

火災による熱履歴を受けた合成桁橋の耐力評価

大阪工業大学大学院 学生員 ○高橋 佑介
大阪工業大学 正会員 大山 理

1. はじめに

近年、橋梁において大規模な火災が多発している中¹⁾、鎮火後の通行可否の判断に時間を要しており、それに伴う通行止め、通行規制などによる社会的損失は甚大となっている。そこで、本研究は、火災による熱履歴を受けた橋梁の耐力評価を行う一つの指標として、米国橋梁設計規準である AASHTO の Load Rating を参考に、火災による熱履歴を受けた橋梁の劣化状態が構造性能に及ぼす影響を可能な限り定量化することを目的とする。ここで、AASHTO の Load Rating とは、既設橋の耐力評価を行う手法であり、その結果は、参照とする設計活荷重に対し、その何倍、耐荷力を有しているかを示す指標 Rating Factor(RF 値)で表される²⁾。

$$RF = \frac{C - DL}{LL} \quad (1)$$

ここに、 C ：部材耐力、 DL ：死荷重効果、 LL ：活荷重効果。式(1)より RF 値を算出し、RF 値が 1.0 以上であれば基準としている活荷重に対して安全であると言え、一方、1.0 以下の場合は活荷重に対して安全とは言えず、橋の補修、閉鎖などを施す必要がある。そこで、本文は、支間 20m の単純合成桁橋を対象に、火災後の支間中央部における中桁と下フランジプレートとの継手部(支点から 6.37m)における耐力評価を行った結果について報告する。

2. 熱履歴を受けた鋼の力学特性

熱履歴を受けた中桁に用いられている材質 SM490Y 材および継手部の摩擦接合高力ボルト(F10T)の力学特性(降伏強度)の低減係数を図-1 に示す^{3,4)}。同図より、加熱温度の上昇とともに鋼の降伏強度は低下し、SM490Y 材は 1100℃で約 40%低下、摩擦接合高力ボルトは 900℃で約 80%低下していることがわかる。

本解析において、SM490Y 材の低減係数は、文献 3)に示されている推定式(下限値)、摩擦接合高力ボルト(F10T)に関しては、SM490Y 材と同様の形式(温度を変数とした一次式)で推定式を作成し解析に用いる。各材料の低減係数の推定式を式(2)、式(3)にそれぞれ示す。

$$\text{SM490Y 材} : k = 1.0 \ (\theta \leq 550^\circ\text{C}), \quad k = -7.29 \times 10^{-4} \theta + 1.38 \ (550 \leq \theta \leq 1100^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$\text{高力ボルト} : k = 1.0 \ (\theta \leq 345^\circ\text{C}), \quad k = -1.49 \times 10^{-3} \theta + 1.51 \ (345 \leq \theta \leq 900^\circ\text{C}) \quad (3)$$

3. 熱伝導解析

まず、火災による熱履歴を受けた合成桁橋の耐力を算定するにあたって熱伝導解析を行う。ここで、熱伝導解析は、汎用プログラム SOFiStiK、火災曲線は、Eurocode⁵⁾で規定されている野焼きや不審火を想定した EX 曲線(最高温度 680℃)、タンクローリーの横転などを想定した HC 曲線(最高温度 1100℃)、EX 曲線および HC 曲線と同様の加熱時間-温度関係で、最高温度をそれぞれ仮に 500℃、900℃とした 4 種類を用いた。火災は、桁下直下で起きたと想定し、その範囲は、火災の規模により異なるが、ここでは、被害の大きい状況(CASE1)として、鋼桁全面およびコンクリート床版下縁、被害の小さい状況(CASE2)として、下フランジのみが火炎に曝された場合について結果を示す。なお、加熱時間は過去の火災事例を参考に 60 分間とした。解析モデルおよび加熱範囲を図-2 に示す。

