

令和元年6月17日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06478

研究課題名(和文) 火災を受けた橋梁の性能評価法の構築

研究課題名(英文) Evaluation method of performance for bridges subjected to thermal history

研究代表者

大山 理 (Ohyama, Osamu)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：70411410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、車輛事故に伴う火災、不審火ならびに放火などを原因とする橋梁火災が、国内外で発生している。そこで、種々の検討を通して、大都市圏内をはじめとする日本を支える交通ネットワーク網に大きな影響を及ぼす次なる災害リスク(橋梁火災)に対して、従来の外観変状からの評価ではなく、数値的根拠を持って通行可否を判定することができる性能評価法を構築することを目的とする。

結果の1つとして、鋼・コンクリート合成桁を対象に行った加熱前後の静的載荷試験より、340 以下の熱履歴であれば、熱影響による剛性低下は生じず、680 程度の熱履歴の場合は、コンクリート床版のひび割れに起因する剛性低下が生じることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国において、火災による橋梁の力学特性を把握する研究を実施している研究機関は多くない。そこで、本研究の成果は、高温時および加熱自然冷却後の鋼の強度や加熱前後の合成桁の剛性低下を明らかにしている。つまり、一般橋梁や高架橋が火災による熱影響を受けた後の通行可否を瞬時に判断するための評価手法を提案する基礎データを示しており、社会貢献に繋がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Recently, the fire attack for bridges due to turning over accident of a tank lorry vehicle, incendiary fire and so on trends to increase in Japan and also in foreign countries. At present, the diagnosis and repair method of the existing bridge infrastructure damaged by fire have not been standardized yet in Japan. Therefore, to determine the passing propriety of composite girder bridges after fire, the author carried out the static loading test before and after fire. From the fire test, 1) The temperature of the steel girder increase in descending order of the web, the lower flange and the upper flange. 2) The measured and thermal conductivity analysis, it was found that the analysis values of the upper and lower flanges and web was almost same as measured values. 3) The flexural rigidity of the composite girder reduced due to occur the clack in the concrete slab at the 680 .

研究分野：橋梁工学，複合構造学

キーワード：橋梁火災 合成桁 剛性低下 低減係数

1. 研究開始当初の背景

わが国では、国鉄(現 JR)北陸本線北陸トンネル(1972年)、東名高速自動車道日本坂トンネル(1979年)、ヨーロッパでは、ユーロトンネル(1996年)、モンブラントンネル(1999年)などが、火災による大被害を受けたことから、トンネル構造物に対する耐火対策などについては、以前から、精力的に研究が行われている。一方、橋梁においては、これまで、火災によって多数の死者を伴う事故が発生していないことなどから、耐火性能は要求されていないのが現状である。

しかし、近年、車輛火災、桁下の可燃物からの出火などが原因で、一般橋梁や高架橋が火災による熱影響を受ける事例が数多く報告されている。例えば、2008年8月上旬、首都高速5号線北池袋IC付近においてタンクローリーが横転・炎上し、鋼主桁や橋脚などに著しい損傷が生じたため、2ヶ月間を要して、損傷部の架け替え工事が行われた。そして、この間の交通規制によって、首都高速道路のみならず、周辺の一般道路でも渋滞が発生し、首都圏の交通ネットワークに大きな影響を与えた(被害総額は、45億円と言われている)。さらに、2015年2月16日の首都高速7号小松川線での事例は、記憶に新しいところである。

海外では、2009年7月、アメリカ・ミシガン州デトロイトにおける幹線道路 I-75 線の主径間と側径間が吊り材で接合されたゲルバー構造を採用した 9-Mile 高架橋にて、タンクローリーの横転・炎上によって吊桁部が落橋した事例もあり、研究代表者らは、本橋を対象に熱伝導解析を実施し、桁の受熱温度や落橋に至るまでの時間の推定などを行った。

このように、一般橋梁や高架橋で火災が発生すると、最悪の場合、落橋も考えられ、落橋に至らない場合でも、調査や補修などによる長期間の交通規制が必要となる。すなわち、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することが重要であると考えられる。

