

高温時における合成柱の耐荷力に関する基礎的研究

徳島大学大学院 学生員 ○浅川和也
大阪工業大学 正会員 大山 理
徳島大学大学院 正会員 成行義文

1. はじめに

わが国では、これまで、火災により大被害を受けたことから、トンネルの耐火対策は精力的に行われている。一方、橋梁は、火災による死者が出ていないことなどから、耐火対策は行われていないのが現状である。しかし、2008年8月首都高速道路で起きた事例¹⁾など、橋梁が火災を受けると、損傷が大きいことや経済的に打撃を与えるため、予防保全の観点から、橋梁を火災から守ることは重要な課題といえる。

そこで、本文では、鋼・コンクリート合成柱を対象に、高温時における部材の耐荷力を算出し、破壊に至るまでの温度を把握することを目的に行った数値計算結果について報告する。

2. 高温時における鋼およびコンクリートの力学特性

まず、ヨーロッパの設計規準(Eurocode)に規定されている高温時における鋼の降伏強度とヤング係数の低減係数を図-1に示す²⁾。図-1より、鋼の降伏強度は400℃付近から低下が始まり、600℃付近では半分程度の値を示す。一方、ヤング係数は、降伏強度と比較して低い温度から低下し、500℃付近で半分程度の値を示すことがわかる。つぎに、高温時におけるコンクリートの圧縮強度³⁾とヤング係数⁴⁾の低減係数を図-2に示す。同図より、コンクリートも温度上昇に伴い、圧縮強度およびヤング係数が低下することがわかる。

3. 高温時における合成柱の耐荷力算出式

Eurocodeに基づく高温時における合成柱の耐荷力算出式を以下に示す。

全塑性耐荷力 N_{pl}^{θ} :

$$N_{pl}^{\theta} = f_{sy} \cdot A_s \cdot k_{y,\theta} + f'_c \cdot A_c \cdot k_{c,\theta} \quad (1)$$

理想座屈荷重 N_{ki}^{θ} :

$$N_{ki}^{\theta} = \frac{\pi^2 (E_s \cdot I_s \cdot k_{E_s,\theta} + E_c \cdot I_c \cdot k_{E_c,\theta})}{S_k^2} \quad (2)$$

換算細長比 $\bar{\lambda}_{k,\theta}$:

$$\bar{\lambda}_{k,\theta} = \sqrt{\frac{N_{pl}^{\theta}}{N_{ki}^{\theta}}} \quad (3)$$

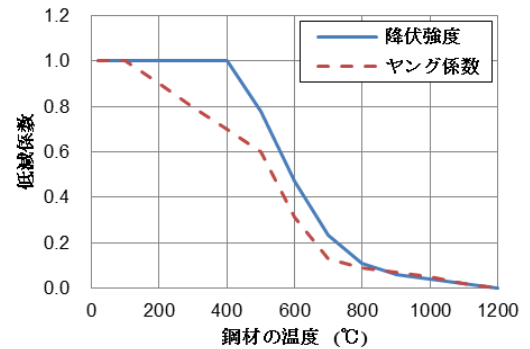
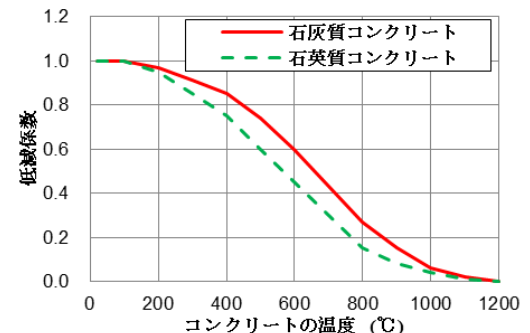
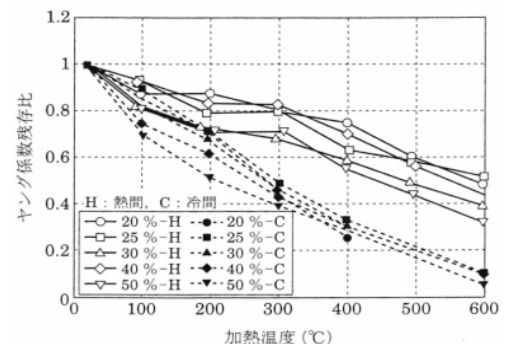


