の影響は小さいこと、I S O 8 3 4 加熱に対応する火災時クリープ予測においては時間硬化則が適用可能であることを明らかにした。さらには、クリープ測定結果に基づく高温時P C鋼材のリラクセーション予測方法を提案した。

2. P C梁に対する载荷加熱試験により試験体内部温度、たわみおよびプレストレス力の変化を把握した。弾性荷重法を用いて部材たわみを算定し、初期たわみは熱応力および曲げ剛性低下に大きく依存することを示した。また、実験にF E M解析を適用し、内部温度および部材たわみが、F E Mにより追跡できることを示した。F E M解析ではコンクリート過渡ひずみおよびP C鋼材のクリープひずみが、部材たわみに及ぼす影響について明らかにした。火災時部材たわみ増加に及ぼす影響因子として、熱応力、曲げ剛性(EI)の低下、P C鋼材のクリープひずみを挙げ、火災時にコンクリートに生じる曲率と軸ひずみ、P C鋼材の全ひずみの時刻歴を対して予測できれば、火災時部材たわみが予測できることを明らかにした。

3. コンクリートの構成則に基づくたわみ算定法として部材断面の梁せい方向に要素分割し、有効断面を算定する熱応力たわみ算定法を提案した。また、火災時プレストレス力低下に及ぼす影響因子を明確化し、P C鋼材の熱膨張ひずみ増加がリラクセーションに及ぼす影響は小さいのに対して、クリープひずみおよびヤング係数の低下によるリラクセーションは比較的大きいことを示した。さらには、部材たわみに基づく性能評価型耐火設計法の基本的な考え方を提案した。

本論文は、プレストレストコンクリート部材に対する性能評価型耐火設計法を構築する上で重要となる構成材料の高温時性状を明らかにし、部材変形の予測法を提案するなど、学術上、實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 24 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。