

第 I 部門

鋼の加熱自然冷却後の常温時強度に関する基礎的研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○高橋 佑介
 大阪工業大学大学院 学生員 大岩 司理
 大阪工業大学 正会員 大山 理

1. はじめに

近年、国内外を問わず、不審火や走行車両の横転・炎上などが原因で、橋梁の火災事故が頻発している。そこで、今後、火災による熱影響を受けた鋼桁橋の耐力を把握する際、鋼の温度変化による力学的特性を把握することが重要である。現在、火災を受けた後の鋼の降伏強度や引張強度などの力学的特性についての研究は、1968 年以降、統計的なデータ収集が実施されておらず、当時も、最高加熱温度は 800℃(一部 900℃)までであった¹⁾。しかし、近年の橋梁火災では 1000℃を超えるものも発生している²⁾。そこで、既往の研究以上の温度まで加熱された鋼の自然冷却後の常温時における力学的特性を把握するために実施した実験結果とその結果に基づき提案する降伏強度などの低減係数推定式について報告する。

2. 実験概要

実験は、まず、加熱試験を行い、常温になるまで自然冷却した後に、引張試験を行うという流れで行った。本試験における加熱条件は、野焼きや不審火などの比較的規模は小さいが発生確率の高い火災を対象とした EX 曲線(最高加熱温度 680℃)、タンクローリーの横転・炎上などの比較的規模は大きいが発生確率が低い火災を想定した HC 曲線(最高加熱温度 900℃および 1100℃)とした³⁾。加熱時間は過去の火災事例を参考に、それぞれ 30 分間と 60 分間で行った²⁾。加熱試験状況を写真-1、火災曲線を図-1 に示す。図-1 の破線は炉内温度の測定結果を示している。同図より、炉内温度は想定した火災曲線とほぼ相違ない温度となっていることがわかる。

3. 実験結果

自然冷却後、2000kN 万能試験機を用いて JIS Z 2241 に基づき引張試験を行った。試験結果として、図-2 に降伏強度、図-3 に引張強度の低減係数を示す。また、既往の研究結果も併せて示す¹⁾。これより、本試験結果は、既往の研究結果の延長線上に位置していることがわかる。また、図-2 より、降伏強度は 1100℃で常温時の値よりも 40%低下し、図-3 より、引張強度は 1100℃で常温時の値よりも 18%低下することがわかる。また、紙面の都合上、結果は示していないが、静弾性係数については 1100℃で常温時の値よりも 10%低下する結果となった。なお、これらの結果において、加熱時間の違いによる差異はほとんど見られなかった。

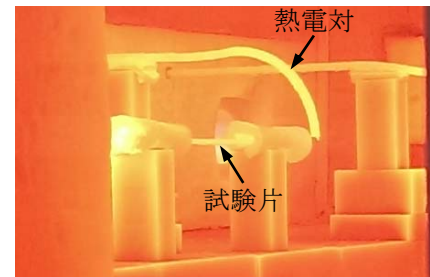


写真-1 加熱状況

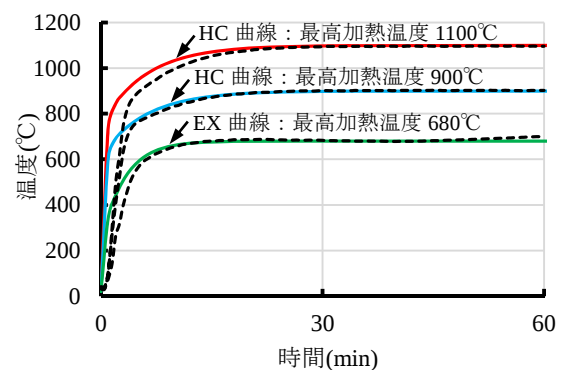


図-1 火災曲線

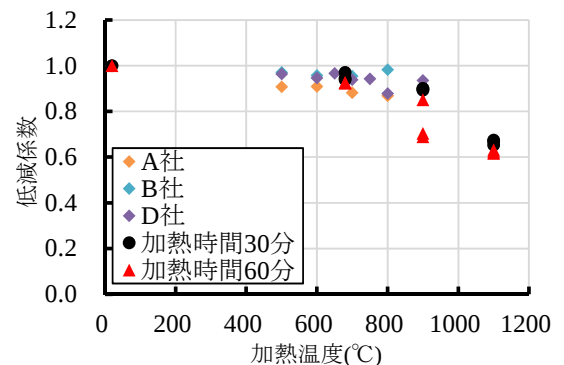


図-2 降伏強度の低減係数

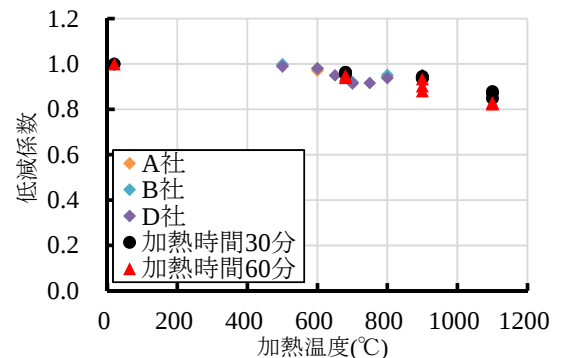


図-3 引張強度の低減係数

4. 鋼の加熱自然冷却後の常温時における力学的特性の簡易推定法

先ほども述べたように、今後、火災による熱影響を受けた鋼桁橋の耐力を把握する際、鋼の温度変化による力学的特性を把握することが重要である。そこで、試験結果をもとに、温度変化による鋼の力学的特性を把握する推定式を、回帰分析を用いて提案する。なお、本研究では、加熱時間 30 分と 60 分で加熱試験を行ったため、それぞれの時間における推定式を示す。