図-1 高温時における鋼の力学特性²⁾



(a) 圧縮強度の低減係数³⁾



(b) ヤング係数の低減係数⁴⁾

図-2 高温時におけるコンクリートの力学特性

ここで、 f_{sy} : 鋼の降伏強度、 f'_c : コンクリートの圧縮強度、 A_s : 鋼の断面積、 A_c : コンクリートの断面積、 $k_{y,\theta}$: θ ℃時における鋼の降伏強度の低減係数、 $k_{c,\theta}$: θ ℃時におけるコンクリートの圧縮強度の低減係数、 S_k : 有効座屈長、 E_s : 鋼のヤング係数、 E_c : コンクリートのヤング係数、 I_s : 鋼の断面 2 次モーメント、 I_c : コンクリートの断面 2 次モーメント、 $k_{E_s,\theta}$: θ ℃時における鋼のヤング係数の低減係数、 $k_{E_c,\theta}$: θ ℃時におけるコンクリートのヤング係数の低減係数、 κ_{θ} : θ ℃時における低減係数、 α : Eurocode に規定される部材の初期不正などを考慮した値

低減係数の算定式：

$$\kappa_{\theta} = f(\bar{\lambda}_{k,\theta}) \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{ll} \bar{\lambda}_{k,\theta} \leq 0.2 & \kappa_{\theta} = 1.0 \\ \bar{\lambda}_{k,\theta} > 0.2 & \kappa_{\theta} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_{k,\theta}^2}} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$k = 0.5 \left\{ 1.0 + \alpha(\bar{\lambda}_{k,\theta} - 0.2) + \bar{\lambda}_{k,\theta}^2 \right\} \quad (6)$$

$\theta^{\circ}\text{C}$ 時における合成柱の耐荷力 N_{cr}^{θ} ：

$$N_{cr}^{\theta} = \kappa_{\theta} \cdot N_{pl}^{\theta} \quad (7)$$

4. 耐荷力の算出と破壊時温度の推定

解析の対象とする断面および諸元を、それぞれ、図-3 および表-1 に示す。まず、汎用プログラム SOFiStiK を用いて熱伝導解析を行う。火災曲線は、ガソリン火災を想定した炭化水素曲線 (HC 曲線、最高：1100°C) を適用し、各部材の熱物性値は Eurocode に規定されているものを用いる^{2),3)}。なお、コンクリートの含水率は 3% とした。熱伝導解析の結果を図-4 に示す。同図より、鋼は、加熱温度とほぼ同じ温度となった。しかし、コンクリートは、熱の伝わりが遅いために、20 分加熱した後でも、コンクリート断面の約 60% は常温であるという結果となった。つぎに、合成柱の耐荷力を算出するために、熱伝導解析結果に基づき、図-5 に示すとおり、温度別にコンクリート断面を $A_{c1} \sim A_{c6}$ に分割した。このモデルで鋼材の各受熱温度における耐荷力を算出し、その結果を図-6 に示す。同図には、一例として、鋼断面に 100N/mm² の応力が作用した時の軸力の値 (N_s) も併せて記載する。図-6 より、合成柱の耐荷力は 200°C 付近から徐々に、そして、400°C 付近から急激に低下することがわかった。また、この部材は、約 680°C で破壊に至ると考えられる。

