

第 I 部門 火災による合成桁橋の合成効果に関する研究

大阪工業大学大学院 学生員 ○野上 雄暉
 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. 研究の背景・目的

近年、国内外の橋梁において、車両事故や放火等を原因とする火災が発生し、床版下面(写真-1)や鋼桁ウェブに損傷を受けた事例が報告されており、通行止めや通行規制によって社会に影響を及ぼしている¹⁾。そこで、土木学会より、材料単体の実験結果から定められたガイドラインが刊行されているが、火災後の橋梁を構造物として評価されたものは少ないのが現状である。そこで、火災後の通行可否を判定する資料の1つとして、合成桁橋を対象に熱伝導解析および構造解析を行い、熱履歴が鋼桁と床版との合成効果に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。



写真-1 合成桁橋の損傷状況¹⁾

2. 解析概要

火災時における合成桁橋の温度分布を把握するために、一次元差分法に基づく熱伝導解析を行い、床版および鋼桁の受熱温度を推定する。また、火災後の床版下面にひび割れが生じる事例に基づき、火災後の合成効果を検討するにあたり、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²⁾に基づいて構造解析を行う。解析式を導出する際、図-1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。

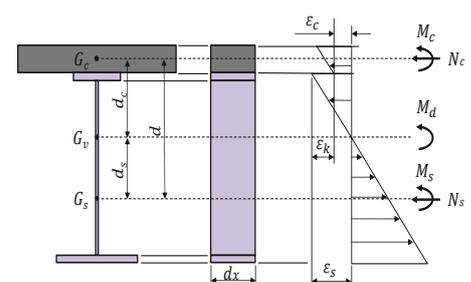


図-1 合成桁のひずみ分布と分担断面力

$$\frac{d^2 N_s(x)}{dx^2} - \omega^2 N_s(x) = \gamma M_d(x) \quad (1)$$

$$\omega^2 = C \left(\frac{1}{\alpha_c E_c A_c} + \frac{1}{\alpha_s E_s A_s} + \frac{d^2}{\alpha_c E_c I_c + \alpha_s E_s I_s} \right) \quad (2)$$

$$\gamma = C \frac{d}{\alpha_c E_c I_c + \alpha_s E_s I_s} \quad (3)$$

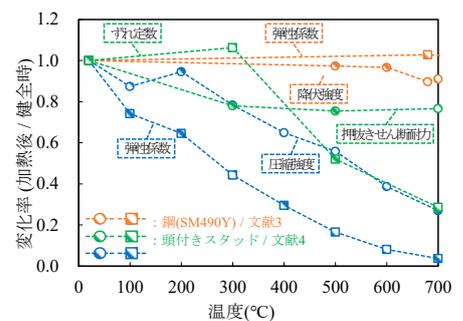


図-2 火災後の構造材料の力学特性変化

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、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(C)は、基準ばね定数($k_0=2.0\text{kN/mm/mm}$)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。さらに、フレキシビリティ定数は基準ばね定数に加え、スタッド配置間隔(L_d)、スタッド1本あたりのずれ定数(k)および1列あたりのスタッドの本数(n_s)より決定される。火災後の構造材料の力学特性は常温時の値に図-2に示す変化率(α)を乗じることで算出する^{3)~5)}。ここで、図-2に示す温度は、鋼および頭付きスタッドは加熱温度、普通コンクリートは受熱温度とする。フレキシビリティ定数は、 $f=0$ において完全合成、 $0 \leq f \leq 7$ において弾性合成、 $f \gg 7$ において非合成と分類される²⁾。

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

フレキシビリティ定数の算出例として、火災温度およびスタッドの配置間隔に着目した結果を図-3に示す。なお、算出に当たり図-2に示した文献(4)の火災温度および時間(90分間)に対応するスタッドのずれ定数(軸径22mm)を用いており、スタッド本数は1列あたり3本、スタッドの配置間隔は道路橋示方書・同解説⁶⁾で規定されている範囲とした。同図より、300°C程度の火災温度であれば、フレキシビリティ定数は常温と同程度となるが、それ以上の温度上昇に伴い、ずれ定数の低下によりフレキシビリティ定数が大きくなる、つまり、合成効果が低下する傾向を示した。

3. 解析結果

野焼きや不審火による火災では、最高温度が700°C相当となることが報告されている。700°C以下の場合、図-2より、鋼の力学特性は常温時と同程度となることから、ここでは、床版の受熱温度(以下に床版温度)に着目する。

まず、火災温度を700°Cとし、火災時間および床版厚をパラメータとした熱伝導解析の一次元差分を行った結果、床版の平均温度は、床版厚240mmの場合、90分で180°C、180分で250°C相当の床版温度となった。

