

高温時における合成桁の軸力と曲げの相関

川田建設(株) 正会員 ○ 柳澤 則文 (株) フジエンジニアリング 正会員 今川 雄亮
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

今年3月20日、首都高速3号渋谷線で橋桁の塗替え作業中に出火し、橋桁の変形により数日間通行止めが続いた。このように、近年、一般橋梁や高架橋が火害を受ける事例が数多く報告されている。火災時における橋梁の性能照査を行う場合、高温状態での終局耐力をより正確に評価する必要がある。その際、2種類以上の外力が同時に作用する場合、その相関関係を予め把握しておくことが重要である。著者らは、すでに、曲げとせん断が作用する高温時の相関式を誘導し、火害事例に適用して落橋温度の推定を行ってきた¹⁾。今回、ポータルラーメン橋や斜張橋のような軸力と曲げが同時に作用する場合について高温時の相関関係を検討した。本文では、その結果を報告する。

2. 高温時の N-M (軸力と曲げ) 相関式

相関式の誘導にあたり、次の2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、座屈しない。また、高温時での鋼材の降伏強度の低下は Eurocode²⁾の低減係数($\kappa_{y,\theta}$)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-1(a)に示すように、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力はつり合っている。このときの塑性中立軸 x'_θ 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}^θ は次式で表される。

$$M_{pl}^\theta = \kappa_{y,\theta} \sigma_y A_s (h_c - x'_\theta/2 + h_s/2) \quad (2)$$

一方、全塑性軸力 N_{pl}^θ 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) 軸力が作用する $\theta^\circ\text{C}$ 時の終局曲げモーメント

a) 塑性中立軸が床版内(図-2)に位置するとき

$$N = \sigma_c b_c h$$

$$\lambda_1 (N/N_{pl}^\theta)^2 - \beta_1 (N/N_{pl}^\theta) + M/M_{pl}^\theta = 1$$

ここで、 $\lambda_1 = N_{pl}^{\theta 2} / 2 \sigma_c b_c M_{pl}^\theta$

$$\beta_1 = (d_c + h_c/2 - x'_\theta) N_{pl}^\theta / M_{pl}^\theta$$

b) 塑性中立軸が上フランジ内(図-3)に位置するとき

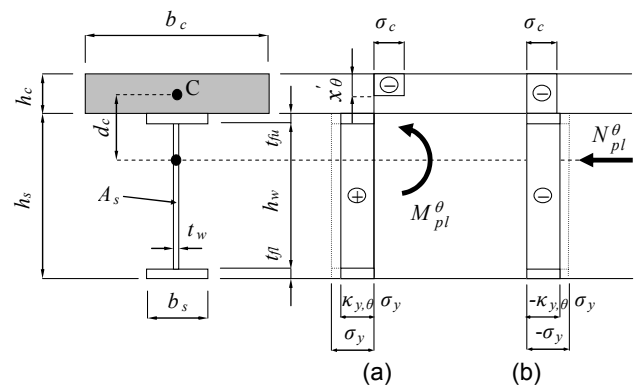
$$N = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) + 2 \kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s i$$

$$\lambda_2 (N/N_{pl}^\theta)^2 - \beta_2 (N/N_{pl}^\theta) - \gamma_2 + M/M_{pl}^\theta = 1$$

ここで、 $\lambda_2 = N_{pl}^{\theta 2} / 4 \kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s M_{pl}^\theta$

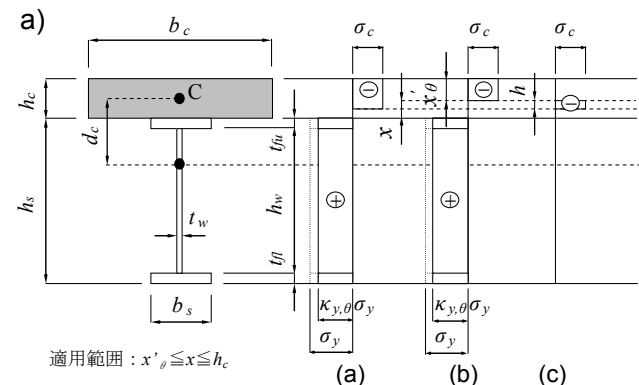
$$\beta_2 = \{ \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) / 2 \kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s + d_c - h_c/2 \} N_{pl}^\theta / M_{pl}^\theta$$

$$\gamma_2 = 1/2 \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta)^2 (1 - \sigma_c b_c / 2 \kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s) / M_{pl}^\theta$$



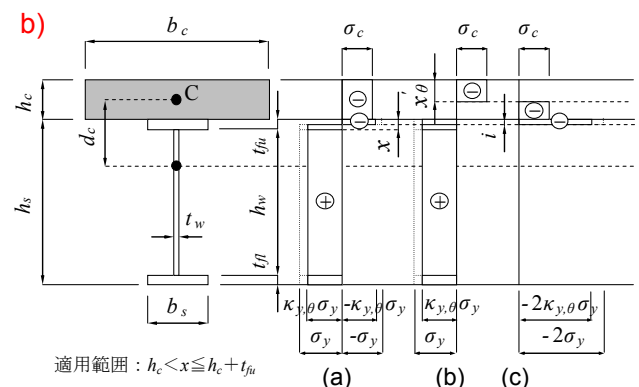
d_c : 軸力による終局曲げ耐力が0となる位置

図-1 高温時の全塑性曲げモーメントと全塑性軸力



適用範囲: $x'_\theta \leq x \leq h_c$

図-2 塑性中立軸が床版内に位置する場合の応力分布



適用範囲: $h_c < x \leq h_c + t_{fu}$

図-3 塑性中立軸が上フランジ内に位置する場合の応力分布

Key word: 火災, 高温, 合成桁, 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

c) 塑性中立軸がウェブ内 (図-4) に位置するとき

$$N = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y (A_u + t_w j) \quad (8)$$

$$\lambda_3 (N/N_{pl}^\theta)^2 - \beta_3 (N/N_{pl}^\theta) - \gamma_3 + M/M_{pl}^\theta = 1 \quad (9)$$

