

鎮火後の合成桁橋における疲労挙動に関する研究

大阪工業大学院

学生会員 ○吉田 拓人

西日本高速道路株式会社

正 会 員 野上 雄暉

大阪工業大学

正 会 員 今川 雄亮, 大山 理

1. はじめに

近年、橋梁が火災により損傷する事例が多発している。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的確に判断することが重要となってくる。

現在、鎮火後の通行可否の判定は、目視および部材ごとの材料試験結果に基づいて評価が行われている。しかし、合成桁橋における頭付きスタッド(以下、スタッドと略記)のような、構造上、評価が困難な部材の損傷や供用再開後の活荷重による疲労耐久性は、未解明な部分が多く、評価対象となっていないのが現状である。

そこで、本稿では、合成桁橋を対象に、鎮火後、活荷重に対する疲労挙動を把握するため、加熱試験、自然冷却後に行った繰返し載荷試験の結果について報告する。

2. 加熱冷却後の各種材料における力学特性

鎮火後の合成桁橋における力学特性を把握するに際し、まず、各種材料の力学特性を把握する必要がある。そこで、既往の研究^{1)~3)}より、加熱冷却後における鋼およびコンクリートの強度低下率-加熱温度の関係を図-1に示す。同図より、鋼の引張強度は、600℃程度までは常温と同程度、弾性係数は、加熱による変化は見られない。一方、コンクリートの圧縮強度、弾性係数は、加熱温度の上昇とともに著しく低下する。

3. 弾性合成理論

熱履歴による床版下面の剥離やひび割れにより、床版と鋼桁にずれが発生する可能性がある。そこで、鎮火後の合成桁の基本性状を検討するに際し、弾性合成理論⁴⁾

に基づいたひずみ、変位量の算出式を誘導した。紙面の都合上、式の誘導結果は割愛するが、これより得られた値を以下の繰返し載荷試験の結果と併せて示す。

4. 試験概要

(a) 加熱試験

試験体の概要を図-2に示す。加熱試験は、欧州設計規準(Eurocode)に規定されている外部火災曲線(EX 曲線)⁵⁾に準拠し、680℃で30分間、同図に示すように支間中央部を桁下から行った。また、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⁶⁾と同程度となる荷重300kNで、加熱前後に、2点静的載荷試験を行い、ひずみおよび変位量の計測を行った。

(b) 繰返し載荷試験

繰返し載荷回数は200万回を目標に、荷重:30~320kN、周波数:1.1Hz(最大値)で実施した。また、0, 1万, 3万, 5万, 10万, 30万, 50万, 100万, 150万, 200万回載荷ごとに、ひずみ、変位量の計測を行った。なお、2点載荷から支間中央部での集中載荷となったため、繰返し試験載荷開始時と上述の加熱後の静的載荷試験時の変位量を同程度にするため、最大荷重は320kNとした。

5. 試験結果

(a) 加熱試験

加熱試験中における各部材の受熱温度を図-3に示す。鋼桁は、加熱温度に伴って受熱温度が上昇し、最終、加熱温度と同等の最高温度になった。しかし、コンクリートは鋼と比較して熱伝導率が低いため、床版の受熱温度

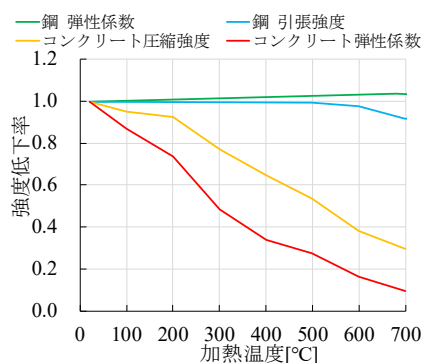
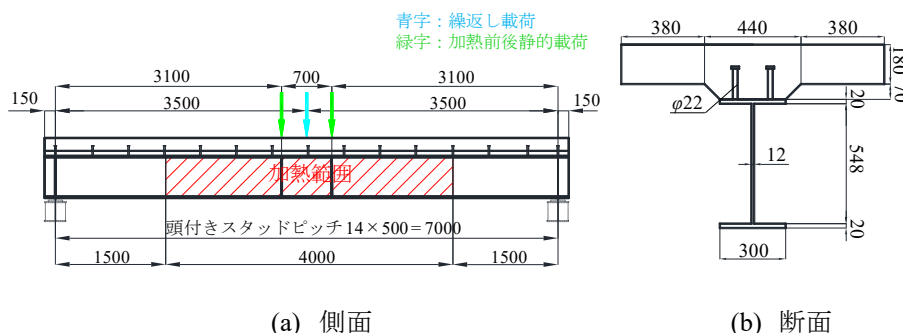
図-1 加熱冷却後の各種材料の力学特性^{1)~3)}

図-2 試験体 (単位: mm)

キーワード 合成桁, 頭付きスタッド, 橋梁火災, 熱履歴, 繰返し載荷試験, 弾性合成理論
連絡先 〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16番1号 TEL(06)-6954-3315