つぎに、弾性合成理論に基づく構造解析を行う。ここで、本解析の対象橋梁は道路橋示方書・同解説⁶⁾に準拠して設計された支間30.0m、床版厚240mm、桁高1600mmの単純合成桁橋とし等分布荷重を満載した。本解析では、フレキシビリティ定数および床版温度をパラメータとした際の各分担断面力の変化に着目する。フレキシビリティ定数は完全合成($f=0$)から弾性合成の範囲とし、床版温度は、上述の熱伝導解析結果より、最高温度を250°Cとした。図-4~図-6に、常温時における完全合成桁を基準とした数値解析による変化率を示す。図-4より床版温度の上昇とフレキシビリティ定数の増加に伴い、鋼桁および床版の分担軸力は低下することがわかる。また、図-5より、床版温度の上昇とフレキシビリティ定数の増加に伴い、鋼桁の分担曲げモーメントは増加するが、床版温度の変化に伴う影響は小さいことがわかる。一方で、図-6より、床版温度の上昇に伴い、床版の分担曲げモーメントは低下し、床版温度の変化に伴う変化は大きいことがわかる。

ここで一例として、スタッドの配置間隔が600mmにおける常温時と火災温度700°C、時間90分の火災を受けた場合の鋼桁上縁の応力度を比較すると、常温時の2.1倍大きくなることがわかった。

4. まとめ

本研究では、熱履歴が鋼桁と床版との合成効果に及ぼす影響を明らかにした。今後、活荷重の載荷状態を考慮した数値解析を基に、火災後の合成効果の変化による縁応力度の照査に加えて、活荷重たわみなども検討し、供用再開を判定する手法を構築したい。

【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) 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.
- 3) 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.
- 4) 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, 65巻2号, pp.389-394, 2009.5.
- 5) 安部武雄, 古村福次郎, 戸祭邦之, 黒羽健嗣, 小久保 勲: 高温における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第515号, pp.164-168, 1999.
- 6) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II: 鋼橋編, 2002.

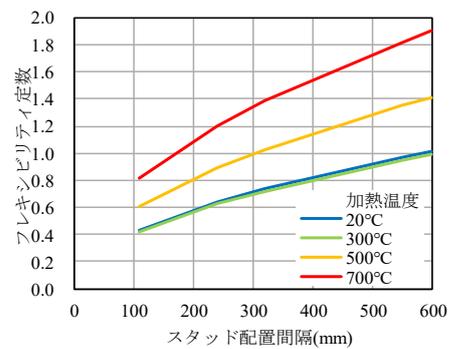


図-3 火災温度、スタッドの配置間隔とフレキシビリティ定数の関係

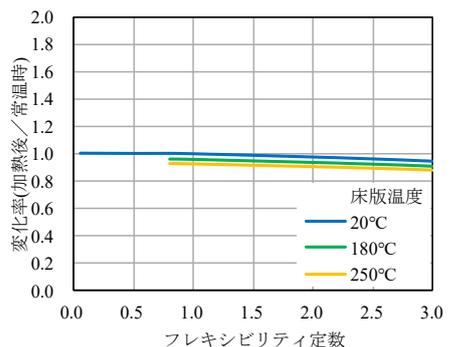


図-4 鋼桁および床版の分担軸力

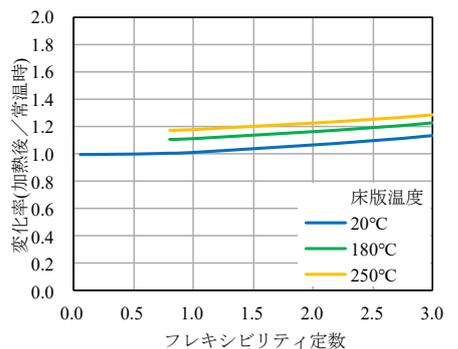


図-5 鋼桁の分担曲げモーメント

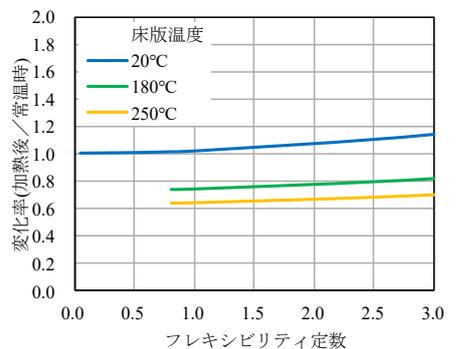


図-6 床版の分担曲げモーメント