

## 高温時における合成桁の軸引張力と正曲げモーメントの相関

川田建設（株）正会員 ○ 柳澤 則文  
 大阪工業大学 正会員 大山 理  
 大阪工業大学 フェロー 栗田 章光

## 1. はじめに

火災時における橋梁の性能照査を行う場合、高温状態における終局耐力をより正確に評価するため、2種類以上の外力が同時に作用する場合の相関関係を把握しておくことが重要である。そこで、著者らは、高温時、合成桁に曲げモーメントとせん断力が同時に作用する場合の相関式を誘導し、火災事例に適用して落橋温度の推定を行ってきた<sup>1)</sup>。また、軸圧縮力と正曲げモーメントが同時に作用する場合の相関関係についてもすでに検討を行った<sup>2)</sup>。本文では、軸引張力と正曲げモーメントが同時に作用する場合の相関関係について検討を行った結果を報告する。

2. 高温時の  $N$ - $M$ （軸引張力と正曲げモーメント）相関式

相関式の誘導にあたり、次の3つの仮定を設ける。①高温時におけるコンクリートは強度低下を生じない。②鋼桁の温度は一様に上昇し、座屈は生じない。③鋼桁とコンクリート床版はズレが生じないものとする。また、高温時での鋼材の降伏強度の低下は Eurocode<sup>3)</sup>の低減係数（図-1）を用いて評価する。

## (1) 高温時の全塑性曲げモーメントと全塑性軸力

図-2 (a) に示すように、合成桁に正曲げモーメントのみが作用する場合、鋼桁およびコンクリート床版の軸方向力のつり合いより、塑性中立軸  $x'_\theta$  は式(1)より求められる。

$$x'_\theta = \frac{\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_s}{\sigma_c b_c} \quad \text{ただし, } \sigma_c = 0.85 \sigma_{ck} \quad (1)$$

よって、 $\theta^\circ\text{C}$ 時の全塑性曲げモーメント  $M_{pl}^\theta$  は次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{pl}^\theta = & \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_u (h_c - x'_\theta / 2 + t_{fu} / 2) \\ & + \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_w (h_c - x'_\theta / 2 + h_w / 2 + t_{fu}) \\ & + \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_l (h_c - x'_\theta / 2 + h_s - t_{fl} / 2) \end{aligned} \quad (2)$$

図-2 (b) より、全塑性軸力  $N_{pl}^\theta$  は次式で表される。

$$N_{pl}^\theta = \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_s + \sigma_c A_c \quad (3)$$

(2) 軸引張力が作用する  $\theta^\circ\text{C}$ 時の終局曲げモーメント

正曲げモーメントと軸引張力が作用する場合、図-3 (b) に (c) が加わることで、軸力  $N$  は次式で表される。

$$N = \sigma_c b_c h' \quad (4)$$

一方、軸引張力が作用する  $\theta^\circ\text{C}$ 時の全塑性曲げモーメント  $M$  は次式で表される。

$$M = M_{pl}^\theta - N^2 / 2 \sigma_c b_c - (d + t_{fu} + h_c - x'_\theta) N \quad (5)$$

