

1. はじめに

近年、橋梁における大規模な火災が多発¹⁾しているが、被災した橋梁に対する安全性の評価法はいまだ確立されていないのが現状である。このことから、鎮火後、早期に交通開放するためには、被災した橋梁の耐荷力を把握する必要がある。また、火災時には、橋梁の上部工のみならず、写真-1 に示すとおり、下部工である橋脚部分にも被害は及んでいる。そこで、本文では、正方形断面の合成柱を対象に、熱伝導解析および耐荷力の算定を行った結果について報告する。



写真-1 橋脚の被害状況の一例

2. 高温時における鋼およびコンクリートの力学特性

Eurocode²⁾が定める鋼の降伏強度およびヤング係数の低減係数を図-1、コンクリートの圧縮強度およびヤング係数の低下を図-2 にそれぞれ示す。図-1 より、降伏強度は 400°C から低下し始めるのに対し、ヤング係数は 100°C から低下し始める。また、降伏強度およびヤング係数ともに 500~600°C 付近で常温時の値よりも 50% 程度低下する規定となっている。一方、図-2 より、コンクリートも高温時では、圧縮強度とヤング係数が低下し、鋼と比べてコンクリートのヤング係数は、100°C の時点で 40% も低下することがわかる。

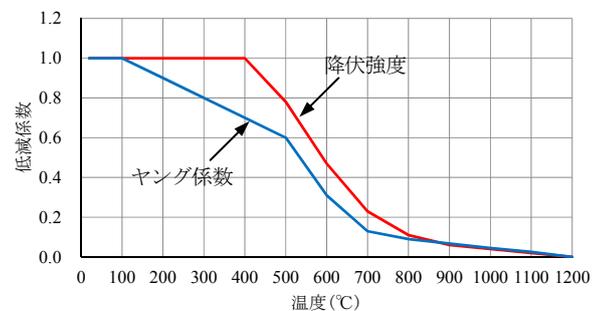


図-1 高温時における鋼の力学特性

3. 高温時における合成柱の耐荷力算定式

Eurocode に基づく高温時における合成柱の耐荷力算定式を以下に示す。

全塑性耐荷力 N_{pl}^{θ} :

$$N_{pl}^{\theta} = k_{y,\theta} \sigma_y A_s + k_{c,\theta} \sigma_{ck} A_c \quad (1)$$

理想座屈荷重 N_{Ki}^{θ} :

$$N_{Ki}^{\theta} = \pi^2 \frac{k_{s,E,\theta} E_s I_s + k_{c,E,\theta} E_c I_c}{\ell^2} \quad (2)$$

換算細長比 $\overline{\lambda}_{k,\theta}$:

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

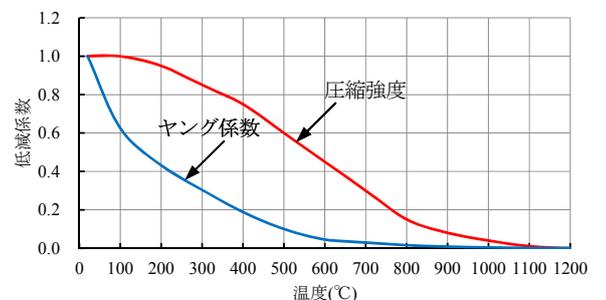


図-2 高温時におけるコンクリートの力学特性

ここで、 $k_{y,\theta}$: θ °C 時における鋼の降伏強度の低減係数、 σ_y : 鋼の降伏強度、 A_s : 鋼の断面積、 $k_{c,\theta}$: θ °C 時におけるコンクリートの圧縮強度の低減係数、 σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度、 A_c : コンクリートの断面積、 $k_{s,E,\theta}$: θ °C 時における鋼のヤング係数の低減係数、 E_s : 鋼のヤング係数、 I_s : 鋼の断面二次モーメント、 $k_{c,E,\theta}$: θ °C 時におけるコンクリートのヤング係数の低減係数、 E_c : コンクリートのヤング係数、 I_c : コンクリートの断面二次モーメント
 ℓ : 有効座屈長

部材の初期不整などを考慮した低減係数 κ_θ :

$$\kappa_\theta = f(\overline{\lambda_{k,\theta}}) \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \overline{\lambda_{k,\theta}} \leq 0.2 \quad \kappa_\theta = 1.0 \\ \overline{\lambda_{k,\theta}} > 0.2 \quad \kappa_\theta = \frac{1}{k_\theta + \sqrt{k_\theta^2 - \overline{\lambda_{k,\theta}}^2}} \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$k_\theta = 0.5 \left\{ 1.0 + \alpha \overline{\lambda_{k,\theta}} + \overline{\lambda_{k,\theta}}^2 \right\} \quad (6)$$

$$\alpha = 0.65 \sqrt{235/\sigma_y} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\theta \text{ °C 時における合成柱の耐荷力 } N_{cr}^\theta : \\ &N_{cr}^\theta = \kappa_\theta \cdot N_{pl}^\theta \quad (8) \end{aligned}$$