そこで、研究代表者は、これまで、橋梁が火災による熱影響を受けた際の受熱温度や熱による耐荷力の低下を把握するために、鋼コンクリート合成 I 桁橋を対象に曲げ剛性、トラス橋を対象に伸び剛性に着目した実験および解析を行ってきた。しかし、解析を行うにあたり参考としている高温時および加熱自然冷却後の常温時における鋼の力学特性は、約 45 年前の 1968 年に日本鋼構造協会内に設置された小委員会できまりと定められた値であり、研究代表者が調べた限り、これ以降、統計的にこの強度低下率がまとめられていないのが現状である。今後、わが国の設計手法が、限界状態設計法に移行する、つまり、構造物を耐荷力レベルで評価するにあたり、建設材料の高温時および加熱自然冷却後の常温時強度を、今一度、整理する必要がある。

また、橋梁火災において、鎮火後、その橋梁の調査を実施した際、桁の一部が変形している事例がよく見受けられる。しかし、火災の熱による剛性低下は解明されておらず、橋梁の通行可否を判定するにあたり、その力学特性を把握する必要がある。

2. 研究の目的

研究代表者は、研究期間内に、まず、【要素試験】と題して、鋼材引張試験片を製作し、材質、温度ならびに時間をパラメーターとして加熱を行い、高温時および加熱自然冷却後の常温時強度に関する最新のデータ収集を行う。つぎに、【桁試験】と題して、鋼・コンクリート合成桁を対象に、供試体の一部を炉内に入れ、加熱試験を実施するとともに、その前後で載荷実験を行い、加熱による剛性の低下度合を解析および実験の両面で検討を行う。これらを総じて、高温時および加熱自然冷却後の常温時における鋼および合成桁の力学特性を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 加熱自然冷却後における鋼の引張試験

本試験では、各供試体に対して加熱試験を行い、炉内で自然冷却後、引張試験を実施した。加熱試験は、ガスバーナーを熱源とするガス炉(大型水平加熱炉)を用い、Eurocode の火災曲線を参考に実施し、加熱時間は火災事例を参考に決定した。引張試験は、2000kN 万能試験機を用いて JIS Z 2241 に準拠して試験片が破断するまで単調に載荷した。試験片は JIS Z 2241 に準拠し、SM400, SM490 ならびに SM490Y は 1A 号試験片、SM570 は 5 号試験片とした。各試験片の試験条件を表-1 に示す。なお、同表の●は試験片数を示している。

表-1 試験条件

常温実験：SM400, 計3体. SM490, 計6体. SM490Y, 計3体. SM570, 計3体.											
加熱冷却後実験：SM400, 計18体. SM490, 計36体. SM490Y, 計21体. SM570, 計21体.											
火災曲線	EX			HC				ISO			
加熱温度 [°C]	680			900			1100		842	900	945
加熱時間 [min]	30	45	60	30	45	60	30	60	30	45	60
SM400	●●●	-	●●●	●●●	-	●●●	●●●	●●●	-	-	-
SM490	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
SM490Y	●●●	-	●●●	-	●●●	●●●	●●●	●●●	-	●●●	-
SM570	●●●	-	●●●	-	●●●	●●●	●●●	●●●	-	●●●	-

(2) 高温時における鋼の引張試験

写真-1 に示す電気炉および 1000kN 万能試験機を用いて、各引張試験片を試験温度まで加熱し、高温時における引張試験を実施した。供試体は SM400 および SM490Y を対象とし、JIS Z 2241 に規定されている 1A 号試験片の標点間 200mm を加熱範囲とした。予備試験として、標点間に片面 3 本(計 6 本)の熱電対を貼付け、供試体の標点間部分の受熱温度を計測した。本試験では、供試体の受熱温度が試験温度に達するまで毎分 20°C で温度を上昇させ、試験温度を 30 分間保った後、試験片が破断するまで単調に载荷した。各試験片の試験条件を表-2 に示す。

表-2 試験条件

常温実験：SM400, 計3体. SM490Y, 計3体.				
高温実験：SM400, 計12体. SM490Y, 計12体				
加熱温度 [°C]	200	500	800	1100
SM400	●●●	●●●	●●●	●●●
SM490	●●●	●●●	●●●	●●●
SM490Y	●●●	●●●	●●●	●●●
SM570	●●●	●●●	●●●	●●●