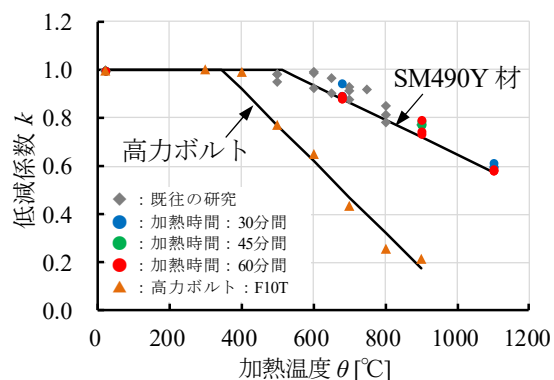
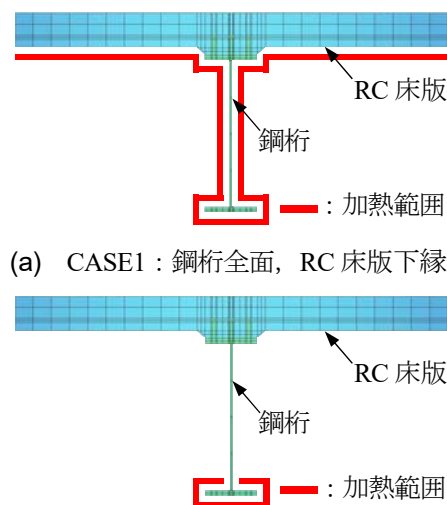


図-1 降伏強度の低減係数



(b) CASE2：下フランジのみ

図-2 解析モデル

キーワード：火災、合成桁橋、降伏強度の低減係数、耐力評価

連絡先：〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号 Tel : (06)6954-3315, Fax : (06)6957-2131

つぎに、加熱時間 60 分における合成桁断面内の温度分布を図-3 に示す。図-3(b)より、鋼桁断面は最高温度に達しているのに対して、コンクリート床版は火災を受ける下面を除くと、温度の上昇はほとんど見られない。一方、図-3(c)では、加熱範囲である下フランジから離れるにつれて温度の上昇はほとんどない結果となった。以上より、鋼桁は熱影響を受け易く、コンクリート床版は火災を受ける下面を除くと大半は温度上昇が見られないため、本解析では、文献 6)を参考にコンクリート床版の熱影響範囲を床版下縁から 50mm とする。

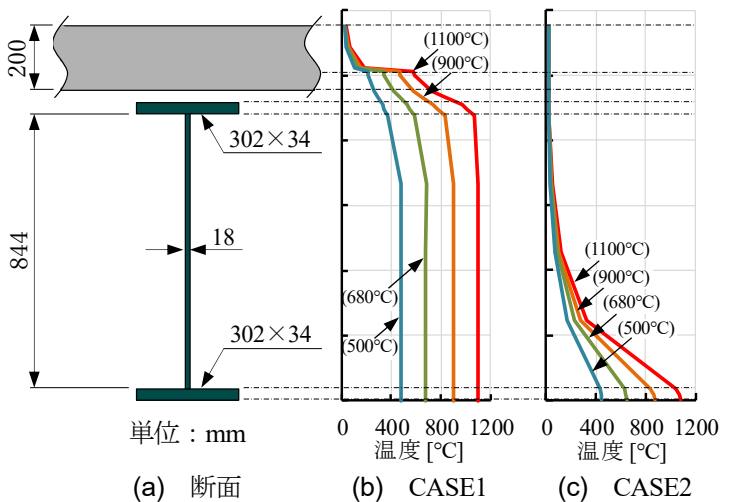


図-3 合成桁断面内の温度分布 ※()内の数値は最高温度

4. 熱履歴を受けた合成桁橋の耐力評価

正の曲げモーメントを受け、鋼圧縮フランジに適切なずれ止めでもってコンクリート床版がつく合成桁橋は、全塑性状態までに達することができる。そこで、本解析では、熱履歴を受けても鋼とコンクリートは一体化が図られており、火災時に鋼桁の局部座屈は生じていないという仮定の下、全塑性状態における単純合成桁橋の支間中央部における中桁と下フランジプレートの継手部の耐力評価を行う。なお、熱履歴を受けた鋼の力学特性は、図-1の低減係数を用い、加熱による鋼桁およびコンクリート床版の受熱温度は、図-3の熱伝導解析結果を用いる。