・降伏強度

図-4 に降伏強度の低減係数の簡易推定式を示す。なお、同式の θ は加熱温度を示す。

$$\text{加熱時間 30 分: } k = -6.74 \times 10^{-4} \theta + 1.37 \quad (1)$$

$$\text{加熱時間 60 分: } k = -7.21 \times 10^{-4} \theta + 1.39 \quad (2)$$

推定式において、 $20 \leq \theta < 550^\circ\text{C}$ までは加熱温度 θ の影響を受けない、つまり、 $k = 1.0$ となり、式(1)および式(2)の適用範囲は、 $550 \leq \theta \leq 1100^\circ\text{C}$ である。同図より、加熱温度 1100°C で常温時の値よりも最大 40%低下する結果となっている。

・引張強度

図-5 に引張強度の低減係数の簡易推定式を示す。

$$\text{加熱時間 30 分: } k = -2.22 \times 10^{-4} \theta + 1.10 \quad (3)$$

$$\text{加熱時間 60 分: } k = -2.74 \times 10^{-4} \theta + 1.12 \quad (4)$$

推定式において、 $20 \leq \theta < 440^\circ\text{C}$ までは加熱温度 θ の影響を受けず $k = 1.0$ となり、式(3)および式(4)の適用範囲は、 $440 \leq \theta \leq 1100^\circ\text{C}$ である。同図より、加熱温度 1100°C で常温時の値よりも最大 20%低下する結果となっている。

・静弾性係数

図-6 に静弾性係数の低減係数の簡易推定式を示す。

$$\text{加熱時間 30 分: } k = -1.55 \times 10^{-4} \theta + 1.14 \quad (5)$$

$$\text{加熱時間 60 分: } k = -2.29 \times 10^{-4} \theta + 1.21 \quad (6)$$

推定式において、 $20 \leq \theta < 900^\circ\text{C}$ までは加熱温度 θ の影響を受けず $k = 1.0$ となり、式(5)および式(6)の適用範囲は、 $900 \leq \theta \leq 1100^\circ\text{C}$ である。同図より、加熱温度 1100°C で常温時の値よりも最大 5%低下する結果となっている。

5. まとめ

本研究では、鋼を対象に既往の研究¹⁾以上の温度まで加熱、そして、自然冷却後の常温時における材料試験を行い、試験結果をもとに力学的特性の簡易推定式の提案を行った。提案した推定式の精度を示す指標である決定係数⁴⁾は全て 0.8 以上であったので、提案した推定式で力学的特性を推定できると考えられるが、さらなるデータ蓄積を行う必要がある。また、SM490 材や SM570 材を対象に加熱試験および引張試験を行い、加熱自然冷却後の常温時における力学的特性を把握するとともに、火災による熱影響を受けた鋼桁橋の耐力評価を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 日本鋼構造協会 技術委員会 安全性分科会 耐火小委員会 高温強度班：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, No33, pp.16-29, 1968 年。
- 2) 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 2008 Vol.42, pp.35-39, 2008 年 10 月。
- 3) CEN : Eurocode1-Actions on structures Part 1.2 : General actions- Actions on structures exposed to fire, prEN1991-1-2, pp.23-25, 2002.
- 4) 菅 民朗：Excel で学ぶ多変量解析入門，pp.56-57, p127, オーム社，2013 年 4 月。

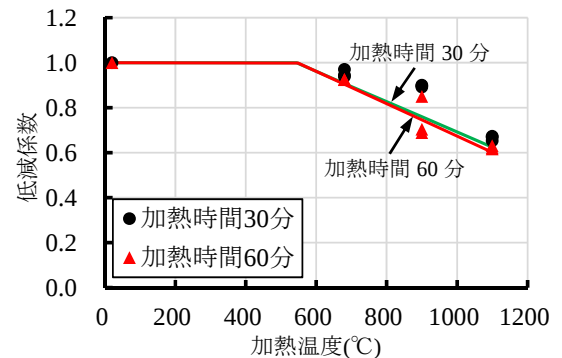


図-4 降伏強度の低減係数の簡易推定式

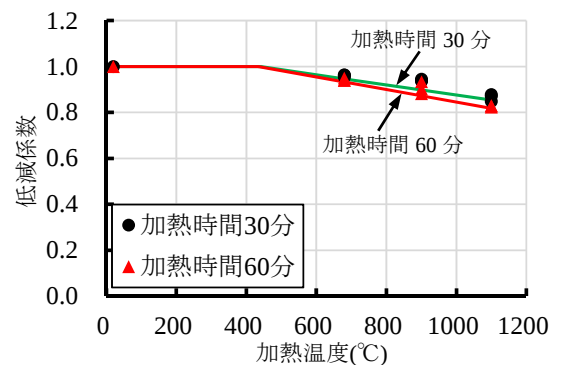


図-5 引張強度の低減係数の簡易推定式

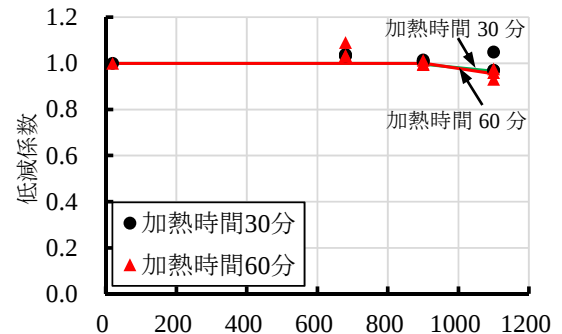


図-6 静弾性係数の低減係数の簡易推定式