写真-1 高温引張試験状況

(3) 熱履歴を受けた鋼コンクリート合成桁の静的载荷試験

桁直下において野焼きや不審火などの火災が発生したことを想定し、加熱試験および静的载荷試験を行った。供試体は H 形鋼(588×300×12×20)と幅 1200mm, 厚さ 180mm のコンクリート床版で構成され、頭付きスタッド(φ19, 高さ 150mm, 間隔 500mm)で一体化が図られた支間長 7.0m の鋼コンクリート合成桁である。加熱試験は、中央 4.0m を加熱範囲とし、加熱試験の際、载荷は行わないものとし、火災事例を参考に加熱時間は 30 分間とした。静的载荷試験は、常温時、熱履歴 340°C および 680°C で行った。

4. 研究成果

(1) 加熱自然冷却後における鋼の引張試験

まず、加熱試験結果の一例として、供試体を 1100°C および 680°C まで加熱した結果を図-1 に示す。同図より、炉内温度は想定した火災曲線と概ね一致しており、想定火災を再現しているといえる。また、鋼板供試体の受熱温度は、炉内温度からわずかに遅れて上昇しているが、加熱開始 10 分頃には、炉内温度と同等の加熱温度を示している。

つぎに、引張試験により得られた応力-ひずみ関係の一例として、SM570 材の常温時、680°C、900°C ならびに 1100°C における応力-ひずみ関係を図-2 に示す。同図より、加熱温度の上昇に伴い、降伏強度および引張強度が低下し、900°C および 1100°C の熱履歴を受けた場合、両者は相違ない結果を示していることがわかる。また、すべての条件において、弾性係数は常温時と相違ない結果を示している。

最後に、降伏強度および引張強度の低減係数を図-3 および図-4 にそれぞれ示す。ここで、低減係数とは、常温時の値を 1.0 としたとき、各温度における値を常温時の値で除して無次元化した値である。図-3 および図-4 より、680°C までは、各鋼種の強度の低減係数は概ね同じ値を示しているが、900°C 以上の熱履歴を受けた場合、低下傾向が異なることがわかる。また、引張強度に比べて、降伏強度の低下率が大きい結果となった。

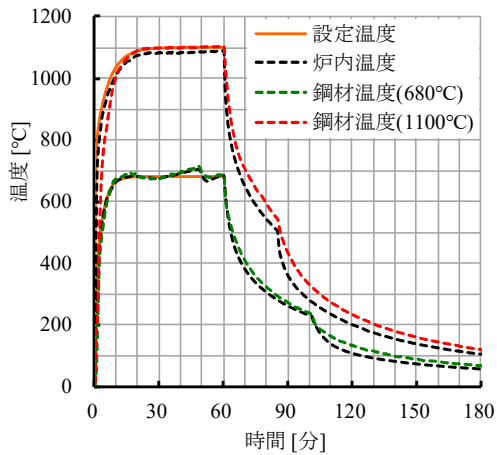


図-1 温度-時間関係

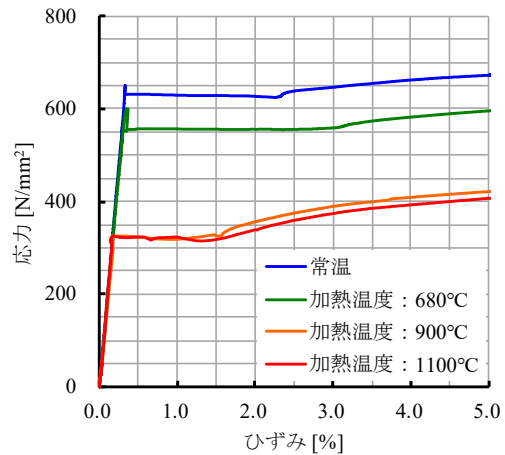


図-2 応力-ひずみ関係 (SM570)

