

火災後における鋼コンクリート合成桁の合成挙動に関する研究

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 今川 雄亮

大阪工業大学

正会員 大山 理

1. はじめに

橋梁における火災事故¹⁾が社会に甚大な影響を及ぼしているが、明確な鎮火後の被災度判定が確立されていない。被災度判定に適用されている温度や火災時の許容耐火温度は、材料単体の実験結果(材料レベル)から定められたものであり、構造レベルとして評価されたものではないのが現状である。そこで、著者らは、火災後、鋼橋を構成する材料の力学特性の変化が構造性能に及ぼす影響を評価するにあたり、鋼コンクリート合成桁を対象に加熱温度をパラメータとした加熱前後の静的載荷試験を行い、その挙動の確認を行っている²⁾。本稿では、火災時の合成桁の温度分布、火災後の合成桁の挙動を数値解析により再現し、解析手法の妥当性を検証した結果について報告する。

2. 実験概要

実験桁は支間長 7.0m であり(図-1)、試験温度は、鋼材の許容耐火温度として 340℃、変態点近傍の温度として 680℃、加熱時間は火災事例を参考に 30 分間とした。加熱試験はガスバーナーを熱源とした大型水平加熱炉を用いて行い、炉内温度を目標温度まで加熱する際の火災曲線は、Eurocode を参考とした。加熱範囲は支間 7.0m の供試体に対して、橋軸方向の支間中央 4.0m、加熱面は床版下面および鋼桁全面である。冷却過程について、実火災では放水が想定されるが、本検討では、炉内で常温になるまで自然冷却した。加熱前後の静的載荷試験は、2 点載荷の 4 点曲げ試験とし、最大荷重は、鎮火後の通行可否の判断として、活荷重によって支間 30m の合成桁橋の支間中央に発生する応力度と同程度になる 400kN とした。

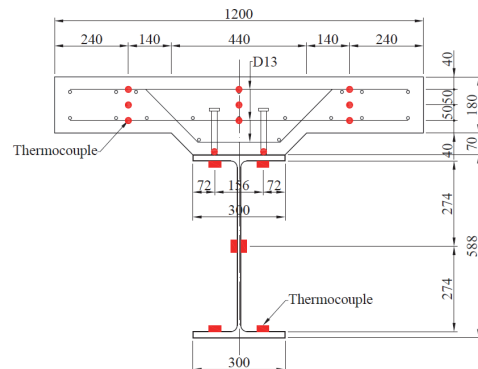


図-1 実験桁断面 (単位: mm)

3. 解析概要

火災時における合成桁の温度分布を把握するために、加熱試験時に計測した炉内温度を用いて、実験桁を対象とした2次元有限要素解析を行った。解析プログラムは SOFiStiK であり、材料の熱特性値には、Eurocode に規定されている温度依存性を考慮したモデルを採用した。

加熱試験時に床版にひび割れが確認されたため、火災後の合成挙動を推定するにあたり、鋼桁と床版との間にずれが生じるという仮定の下で、弾性合成理論に基づいて構造解析を行った。解析式を導出する際、図-2に示す桁要素を考え、力のつり合い条件式および変位の適合条件式を用いることで、鋼桁の分担軸力の変化量について以下の基礎方程式が得られる。

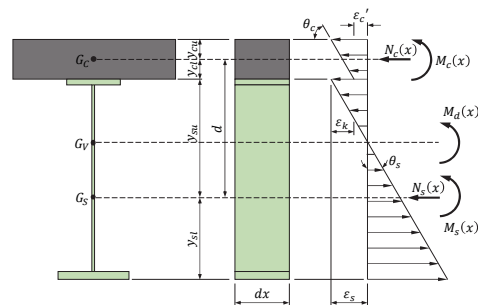


図-2 合成桁のひずみ分布と分担断面力

$$\frac{d^2 N_s(x)}{dx^2} - \omega^2 N_s(x) = -\gamma M_0(x)$$

$$\omega^2 = C \left(\frac{1}{\kappa_{s,N} E_s A_s} + \frac{1}{\kappa_{c,N} E_c A_c} + \frac{d^2}{\kappa_{s,M} E_s I_s + \kappa_{c,M} E_c I_c} \right)$$

$$\gamma = C \left(\frac{d}{\kappa_{s,M} E_s I_s + \kappa_{c,M} E_c I_c} \right)$$

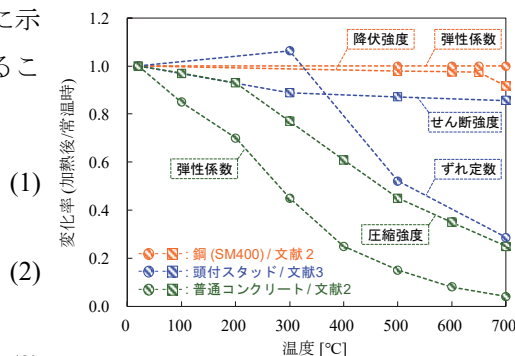


図-3 火災後の構造材料の力学特性変化率

キーワード：火災，鋼コンクリート合成桁，弾性合成理論，フレキシビリティ定数

連絡先：〒535-8585 大阪市旭区大宮5丁目16番1号

TEL : (06)6954-4109, FAX : (06)6957-2131

ここに、 ω^2 および γ は剛度パラメータであり、断面諸量および単位長さあたりのばね定数より決定する値である。また、式中の κ は曲げ剛性および伸び剛性の熱影響による変化率を示しており、火災後における構造材料の力学特性の変化率(図-3)により算出される。この係数により、熱影響による材料の力学特性の変化が実験桁の各種剛性に及ぼす影響が考慮されることになる。剛度パラメータを算出する際の単位長さあたりのばね定数は、基準ばね定数($k=2.0\text{kN/mm/mm}$)およびフレキシビリティ定数(f)を用いて式(4)より求められる。また、フレキシビリティ定数は基準ばね定数に加え、スタッド配置およびスタッド1本あたりのばね定数より決定される値である。