まず、支間中央部の中桁と継手部における耐力(常温時)および断面力を表-1 にまとめて示し、式(1)より常温時における中桁および継手部の RF 値を算出する。つぎに、各部材の受熱温度に対する低減係数(図-1)を用いて中桁と継手部それぞれの耐力を算出し、受熱温度と RF 値の関係を図-4 にまとめて示す。同図より、鋼桁は、CASE1、CASE2 とともに 1100°Cの熱を受けても活荷重に対して安全であるが、継手部は、熱影響による高力ボルトの強度低下により耐力が低下し、約 530°Cの熱に曝されると活荷重に対して安全ではない結果となった。また、加熱範囲の違いに関して、鋼桁は加熱範囲が耐力を変動させる主要因となるが、下フランジ継手部は直接熱に曝されるため、当然のことながら、加熱範囲による差異はほとんどないことがわかる。したがって、本解析では加熱範囲の違いにより鋼桁の RF 値は異なるが、両者とも制限値を満足しているため、ボルトの取替えなどの補修を行うことで通行可能の判断を下せると考えられる。

表-1 耐力、断面力

	支間中央部	継手部
耐力	7724 kNm	3280 kN
死荷重	990 kNm	860 kN
活荷重	1768 kNm	1535 kN

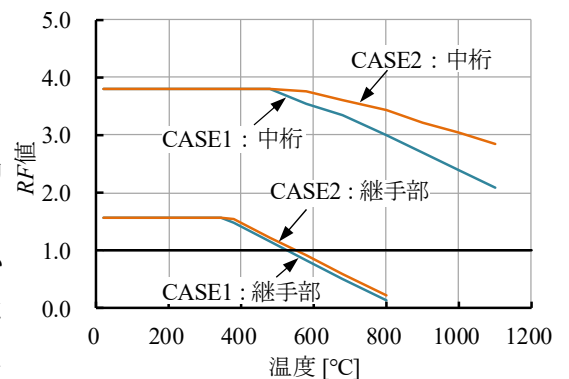


図-4 受熱温度と RF 値の関係

5. まとめ

本研究では、単純合成桁橋を対象に、熱伝導解析により受熱温度を把握し RF 値による耐力評価を行った。その結果、今回の解析条件において、鋼桁は 1100°Cの熱を受けても活荷重に対して安全であるが、継手部は、約 530°Cの熱に曝されると活荷重に対して安全ではない結果となった。また、加熱範囲は鋼桁の耐力を変動させる主要因となるが、継手部への影響はほとんどないことがわかった。今後の課題は、過去の火災事例などを参考に加熱範囲をパラメータとした熱伝導解析、加熱位置(端部、支間中央、継手部など)をパラメータとした耐力評価を実施するとともに、実橋梁を想定した加熱実験を実施して、解析値の妥当性を検証する必要がある。

【参考文献】

- 例えば、大山 理、今川雄亮、栗田章光：火災による橋梁の損傷事例、橋梁と基礎 Vol.42, No.10, pp.35~39, (株)建設図書, 2008 年 10 月。
- 奥井義昭：鋼構造物のリダンダンシー検討小委員会活動概要と海外の動向、第 17 回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.15~20, 土木学会, 2014 年 8 月。
- 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、平成 29 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 2017 年 5 月。
- 古平章夫、藤中英夫、高田 司：高力ボルトの高温時及び加熱冷却後の強度、日本建築学会大会学術講演概要集, pp.117~118, 2000 年 9 月。
- CEN : Eurocode1-Actions on structures Part 1.2 : General actions-Actions on structures exposed to fire, prEN1991-1-2, 2002.11.
- 今川雄亮、竹原和夫、柳暁英俊、大山 理、栗田章光：鋼・コンクリート単純合成桁橋の耐火性能評価に関する解析的研究、構造工学論文集, Vol.53A, pp.1107~1116, 2007 年 3 月。