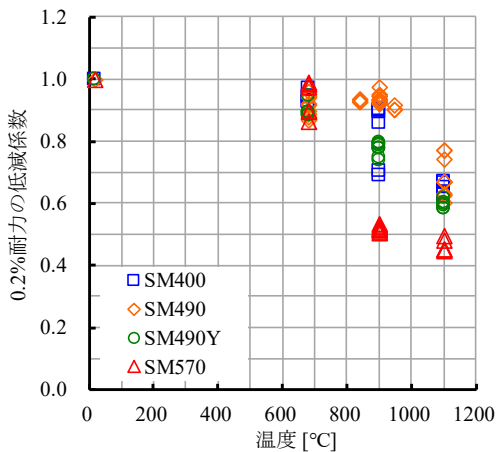


図-3 0.2%耐力の低減係数と温度の関係

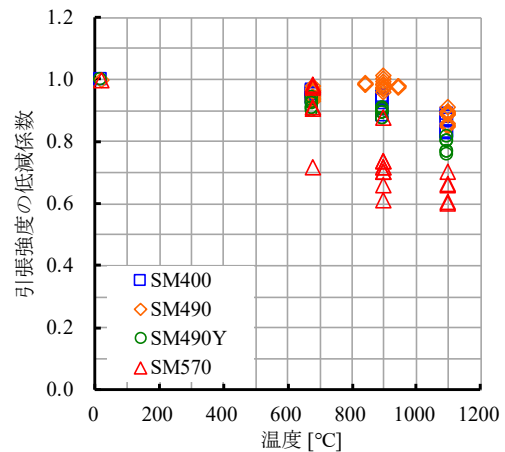


図-4 引張強度の低減係数と温度の関係

(2) 高温時における鋼の引張試験

まず、加熱試験結果の一例として、各試験温度における鋼材温度と時間の関係を図-5に示す。なお、図中の破線は炉内温度を示しており、鋼材温度は炉内温度より遅れて上昇することを踏まえ、予備試験にて、鋼材温度を試験温度に達するよう炉内温度を設定した。

つぎに、高温引張試験結果として、各鋼材の荷重-変位関係および降伏強度(1%および2%耐力)の低減係数と温度の関係を図-6~図-8にそれぞれ示す。なお、変位は計測制御装置の計測値を用いている。図-6より、加熱温度の上昇に伴い降伏点が不明瞭となり、500°C以上の高温時において強度が低下する傾向が見られた。また、200°Cでは強度が増加し伸びが減少する青熱脆性という鋼の性質が確認された。図-7および図-8より、本試験結果と先行研究およびEurocodeの値を比較した場合、低下傾向に大きな差異はなく500°C以上から強度が低下し、SM490Yの2%耐力に着目すると、500°Cで常温時の70%程度、1100°Cで10%以下となることがわかる。

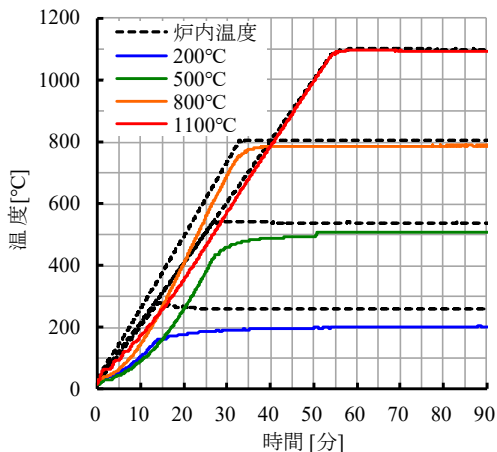


図-5 温度-時間関係

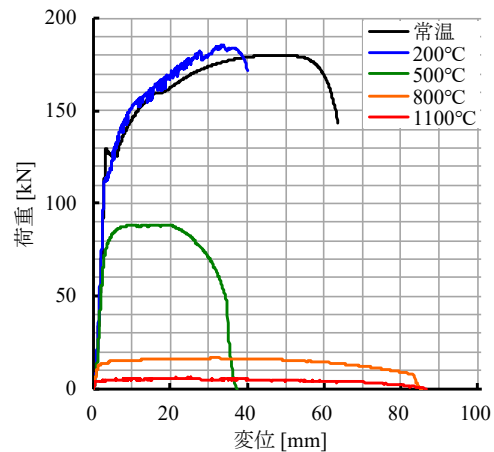


図-6 荷重-変位関係 (SM490Y)

