

火災時におけるプレストレストコンクリート部材の 爆裂挙動と火災後の耐荷性に関する研究

東京土木支店

土木技術部

藤本謙太郎

1. はじめに

近年、交通事故などを発端とする火災による橋梁の損傷(火害)が報告されている。しかし、橋梁をはじめとする土木構造物では、耐火対策を基準化している事例はほとんどなく、復旧に対しては指針類などの範囲を限定しながら用いられている。そのため、迅速な対応が可能とは言い難い状況である。

古くからプレストレストコンクリート(以下、PC)構造は鉄筋コンクリート(以下、RC)構造に比べて、火災時にコンクリートの表層部が爆発的に剥離・剥落する爆裂現象(以下、爆裂と記す)が発生しやすいことが知られている。近年、耐火構造であると考えられてきた RC 構造もコンクリートの高強度化に伴い、火災時に爆裂が生じることが知られており、耐火性の検討が進められている。PC 構造はプレストレスによる拘束応力下のコンクリート構造という特異な点を有しており、RC 構造と異なることから、PC 構造の耐火性についても検討を進めて行く必要がある。そこで、本研究では火災時の PC 梁部材の耐火性能評価と火災後の耐荷性能評価の検討について取り組んだ。本稿は、群馬大学小澤満津雄准教授のご指導のもと取りまとめた博士学位論文の概要を報告するものである。

2. 研究概要

コンクリートの爆裂発生の主要因は、現在までに熱応力説や水蒸気圧説、またはこれらの複合作用説が挙げられているが(図-1)、いまだ確固たる結論は得られていない。一般に、PC 構造物は RC 構造物と同様にコンクリートと鋼材からなる材料で構成されることから耐火構造として扱われており、耐火性に関する研究はあまり多くはない。PC の耐火性に関する既往の研究の多くは、爆裂の発生有無や爆裂対策に関するものが多く、爆裂によるプレストレスの減少についてはあまり報告されていない。PC 構造物は、コンクリートにあらかじめ初期圧縮力(プレストレス)を導入し、コンクリートに生じる引張応

力やひび割れ幅を制御している。従って、爆裂に伴いプレストレスが減少すると、異なる力学的性状を示すことになる。そのため、爆裂の発生に伴うプレストレス減少過程を把握することは重要である。

本研究では、火災時における導入プレストレスの減少過程をはじめ、PC 部材が火災による高温の影響を受けた場合の爆裂挙動を PC 梁の加熱試験を通して実験的に検討を行い、PC 部材の耐火性能評価について検討を行った。また、加熱後の載荷試験により火災後の耐荷特性について検討した。さらには、それらの試験結果をもとに、PC 梁部材の爆裂深さの推定などの爆裂評価手法に関する検討、火災後の耐力評価手法などについて検討を行った。

3. 論文の構成

学位論文の構成を図-2 に示す。本稿では、おもに火災時の PC 部材の性能評価の内容について紹介する。

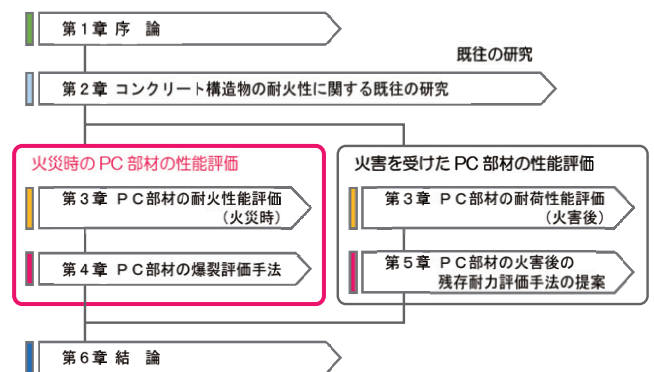


図-2 学位論文の構成

4. 火災時の PC 部材の性能評価

4.1 PC 部材の耐火性能評価

4.1.1 耐火性能評価

爆裂の発生による導入プレストレス量の変化を把握するために PC 梁の加熱試験を実施した。加熱試験は、耐火試験でよく用いられる ISO834 加熱曲線(最高温度 945°C[1 時間耐火])と RABT30 加熱曲線(最高温度 1200°C)の二水準とした。前者は建築と土木の両方で用いられており、後者はトンネル火災を想定したものである。その他、コンクリート強度やセメント種類、プレストレス導入量、加熱時の材齢などをパラメーターとして試験を行った。試験体は幅が 200mm、高さが 160mm、長さが 1,500mm の PC 梁部材とした。試験体の形状寸法を図-3 に示す。PC 鋼材の初期緊張力は 113.5kN($\sigma_{pt}=500\text{N/mm}^2$)とし、緊張後 PC グラウトを注入した。