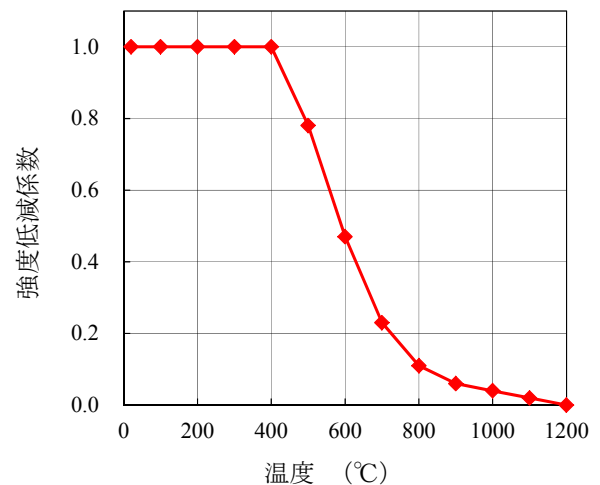


図-1 鋼材の降伏強度の低減係数<sup>3)</sup>

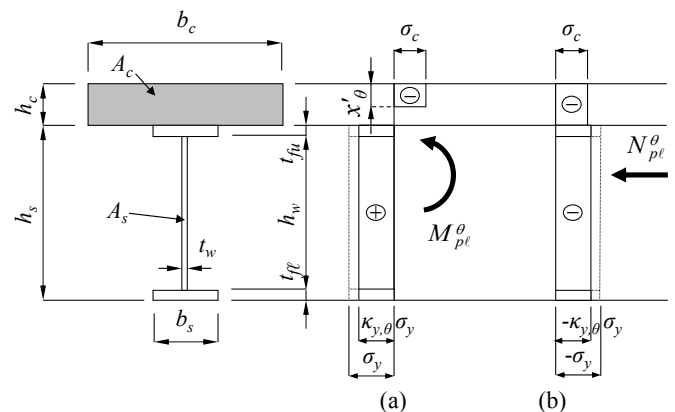


図-2 高温時の全塑性曲げモーメントと全塑性軸力

Key word : 火災, 高温, 合成桁, 軸引張力,  $N$ - $M$  相関

連絡先 〒114-8505 東京都北区滝野川 6 丁目 3 番 1 号 AK ビル TEL : (03)3915-5426, FAX : (03)3915-6126

よって、合成桁の受熱温度  $\theta$  °C 時において、軸引張力と正曲げモーメントが同時に作用する場合の相関式は、式(5)を式(2)で除すと、次式になる。

$$\lambda \left( \frac{N}{N_{pl}^\theta} \right)^2 + \beta \left( \frac{N}{N_{pl}^\theta} \right) + \frac{M}{M_{pl}^\theta} = 1$$

ここで、

$$\begin{aligned} \lambda &= N_{pl}^{\theta^2} / 2\sigma_c b_c M_{pl}^\theta \\ \beta &= (d + t_{fu} + h_c - x'_\theta) N_{pl}^\theta / M_{pl}^\theta \\ d &= \frac{\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_w h_w / 2 + \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_\ell (h_w + t_{fl} / 2)}{\kappa_{y,\theta} \sigma_y (A_u + A_w + A_\ell)} \\ &\quad - \frac{\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_u t_{fu} / 2}{\kappa_{y,\theta} \sigma_y (A_u + A_w + A_\ell)} \end{aligned}$$

### 3. 高温時における $N$ - $M$ (軸引張力と正曲げモーメント)

#### 相関の数値計算

##### (1) 計算条件

数値計算の対象とした合成桁の断面寸法と強度は表-1のとおりである。

##### (2) 計算結果

鋼桁の温度を 800°C まで 100°C ずつ上昇させた場合の  $N$ - $M$  相関の結果を図-4 に示す。なお、同図は、縦軸および横軸をそれぞれ常温時の全塑性軸力および全塑性曲げモーメントで除しているとともに、軸圧縮力と正曲げモーメントが同時に作用した場合の結果も示している。図-4 より、軸力の影響がない  $N/N_{pl} = 0$  のときの  $M/M_{pl}$  は 400°C 以下で 1.00, 500°C で 0.79, 600°C で 0.48, 700°C で 0.24, 800°C で 0.11 と高温になるほど低下している。軸引張力が作用すると、 $N/N_{pl} = 0$  のときと比べて  $M/M_{pl}$  はさらに低下し、高温になるほど小さな軸引張力の作用で  $M/M_{pl} = 0$  となり、軸引張力と正曲げモーメントの相関曲線で与えられる安全領域 (黄色および灰色着色部分) も高温になるほど狭くなる。例えば、800°C (黄色着色部分) の領域は、常温～400°C (灰色着色部分) と比べ約 88% 減少することがわかる。