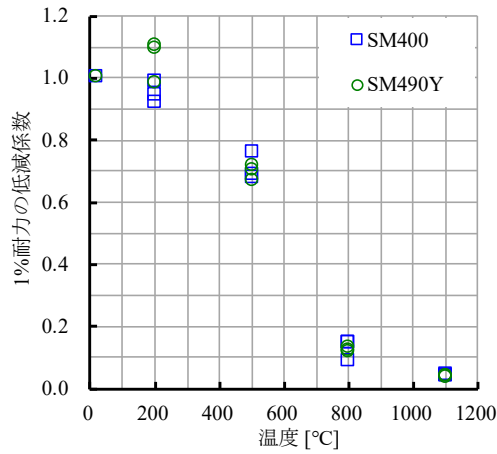


図-7 1%耐力の低減係数と温度の関係

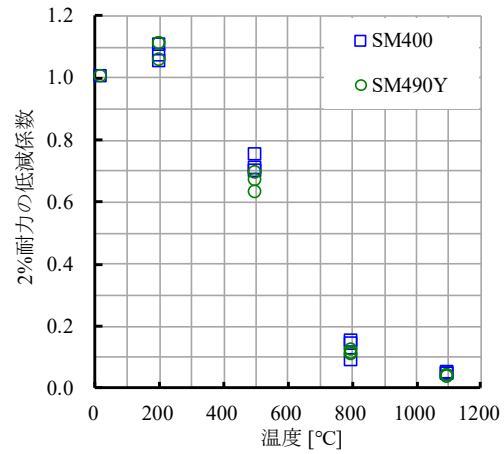


図-8 2%耐力の低減係数と温度の関係

(3) 熱履歴を受けた鋼コンクリート合成桁の静的載荷試験

加熱自然冷却後の静的載荷試験結果として、支間中央部における鋼桁のひずみ分布を図-9に示す。また、試験結果の比較値として、合成断面および非合成断面でのひずみ分布(解析値)も併せて示す。同図より、340°Cの熱履歴を受けた場合は、常温時と概ね同じ挙動を示すことがわかった。680°Cの熱履歴を受けた場合は、常温時の場合に比べ、下フランジで引張側に120 μ 、上フランジで圧縮側に300 μ 増加した。つまり、340°C以下の熱履歴であれば、熱影響による剛性低下は生じず、680°C程度の熱履歴の場合は、コンクリート床版のひび割れ等に起因する剛性低下が生じることがわかった。

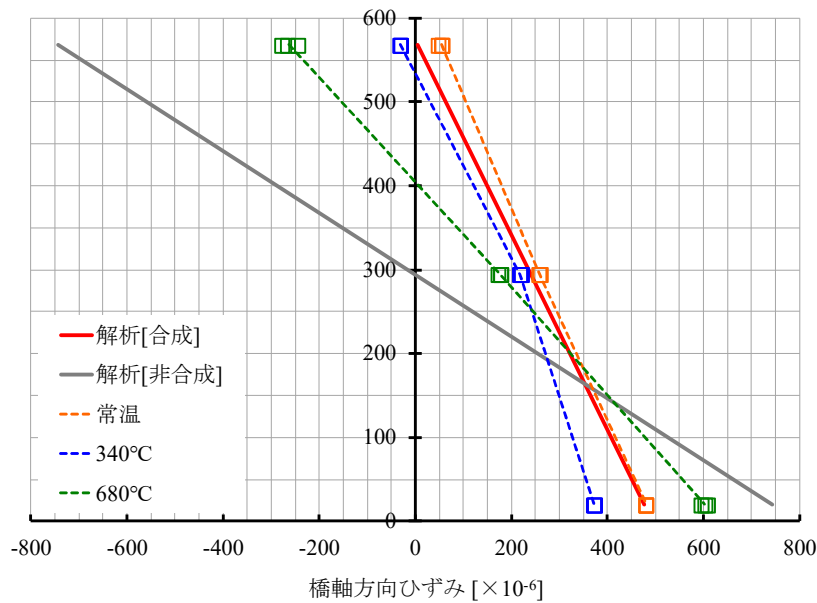


図-9 ひずみ分布 (支間中央部)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① 高橋佑介, 大山 理: 熱履歴を受けた鋼の力学特性に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 25 巻, pp.373-380, 2017 年 11 月.

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① 村川友則, 高橋佑介, 今川雄亮, 大山 理: 高温時における鋼の力学特性, 2019 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 2019 年 5 月.
- ② 高橋佑介, 大山 理: 鋼材の加熱自然冷却後の常温時強度推定式の提案, 2017 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 2017 年 5 月.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 <http://www.oit.ac.jp/civil/~bridge/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。