

# 博士論文の概要

---

( 2015年 11月 14日 提出)

論文題目 火災時における鋼合成桁の

---

終局耐力と耐火対策に関する研究

---

申請者氏名 柳澤 則文

---



大阪工業大学大学院

## 概 要

近年、タンクローリー車など車両事故による炎上、あるいは不審火や放火などにより、一般橋梁や高架橋が火災を受ける事例が多く報告されている。例えば、2008 年 8 月上旬に、首都高速 5 号池袋線熊野町 JCT 付近で、タンクローリー車の横転・炎上により、橋桁およびコンクリート橋脚が大きな被害を受け、大規模な車線規制と橋桁の取り替えが約 2 ヶ月にわたって行われ、その経済的な損失は計り知れないものであった。このように橋梁が火災を受け損傷した場合、被災した橋梁の損傷状況や安全性を迅速かつ適確に判断し、通行止めによる経済的な損失を抑えるためにも早急な復旧が求められる。しかしながら、被災した橋梁に対して、その都度詳細な調査を行い、その結果を踏まえ補修・補強を行うため、復旧までに長期間を要しているのが現状である。詳細調査では、主に鋼部材の強度低下や変形量、コンクリート部材の強度低下やひび割れ・剥離状況などを調べ、被災橋梁の安全性を照査している。高温時における鋼部材やコンクリート部材の強度低下については、すでに建築の分野では研究が進んでおり、ヨーロッパの設計規準であるユーロコード（Eurocode）においても記載されている。そこで、被災橋梁の受熱温度をある程度正確に推定することが可能になれば、火災による構造部材の強度低下の度合いを判断することができ、早急な復旧作業が可能になるものと考えられる。

本研究では、被災橋梁の受熱温度に着目し、鋼合成桁の加熱実験と一次元差分法による数値解析などを通じて、火災時における鋼桁およびコンクリート床版の受熱温度を把握するとともに、性能照査において必要とされる終局耐力に関する各相関式を誘導し、落橋温度の推定方法を提示した。また、誘導した終局耐力相関式をもとに、火災により実際に落橋した事例をモデルケースとし、耐荷力の推定を行い落橋要因に関する検討を行った。さらに、火災事故が懸念される橋梁においては、その耐火対策として、下面に耐火工を施すといった対策も今後必要と考えられることから、開発中の橋梁用耐火工（耐火パネル）の耐火性能について検証を行った。本論文は、このような火災時における鋼合成桁の終局耐力と耐火対策に関する一連の研究成果をとりまとめたものである。

本論文は、8章から構成されており、各章ごとの内容を以下に示す。

**第1章**では、研究の背景とユーロコード（Eurocode）による構造物の耐火設計の基本的な考え方を示し、研究の目的と本論文の構成を述べた。

**第2章**では、橋梁の火災事例について、近年報告された事例も含めて一覧を示すとともに、国内外の代表的な被災事例を3件挙げ、出火要因、部材の最大受熱温度、損傷状況ならびに調査、補修・補強、架け替え方法などについて紹介した。

**第3章**では、鋼桁およびコンクリート床版などの受熱温度の算定に必要な火災荷重の設定方法、既往の試験結果およびユーロコード（Eurocode）より、高温時および加熱冷却後の常温時における鋼材とコンクリートの力学特性についてまとめ、熱伝導解析を行う上で必要となる鋼材とコンクリートの熱物性値についてもまとめて示した。

**第4章**では、火災時の鋼合成桁の受熱温度を把握することを目的として、桁下で火災が発生した場合を想定した加熱実験を行い、解析値と比較・検討を行った結果について述べた。加熱実験の結果から、鋼桁下フランジおよびウェブの受熱温度は、直接炎に曝されているため、著しい温度上昇が見られるものの、床版のコンクリート部分では、温度上昇が加熱面付近に限られ、全体として温度上昇は小さいことが明らかとなった。また、一次元差分法により部材の受熱温度を算定した結果、炎に曝された鋼桁下フランジおよびウェブの受熱温度は、比較的精度良く推定することができるが、コンクリートおよびコンクリートに接する上フランジや底鋼板の受熱温度については、実験値と比べ算定値が大きく、より精度良く受熱温度を推定するには、コンクリートの含水率による比熱変化をできるだけ

忠実に再現することが重要となる。

第5章では、高温時における曲げモーメントとせん断力が同時に作用する場合の相関式も含め、鋼合成桁を対象に斜張橋やポータルラーメン橋のような軸力と曲げモーメント、あるいは軸力とせん断力ならびに曲げモーメントが同時に作用する場合の相関関係について述べた。今回の検討結果から、曲げモーメントとせん断力が同時に作用する桁橋のような構造と比べ、斜張橋やポータルラーメン橋のような軸圧縮力と曲げモーメントの作用が卓越する場合、あるいは軸圧縮力とせん断力ならびに曲げモーメントが同時に作用する場合では、軸圧縮力を受けることにより、床版コンクリートの有効断面が増大するため、曲げ耐力は上昇するが、温度の上昇に伴って、全体的に曲げ耐力は低下することが明らかとなった。

第6章では、第5章で誘導した終局耐力相関式をもとに、第2章で示した州間幹線道路 I-75 号線 9-Mile 跨道橋（アメリカ）の落橋事例をモデルケースとし、設計図面といくつかの仮定にもとづき、火災による落橋要因として4つの破壊形態を想定し、耐荷力の推定を行い、落橋要因に関して検討を加えた結果について述べた。検討結果から、落橋要因として最も可能性が高い破壊形態は、支持桁支点上のせん断破壊であることが明らかとなった。落橋後の状況写真からは、支持桁支点上の鋼桁のせん断破壊とともに吊材のピンが破壊している様子も伺えることから、吊材のピンの破壊過程も踏まえ、落橋した要因についてさらに検討を加える必要がある。

第7章では、耐火対策として、橋梁用の耐火工（耐火パネル）の開発を進めるにあたり、耐火パネルを構成するフレーム構造と、使用する耐火材の種類やその組み合わせを検討するための基礎的な加熱実験、その結果を踏まえた実橋への適用に向けたフレーム構造による耐火パネル単体ならびに鋼合成桁に耐火パネルを取り付けた加熱実験を行い、その結果について述べた。実験結果から、耐火パネル単体による加熱実験では、空気層の温度が許容温度である $350^{\circ}\text{C}$ 以下に抑えることができ、十分な耐火性能を有することが確認された。また、この実験結果を踏まえ、耐火パネルを取り付けた鋼合成桁の加熱実験と数値解析を行い、鋼桁が受ける熱影響を検証した結果、鋼桁の受熱最高温度は、許容温度として設定した $350^{\circ}\text{C}$ を十分に満足する結果が得られた。

第8章では、本論文で得られた結論を要約するとともに、今後の課題を述べた。