

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04673

研究課題名（和文）火災による熱履歴を受けた鋼・コンクリート合成桁橋の疲労耐久性

研究課題名（英文）Fatigue Durability of Steel-Concrete Composite Girder Bridges due to Fire

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年、車輦火災、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。橋梁で火災が発生すると、調査や補修などによる長期間の交通規制が必要となる場合もあり、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となる。そこで、熱履歴の有無が合成桁の疲労耐久性に及ぼす影響を把握するために、繰返し載荷試験を実施した。その結果、熱履歴を受けていない合成桁は、繰返し回数100万回時点においても、概ね、合成挙動を呈していることが確認された一方、最高：680℃、30分の熱履歴を受けた合成桁は78万回時点でスタッドの破断が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義や社会的意義は、既往の結果も含めて、建設頻度の高い鋼・コンクリート合成桁橋が熱影響を受けた後の通行可否を瞬時にかつ正確に判断するための評価手法を示すことが可能となる。また、得られた結果より、鋼桁やコンクリート床版の補修工法の提案にも繋がり、社会に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Recently, the fire attack for bridges due to a tank lorry vehicle turning over accident, incendiary fire and so on trends to increase in Japan and 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 the composite girder bridges after fire, we carried out the fire test by using the External fire curve ruled in Eurocode to clarify the distribution of the temperature and condition of lower concrete slab. Next, we try to determination of passing propriety in the composite girder bridges based on the results of fatigue test.

From fatigue test, the composite girder subjected to thermal history failed after 780,000 cycles. On the other hand, there was no slip between steel girder and composite slab that had not been subjected to thermal history after 1 million cycles.

研究分野：複合構造学

キーワード：橋梁火災 熱履歴 合成桁 疲労耐久性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、車輛火災や桁下の可燃物からの出火などが原因で橋梁が火災により損傷し、鎮火後の通行可否判断に長期間要する事例が多発している。例えば、2004年に愛知県のA橋では、野焼きの延焼により損傷を受け、調査および補修のために2ヶ月弱の通行止めが行われた¹⁾。

このような場合、熱履歴を受けた橋梁の損傷や安全性を迅速かつ確実に判断することが重要であり、鎮火後の通行可否判断指針の構築が求められている。しかし、熱履歴を受けた合成桁および頭付きスタッド(以下、スタッドと略記)を対象とした研究は少なく、供用再開後の疲労耐久性に関して未解明な部分が多いことが現状である。そのため、熱履歴の有無が合成桁に及ぼす疲労挙動を把握する必要がある。

2. 研究の目的

2体の鋼・コンクリート合成桁を製作し、1体目は供試体の一部を炉内に入れ、加熱試験を実施し、自然冷却後に繰返し載荷試験を行い、熱履歴が合成桁の疲労挙動に及ぼす影響を把握する。2体目は、熱履歴を受けていない状態での繰返し載荷試験を行い、健全な合成桁における疲労挙動を把握する。また、これらの試験結果の比較・検討より鎮火後の合成桁における疲労耐久性を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

桁直下において火災が発生したことを想定し、加熱試験を行った供試体を対象に繰返し載荷試験を行った(Case-1)。また、熱履歴の有無による疲労挙動の違いを比較するため、加熱されていない供試体を対象とした繰返し載荷試験も行った(Case-2)。

供試体は、図-1および図-2に示す通り、Case-1およびCase-2ともに、H型鋼(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(φ22, 高さ150mm, 間隔500mm)で一体化が図られた支間長7000mmの鋼コンクリート合成桁である。

3.1 熱履歴を受けた合成桁における繰返し載荷試験(Case-1)

(1) 加熱試験

支間中央4000mmを加熱範囲とし、Eurocodeの外部火災曲線²⁾に準拠し、680°Cで30分間、桁下と床版下面を覆うように、加熱した。また、加熱前後には、載荷梁を用いて、荷重300kNで、2点載荷による静的載荷試験を行った。載荷荷重300kNは、支間長30mの単純合成桁橋に活荷重を作用させた際の床版上縁の応力度を参考に、設定した値である。

(2) 繰返し載荷試験

自然冷却後、載荷回数200万回を目標に、支間中央の1点集中載荷で行った。また、試験開始前、繰返し載荷回数1万、3万、5万、10万、30万、50万、100万、150万、200万回載荷ごとを目安に、繰返し載荷荷重による静的載荷試験を実施し、変位およびひずみの計測を行った。載荷荷重は、30～320kN、載荷周波数は1.1Hzである。載荷荷重30kNは合成桁への死荷重を想定したものである。一方、載荷荷重320kNは、活荷重により発生する支間中央部の応力度が、支間30mの合成桁橋における応力度³⁾と同程度になるように設定した値である。