#### 4. まとめ

本文では、高温時において合成桁断面に軸引張力と正曲げモーメントが同時に作用する場合の相関関係を検討した。その結果、合成桁が軸引張力を受ける場合、床版コンクリートは軸引張力の作用に対し抵抗しないことから、鋼桁のみが負担することとなり、鋼桁は温度上昇に伴い強度低下するため、 $M/M_{pl}$ 、すなわち、曲げ耐荷力は低下することが明らかとなった。以上より、軸引張力と正曲げモーメントが同時に作用する場合においても、本文に示した相関を考慮することで、火災時における終局耐力をより適切に評価することが可能になるものと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 柳澤, 今川, 大山, M. P. RUTNER, 栗田: 合成桁橋の火災時における耐力に関する一検討, 日本建築学会・土木学会共催, 第 10 回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム, pp.27-1～27-8, 2013.11.
- 2) 柳澤, 今川, 大山, 栗田: 高温時における合成桁の軸力と曲げの相関, 土木学会 第 69 回年次学術講演会 CS3-017, pp.33-34, 2014.9.
- 3) CEN: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures Part 1.2: Structural fire design, 2003.5.

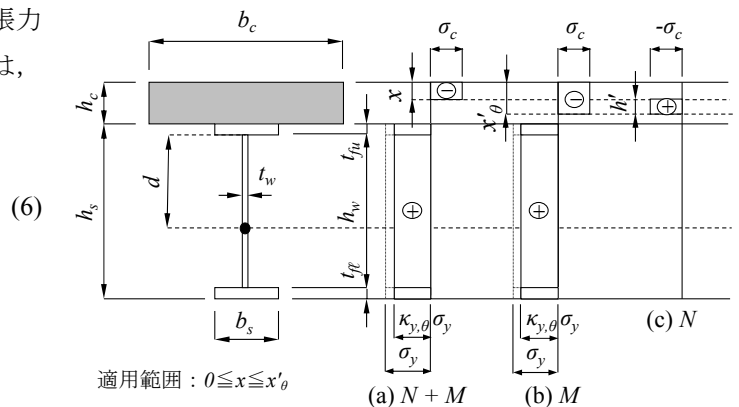


図-3 軸引張力が作用した場合の応力分布

表-1 対象とした断面の構成

| 鋼桁          |        |            |                       | コンクリート床版      |                      |
|-------------|--------|------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| $t_{fu}$    | 25 mm  | $h_s$      | 1850 mm               | $b_c$         | 2500 mm              |
| $t_w$       | 9 mm   | $h_w$      | 1800 mm               | $h_c$         | 240 mm               |
| $t_{f\ell}$ | 25 mm  | $\sigma_y$ | 235 N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_{ck}$ | 40 N/mm <sup>2</sup> |
| $b_s$       | 400 mm |            |                       |               |                      |

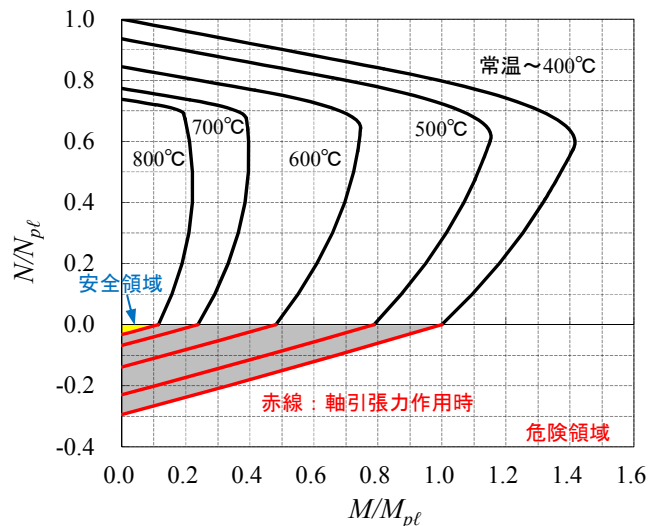


図-4 高温時における合成桁の  $N$ - $M$  相関