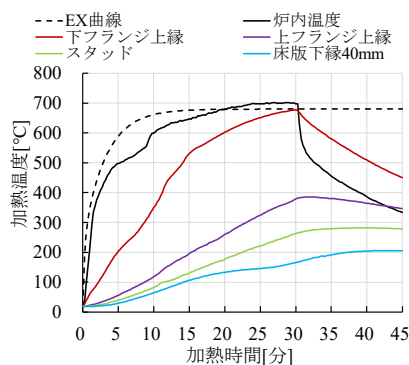


図-3 加熱温度—時間関係

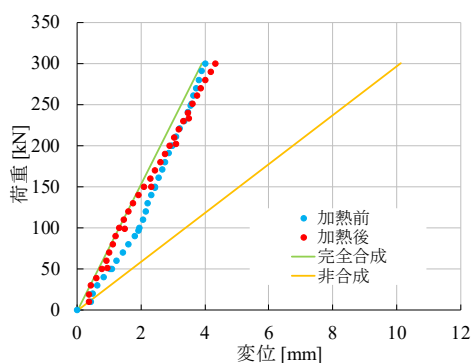


図-4 加熱前後荷重—荷変関係

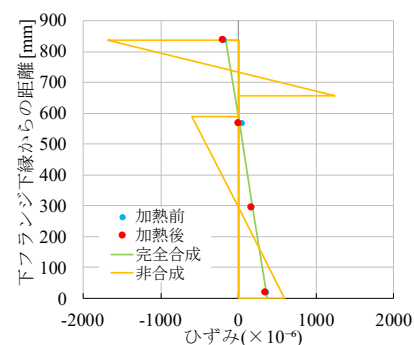


図-5 加熱前後静的載荷ひずみ分布



写真-1 加熱冷却後の床版状況

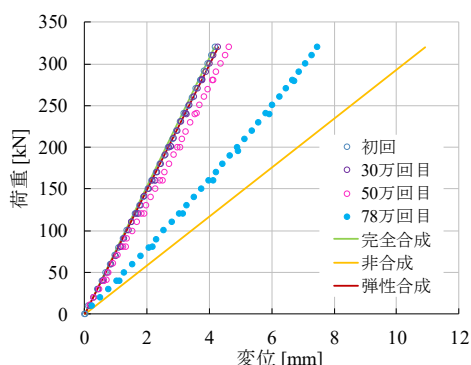


図-6 繰返し載荷による荷重—変位関係

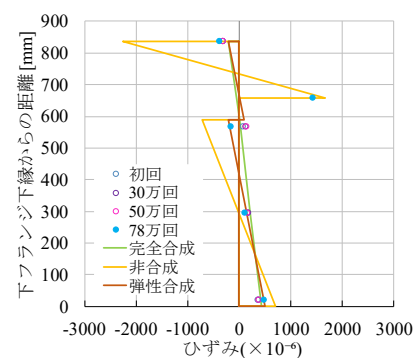


図-7 繰返し載荷ひずみ

は上がりにくく、最大受熱温度は、試験終了12分15秒後に205.4℃となった。図-4に、加熱前後の支間中央部における荷重—変位関係を示す。同図より、加熱後、ハンチ部や床版下面にひび割れや剥離が多数確認されたため(写真-1)、若干の剛性低下は見受けられるが、概ね、合成挙動を呈していることがわかる。図-5に、加熱前後における支間中央部におけるひずみ分布を示す。同図より、前述の荷重—変位関係同様、加熱前後とも、概ね、合成挙動を呈していることがわかる。

(b) 繰返し載荷試験

当初、繰返し載荷回数は200万回を予定していたが、鋼桁と床版が最大3mmの乖離や試験体から異音の発生が確認されたため、載荷回数78万回で試験を終了した。

図-6に、規定の繰返し載荷回数ごとに、実施した静的載荷試験より得られた支間中央部における荷重—変位関係を示す。同図より、載荷回数30万回までは、合成挙動を呈しているが、50万回以降では変位が増加し、78万回では繰返し載荷試験前から最大3.2mm増加する結果となった。図-7に、各回数の繰返し載荷試験終了ごとに実施した静的載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。なお、床版下縁は、当初、ひずみゲージを貼付していなかったが、載荷78万回終了直後に貼付したため、参考値とする。また、当研究室で

過去に実施した加熱冷却後のスタッド押抜きせん断試験の結果より得られたずれ定数⁹⁾を基にした弾性合成の解析値も併せて示す。同図より、78万回では、床版、鋼桁のそれぞれ上縁、下縁に圧縮、引張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わかった。

6. まとめ

本研究より、680℃で30分間加熱された合成桁は、ハンチ部や床版下面にひび割れが確認されたが、概ね、合成挙動を呈していることがわかった。一方、活荷重相当で繰返し載荷試験を行うと、30万回までは、合成断面として抵抗可能なことがわかった。しかし、それ以降、50～78万回においてスタッドの破断が推測された。今後、加熱されていない合成桁での繰返し載荷試験を行い、上述の結果と比較・検討を行う予定である。また、加熱温度や時間をパラメータとして検討を進め、鎮火後の合成桁橋の通行可否判定手法を構築する予定である。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 JP20K04673 の助成を受けたものです。また、本研究の試験を実施するにあたり、当時、大阪工業大学橋梁工学研究室に所属した柏木 悠太 氏にご協力を頂き、深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：構造材料の耐火性ガイド、丸善出版株式会社、2017。
- 2) 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、第25巻、pp.373-380、2017。
- 3) 日本鋼構造協会 技術委員会：構造用鋼材の高温時ならびに加熱後の機械的性質、JSSC VOL.4、1968.9。
- 4) 村川友則、高橋佑介、今川雄亮、大山 理：火災後における合成桁の鋼桁と床版との合成挙動に関する一検討、鋼構造年次論文集(CD-ROM)28、2020。
- 5) CNE：Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire, prEN1991-1-2、2002。
- 6) 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。