3. 高温時における合成柱の耐荷力算定

まず、火災による熱影響を受けた合成柱の耐荷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 を用いた。加熱の範囲は全方位全長とし、その時間は 30 分とした。また、火災曲線は、Eurocode³で規定されているタンクローリーの横転などを想定した HC

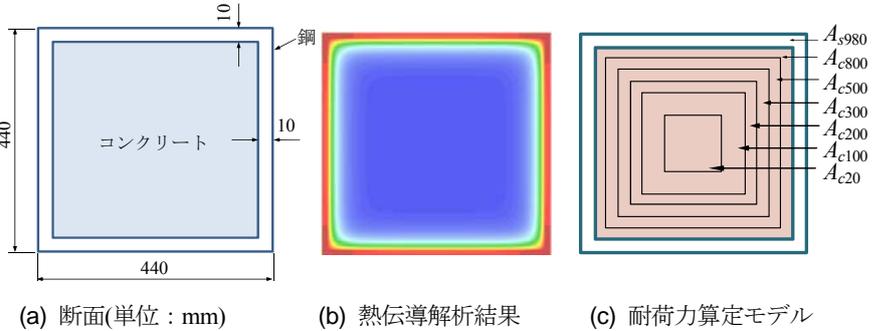


図-3 対象断面の熱伝導解析結果と耐荷力算定モデル

曲線(炭化水素曲線, 最高温度: 1100°C)を用いた。対象断面の寸法と 20 分後の熱伝導解析結果を図-3(a)と(b)に示す。熱伝導解析結果より、合成柱の表面部分は熱の影響を受けるが、内部のコンクリートの大部分は常温であり、火災の影響、つまり、耐荷力の低下は見られないと考えられる。つぎに、温度によって材料の力学的特性が異なるため、図-3(c)に示す受熱温度ごとに分割したモデルを設定し耐荷力の算定を行う。

その結果として、図-4 に高温時における耐荷力を常温時のその値で除した結果を示す。図-4 より、合成柱の耐荷力は、加熱開始 12 分で常温時の約 6 割、その後は、徐々に低下する傾向にあることがわかる。ここで、耐荷力の低下要因を把握するために、加熱時間における全塑性耐荷力と理想座屈荷重の鋼とコンクリートの比率を、図-5 および図-6 に示す。同図を比較した結果、鋼のヤング係数が合成柱の耐荷力低下の一番の要因になっていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、合成柱を対象に、熱伝導解析より受熱温度を把握し、その結果に基づき耐荷力の算定を行った。その結果、加熱開始 12 分間における合成柱の耐荷力は、主に、熱伝導率の高い鋼の温度上昇によって影響を受けることがわかった。今後の課題として、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。また、今回は、軸力のみが作用する場合を想定したが、曲げモーメントと軸力が作用した場合(火災時における合成柱の N-M 関連)の検討も行う予定である。

【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, (株)建設図書, 2008.10.
- 2) CEN: Eurocode3-Design of steel structures Part 1.2: General rules-Structural fire design, prEN 1993-1-2, pp.17-19, 2003.4.
- 3) CEN: Eurocode1-Actions on structures Part1.2: General actions-Actions on structures exposed to fire, prEN 1991-1-2, pp.24-25, 2002.11.

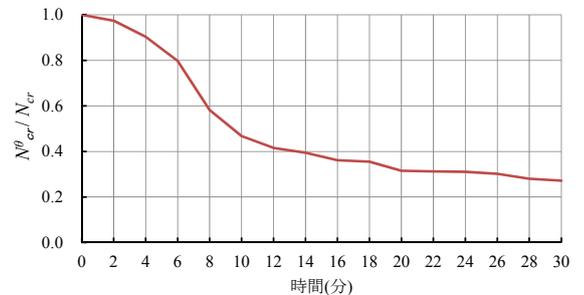


図-4 時間-耐荷力曲線

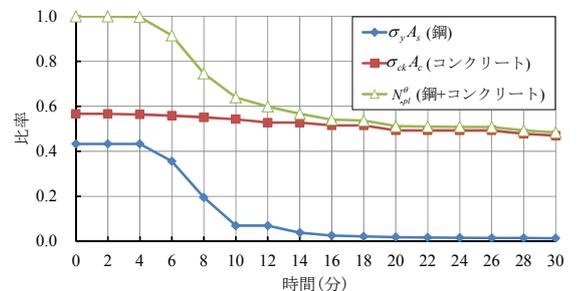


図-5 N_{pl}^θ の比率

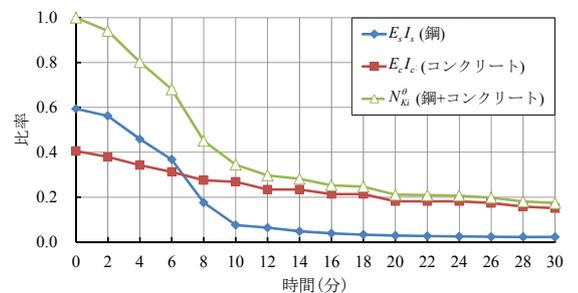


図-6 N_{Ki}^θ の比率