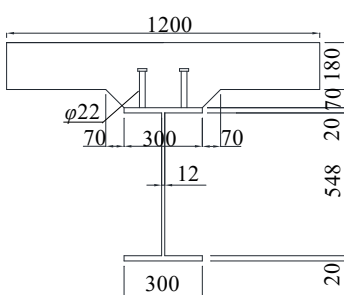


図-1 供試体断面(単位:mm)

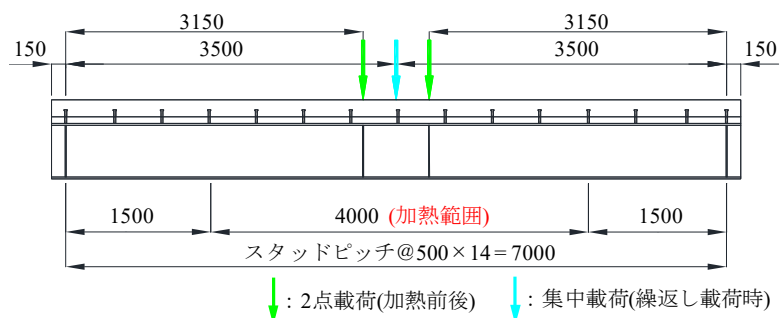
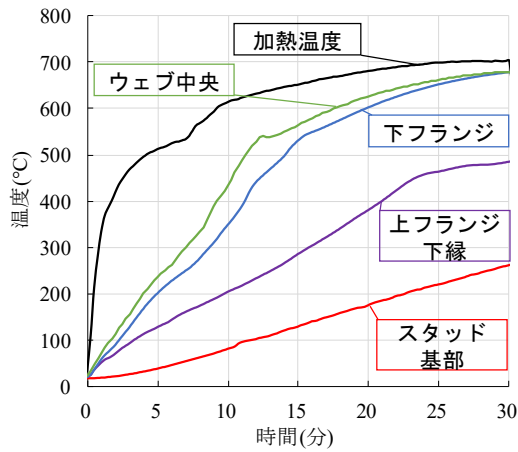
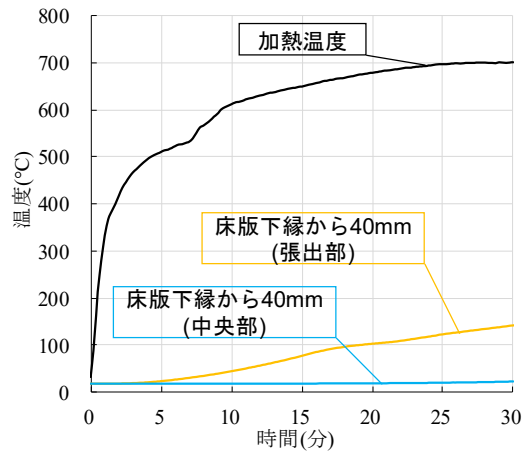


図-2 供試体側面(単位:mm)



(a) 鋼桁およびスタッド



(b) コンクリート床版

図-3 加熱温度—時間関係



(a) 加熱範囲内



(b) 桁端部

写真-1 鋼桁と床版の乖離

3.2 健全な合成桁における繰返し载荷試験(Case-2)

熱履歴を受けた合成桁の疲労挙動(Case-1)と比較を行うために、熱履歴を受けていない、つまり健全な合成桁を対象に繰返し载荷試験を実施した。

载荷条件は、Case-1と同条件で実施した。また、静的载荷試験による変位およびひずみの計測は、Case-1の試験結果を基に、試験開始前、繰返し载荷回数1万、3万、5万、10万、30万、50万、78万回载荷とした。

4. 研究成果

4.1 熱履歴を受けた合成桁における繰返し载荷試験(Case-1)

(1) 加熱試験

供試体を680°Cで30分間加熱した結果として、支間中央の受熱温度を図-3に示す。

図-3(a)より、ウェブと下フランジは加熱温度と同程度まで受熱温度が上昇していることがわかる。一方、床版コンクリートと接している上フランジの下縁の受熱温度は、500°C程度となっていた。また、頭付きスタッド基部の受熱温度は、300°C程度となっていた。

図-3(b)より、床版下縁より40mmの位置における受熱温度について、張出部においては100°C強の温度上昇が確認されたが、中央部においては温度上昇が確認されなかった。

(2) 繰返し载荷試験

当初、繰返し载荷回数は200万回を予定していたが、鋼桁と床版の乖離やずれ(写真-1)、供試体から異音の発生が確認されたため、繰返し回数78万回で試験を終了した。

図-4に、目標の繰返し载荷回数ごとに実施した静的载荷試験より得られた支間中央における荷重—変位関係を示す。同図より、変位の増加量について、繰返し回数50万回では、初回からの変位が0.5mmと僅かであったが、78万回では初回からの増加量が3.7mmと大きく増加する結果となった。