$$C = \frac{k_0}{f^2} \quad (4) \quad f = \sqrt{\frac{k_0 L_d}{k n_s}} \quad (5)$$

ここで、フレキシビリティ定数とは、床版と鋼桁との合成度を評価する指標であり、 $f \approx 0$ のとき、完全合成、 $f > 7$ のとき非合成挙動を示すパラメータである⁴⁾。本稿では、解析を行うにあたり、スタッド1本あたりのばね定数は文献3)の値を参考とした。

4. 検討結果

加熱試験結果の一例として、設定温度 680°C の炉内温度、鋼部材の受熱温度の計測値および解析値を図-4 に示す。ここで、図中の実線および破線は、それぞれ、計測値および解析値を示している。加熱時の床版と鋼桁の温度差により、床版下縁からひび割れが発生し、加熱開始 17 分で貫通ひび割れが確認された。また、加熱後、床版下面には亀甲状のひび割れが確認された。

加熱開始 30 分時点の合成桁の温度分布を図-5、加熱前後における静的載荷試験の結果として、鋼桁の橋軸方向のひずみ分布を図-6 に示す。構造解析は図-5 に示すような温度分布を仮定し、受熱温度の計測値を用いて行った。図-6 より、 340°C では、加熱による床版のひび割れなどは確認されなかったが、常温時に比べてひずみが増加する結果となった。これは、スタッド基部付近のコンクリートの圧縮強度が熱影響により低下したためと考えられる³⁾。一方、 680°C では、加熱時に貫通ひび割れが生じたことにより、合成挙動を呈していないことが確認された。

最後に、本検討で行った熱伝導解析および弾性合成理論に基づく構造解析の値を比較した結果、合成桁の温度分布および鋼桁の橋軸方向ひずみ分布の解析値は、概ね計測値に推移する結果となり、本解析手法によって、火災時の温度分布、火災後の合成桁の弾性域における挙動を推定することが可能である。

5. まとめ

火災時の合成桁の温度分布、火災後の合成桁の挙動を数値解析により再現し、その妥当性を示した。本試験では加熱温度をパラメータとしており、断面形状、荷重条件、加熱面等が限られているため、今後も火災後の合成桁の挙動を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 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, 2008.
- 2) 高橋佑介, 今川雄亮, 大山 理: 火災による熱履歴を受けた鋼コンクリート合成桁の力学特性, 第13回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2019.
- 3) 今川雄亮, 大山 理, 栗田章光: 火災時および火災後におけるスタッドの力学特性, 土木学会論文集 A, Vol. 65 (2009) No.3, pp. 384-394, 2009.
- 4) 小松定夫, 佐々木 孝: 不完全合成格子桁橋の理論と近似計算法について, 土木学会論文集, 第 329 号, pp.27-37, 1983.

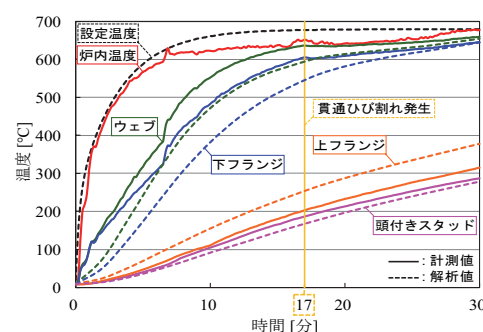


図-4 温度－時間関係

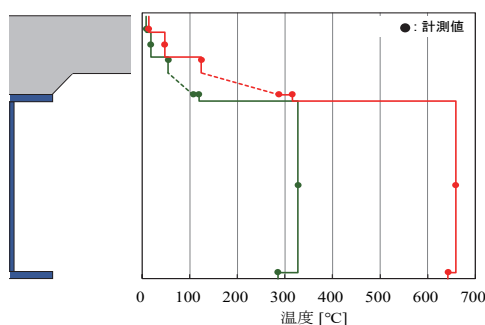


図-5 合成桁の温度分布 (30 分時点)

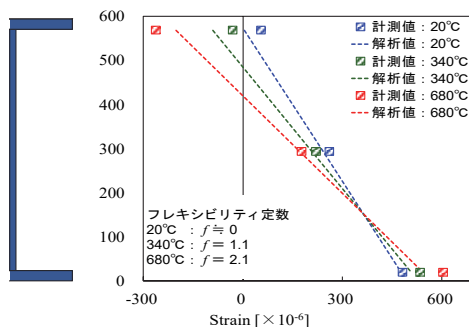


図-6 鋼桁のひずみ分布 (400kN 載荷時)