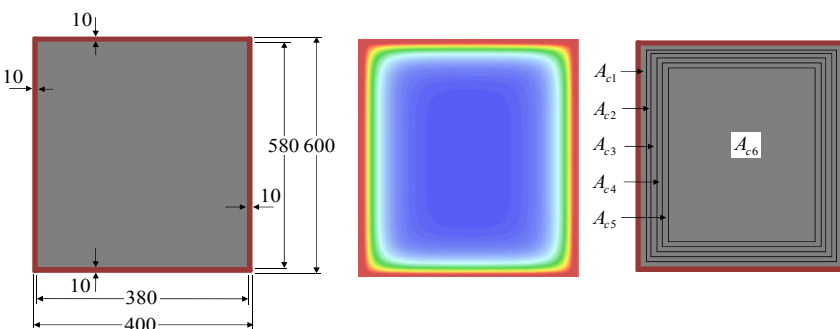


図-3 断面(寸法単位：mm) 図-4 熱伝導解析結果 図-5 解析モデル

表-1 合成柱の諸元⁵⁾

	合成柱
鋼に換算した断面積(mm ²)	$A = 47150$
鋼の断面2次モーメント(mm ⁴)	$I_s = 5.48 \times 10^8$
コンクリートの断面2次モーメント(mm ⁴)	$I_c = 2.65 \times 10^9$
鋼の降伏強度(N/mm ²)	$f_{sy} = 355$
コンクリートの圧縮強度(N/mm ²)	$f'_c = 24$
鋼のヤング係数(N/mm ²)	$E_s = 2.0 \times 10^5$
コンクリートのヤング係数(N/mm ²)	$E_c = 2.5 \times 10^4$
有効座屈長(m)	10.0
火災曲線	HC曲線

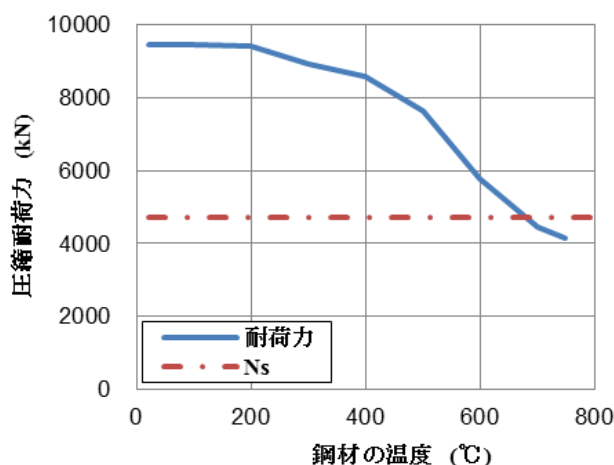


図-6 合成柱の耐荷力

5. まとめ

本研究では、合成柱を対象に高温時における耐荷力を算出し、破壊に至るまでの温度を推定した。その結果、合成柱の耐荷力は 200°C 付近から徐々に低下をはじめ、400°C 付近から急激に低下することがわかった。また、この合成柱は、約 680°C で破壊に至ると考えられる。今回は、熱伝導解析結果を基にコンクリート断面を分割して耐荷力の算出を行った。今後は、より簡易的に高温時における合成柱の耐荷力を算出する手法の提案を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 桑野忠生, 増井隆, 鈴木寛久, 依田勝雄：タンクローリー火災事故により損傷を受けた橋梁の復旧, 橋梁と基礎 Vol.43, No.4, pp.13-18, 2009.4.
- 2) CEN：Eurocode 3-Design of steel structures Part 1.2：General rules - Structural fire design, prEN1993 -1-2, 2003.4.
- 3) CEN：Eurocode 2-Design of concrete structures Part 1.2：General rules-Structural fire design, prEN1992-1-2, 2002.10.
- 4) 一瀬賢一：高温下におけるコンクリートの力学的性状, コンクリート工学 Vol.45, No.9, pp.84, 2007.9.
- 5) 合成柱研究会：合成橋脚とその計算例・解説 コンクリート充填方式合成柱の応用, pp.73-78, 1992.7.