図-5に、各回数の繰返し载荷試験終了ごとに実施した静的载荷試験により得られた支間中央部におけるひずみ分布を示す。同図より、繰返し回数50万回までは、変位と同様に大きな変化は見られなかったが、78万回において、鋼桁上フランジに圧縮ひずみが生じており、弾性合成に近い挙動を呈していることが確認された。

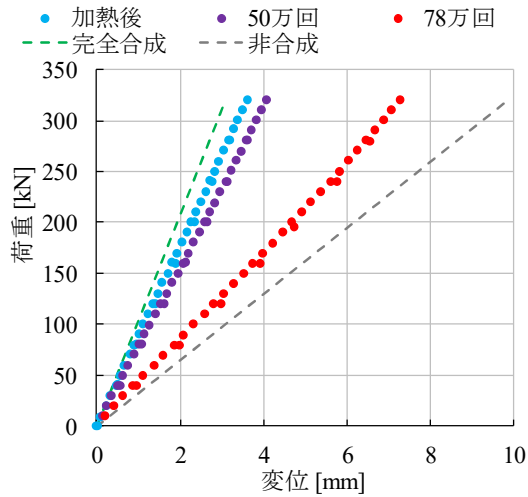


図-4 荷重—変位関係

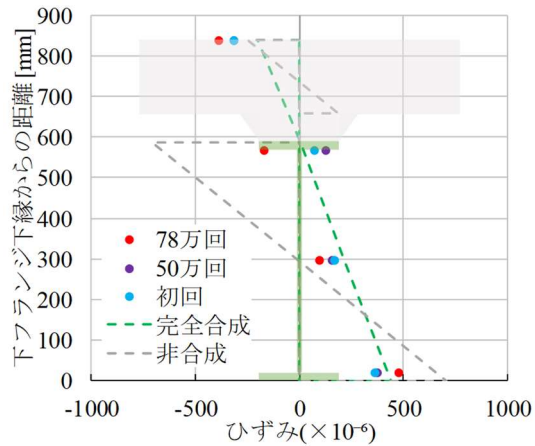


図-5 ひずみ分布



写真-2 スタッド破断面



写真-3 二段折れ

繰返し荷重試験後に、床版コンクリートのはつりを行った。その結果の一例を写真-2 および写真-3 に示すが、加熱範囲内、外ともにスタッドの破断が確認された。

破断メカニズムについて、写真-2 に示すように、スタッドがせん断力を受ける方向では、スタッド余盛止端部より鋼桁上フランジを挟り取るような疲労亀裂が進行する脆性的な破断面、その反対側では、余盛止めを残す延性的な破断面が見られた。

また、写真-3 のように、スタッドがせん断力を受ける方向とは反対側より、スタッド基部から数 cm 上部にも亀裂が生じ、二段折れとなるスタッドも確認された。

破断面のうち、荷重点である支間中央から離れるほど、脆性破断面が占める割合が大きいことが確認された。これは、加熱範囲の床版コンクリートはひび割れ発生などの影響により、剛度が低下し、合成桁端部のスタッドが負担するせん断力が増加したためと考えられる。

4.2 健全な合成桁における繰返し荷重試験(Case-2)

熱履歴を受けていない、つまり健全な合成桁を対象に繰返し荷重試験を行った結果、繰返し回数 78 万回後においても、鋼桁と床版の乖離は確認されなかった。

図-6 に、目標の繰返し荷重回数ごとに実施した静的荷重試験より得られた支間中央における荷重—変位関係を示す。変位の増加について、繰返し回数 50 万回では、初回より 0.2mm、78 万回では、初回から 0.3mm と僅かながらの変位の増加は見られたものの、試験開始時と概ね、同程度の変位であった。

図-7 に、各回数 of 繰返し荷重試験終了ごとに実施した静的荷重試験により得られた支間中央におけるひずみ分布を示す。同図より、試験開始から繰返し回数 78 万回において、変化は確認されず、合成挙動を呈していた。