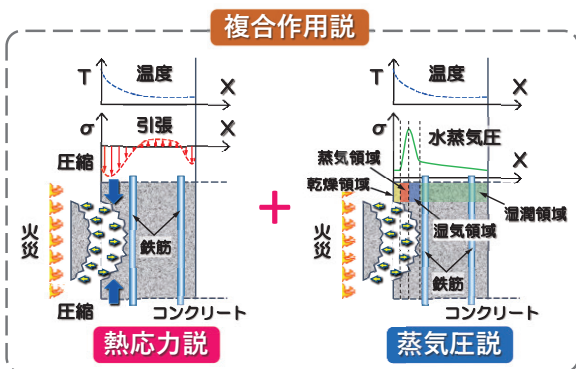


図-1 爆裂発生メカニズム

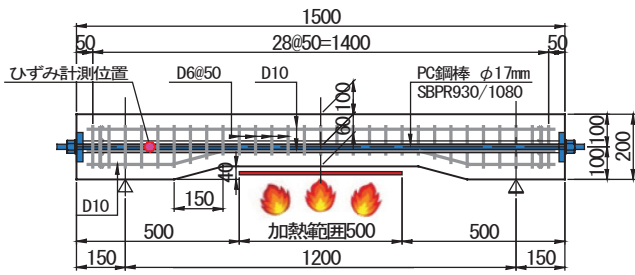


図-3 試験体形状寸法

4.1.2 実験結果の一例

実験結果の一例として、プレストレス導入量を変化させた試験体の試験結果を示す。コンクリートの設計基準強度は50N/mm²、加熱条件はRABT30加熱曲線と材齢3ヶ月で加熱を行った。プレストレス導入量は100%(113.5kN)、50%、0%とした。写真-1に加熱試験後の試験体の様子の一例を示す。加熱面全体に爆裂が生じ、内部のスターラップが一部露出していることが分かる。加熱試験では、コンクリート内部温度や鋼材のひずみ、変位、爆裂開始時間や継続期間、爆裂による損傷規模などを計測した。

図-4にプレストレス導入直後からのPC鋼材ひずみの経時変化を示す。加熱開始直後はひずみが増加し、爆裂の発生とともにひずみが減少に転じた。PC-100%では加熱直前に2204μ、加熱終了時点で1158μと約47%ひずみが減少した。PC-50%も同様に、ひずみが約37%減少している。プレストレス導入量が大きいほどひずみの減少量が大きい。火災により生じるプレストレスの損失は導入プレストレス量の影響を受ける可能性があることなどを示した。また、プレストレスを導入していないPC-0%試験体においても加熱終了時点でひずみが減少しており、加熱により加熱面と部材内部の温度差の影響により、部材内部に拘束応力が生じていることを示した。

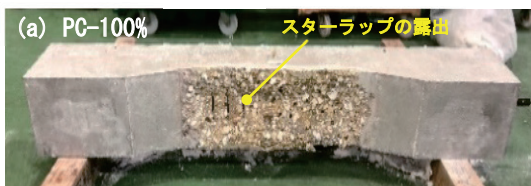


写真-1 加熱試験後の試験体の様子の一例
(プレストレス導入量100%の試験体)

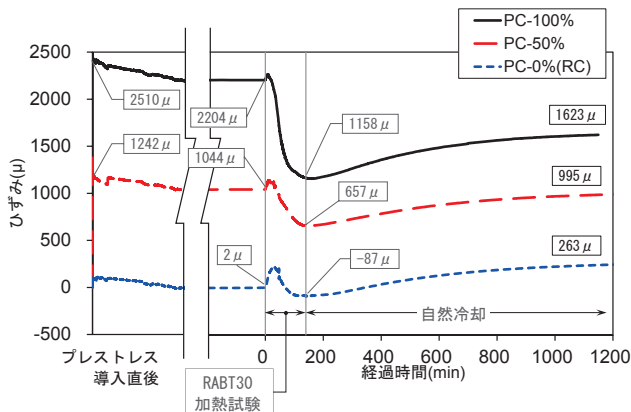


図-4 PC鋼材ひずみの経時変化

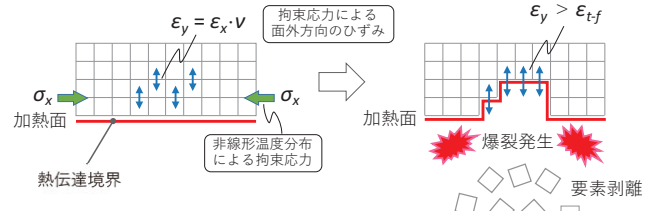


図-5 剥離モデルのイメージ図

4.2 PC部材の爆裂評価手法

PC部材に爆裂が生じた場合、導入プレストレスの損失が生じ、力学的な性状に影響を与える。そのため、火災後のPC部材の残存耐力を推定するにあたり、爆裂深さの推定は重要である。本研究では、火災時のコンクリート内部に生じる拘束応力に着目し、爆裂深さの推定方法の提案を行った。また、既往のPC部材の火災シミュレーション解析では、爆裂の発生が考慮されていない。実際は、爆裂の発生に伴いかぶりコンクリートが剥離し、熱伝達境界が推移しながら内部温度が大きく上昇する。内部温度分布の推定精度が爆裂深さの推定に大きく影響することから、爆裂をモデル化した剥離モデル(図-5)を用いたシミュレーション解析について検討を行った。

図-6にシミュレーションによるコンクリート内部温度の経時変化の解析結果を示す。実験値の温度が急激に上昇する変曲点および解析値のプロットが無くなるそれぞれの点はその深さまで爆裂によりコンクリートが剥離したことを意味している。今後、解決しなければならない種々の問題があるものの、本研究を通して、概ね実験結果を再現することができた。

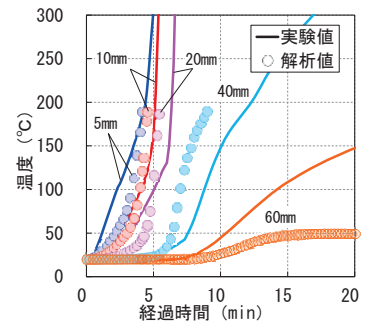


図-6 シミュレーション解析結果

5. まとめ

本稿では、火災時のPC部材の耐火性能評価についておもに述べた。今後明らかにしていくべき課題はあるものの、本研究を通して、PC部材が火災を受けた場合のプレストレス導入量の損失過程やPC部材の爆裂評価手法について提案することができた。本研究が、今後火災を受けたPC構造物の復旧・調査等の一助になれば幸いである。

Key Words: 火災, PC梁の爆裂挙動, 導入プレストレス, 耐火性能評価



藤本謙太郎