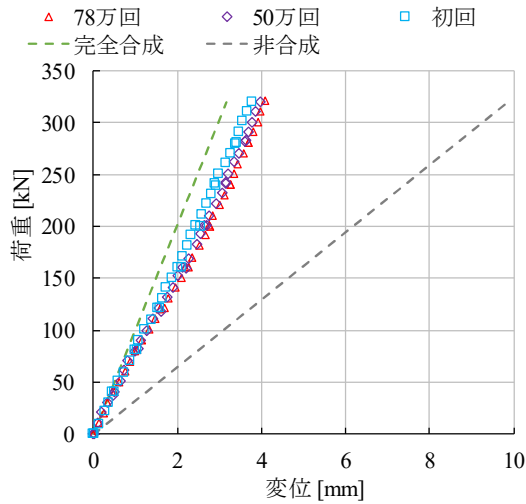


図-6 荷重—変位関係

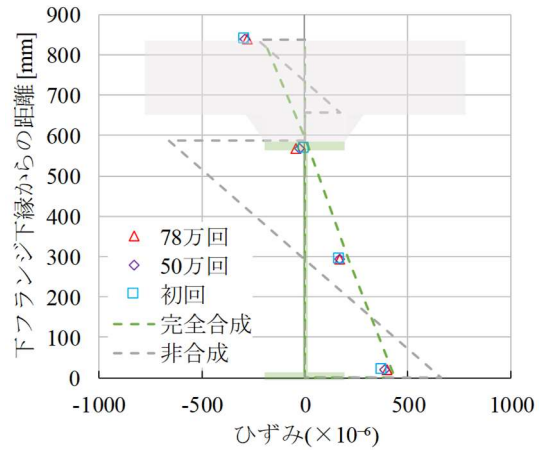


図-7 ひずみ分布

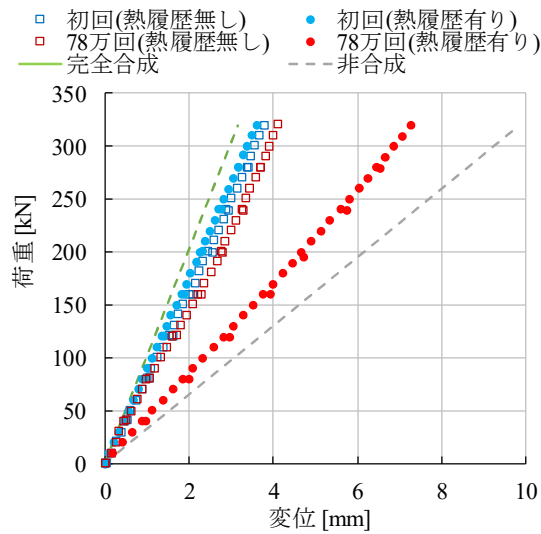


図-8 荷重—変位関係

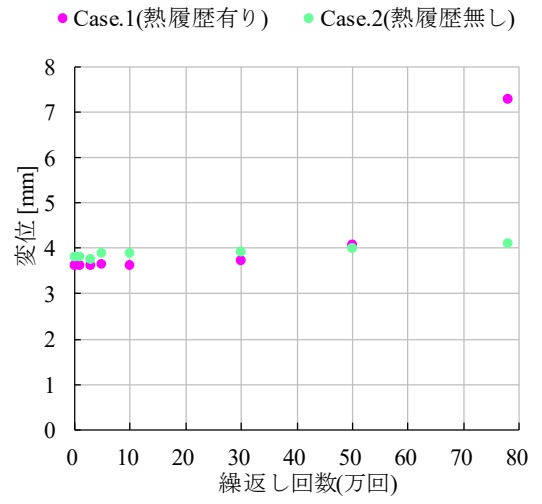


図-9 各繰返し回数における変位

4.3 熱履歴の有無による疲労挙動の比較

Case-1 および Case-2 の繰返し载荷試験より得られた荷重—変位関係を、図-8 に示す。同図より、繰返し载荷前の変位について、Case-1 および Case-2 とともに、同程度であった。また、繰返し载荷 78 万回により、Case-1 と Case-2、それぞれ、3.7mm、0.3mm 変位が増加した。この結果より、680℃で 30 分間の加熱を受けた合成桁の力学特性に変化は見られないが、疲労耐久性は低下することがわかった。

さらに、各繰返し载荷回数における変位を図-9 に示す。同図より、熱履歴を受けた合成桁は、健全な合成桁と比較して、繰返し回数 50 万回以降で、大きく変位が増加することが確認された。

したがって、熱履歴を受けた合成桁の供用再開後における疲労耐久性について、载荷回数 50 万回が、今後、1つの指標になると考えられる。

参考文献

- 1) 大山 理, 石原靖弘: 火災を受けた橋梁の調査・補修, 片山技報, No.24, 2005.
- 2) CNE: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire, prEN1991-1-2, 2002.
- 3) 中井 博, 北田俊行: 新編 橋梁工学, 第 5 版, 共立出版株式会社, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田拓人, 野上雄暉, 今川雄亮, 大山 理
2. 発表標題 鎮火後の合成桁橋における疲労挙動に関する研究
3. 学会等名 土木学会全国大会 第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪工業大学 研究者総覧 http://research-db.oit.ac.jp/html/100000850_ja.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	今川 雄亮 (Imagawa Yusuke) (00804121)	大阪工業大学・工学部・准教授 (34406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------