ここで, $\lambda_3 = N_{pl}^{\theta 2} / 4\kappa_{y,\theta} \sigma_y t_w M_{pl}^\theta$

$$\beta_3 = \{\eta / 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y t_w - (t_{fu} + h_c/2 - d_c)\} N_{pl}^\theta / M_{pl}^\theta$$

$$\gamma_3 = \gamma / M_{pl}^\theta$$

$$\eta = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_u$$

$$\gamma = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) (d_c - x'_\theta/2) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_u (d_c - h_c/2 - t_{fu}/2) + (t_{fu} + h_c/2 - d_c) \eta - \eta^2 / 4\kappa_{y,\theta} \sigma_y t_w$$

d) 塑性中立軸が下フランジ内 (図-5) に位置するとき

$$N = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y (A_u + A_w + b_s k) \quad (10)$$

$$\lambda_4 (N/N_{pl}^\theta)^2 - \beta_4 (N/N_{pl}^\theta) - \gamma_4 + M/M_{pl}^\theta = 1 \quad (11)$$

ここで, $\lambda_4 = N_{pl}^{\theta 2} / 4\kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s M_{pl}^\theta$

$$\beta_4 = \{\eta' / 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s - (h_w + t_{fu} + h_c/2 - d_c)\} N_{pl}^\theta / M_{pl}^\theta$$

$$\gamma_4 = \gamma' / M_{pl}^\theta$$

$$\eta' = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y (A_u + A_w)$$

$$\gamma' = \sigma_c b_c (h_c - x'_\theta) (d_c - x'_\theta/2) + 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_u (d_c - h_c/2 - t_{fu}/2) - 2\kappa_{y,\theta} \sigma_y A_w (h_w/2 + t_{fu} + h_c/2 - d_c) + (h_w + t_{fu} + h_c/2 - d_c) \eta' - \eta'^2 / 4\kappa_{y,\theta} \sigma_y b_s$$

3. 高温時における N-M (軸力と曲げ) 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℃まで 100℃ずつ上昇させた場合の N-M 相関の結果を図-6 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。図-6 より、軸力の影響がない $N/N_{pl} = 0$ のときの M/M_{pl} は 400℃以下で 1.0, 500℃で 0.79, 600℃で 0.48, 700℃で 0.21, 800℃で 0.11 と高温になるほど低下する。しかしながら、軸力が作用すると、 $N/N_{pl} = 0$ のときと比べ図-6 の着色した範囲で M/M_{pl} は上昇するが、その範囲は、高温になるほど狭くなることがわかる。

4. まとめ

本文では、高温時において合成桁断面に軸力と曲げが同時に作用する場合の相関関係を検討した。その結果、合成桁が軸力を受ける場合、床版コンクリートの有効断面が増大するため、 M/M_{pl} すなわち曲げ耐荷力は上昇することが明らかとなった。以上より、軸力と曲げが同時に作用するポータルラーメン橋や斜張橋のような構造では、本文に示した高温時の N-M 相関を考慮することで、火害を受けた場合の終局耐力を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荷力に関する一検討, 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) CEN: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures Part 1.2: Structural fire design, 2003.5.

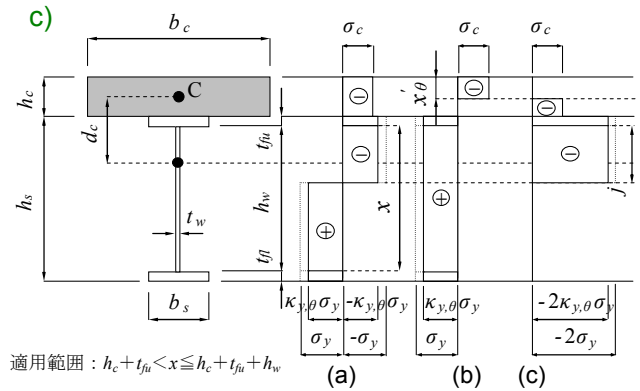


図-4 塑性中立軸がウェブ内に位置する場合の応力分布

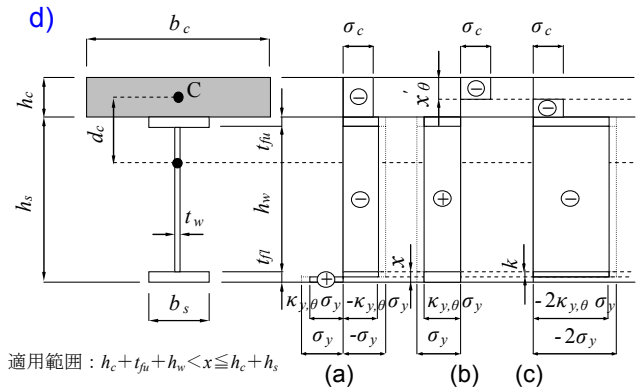


図-5 塑性中立軸が下フランジ内に位置する場合の応力分布

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_{fl}	25 mm	σ_y	235 N/mm ²	σ_{ck}	40 N/mm ²
b_s	400 mm				

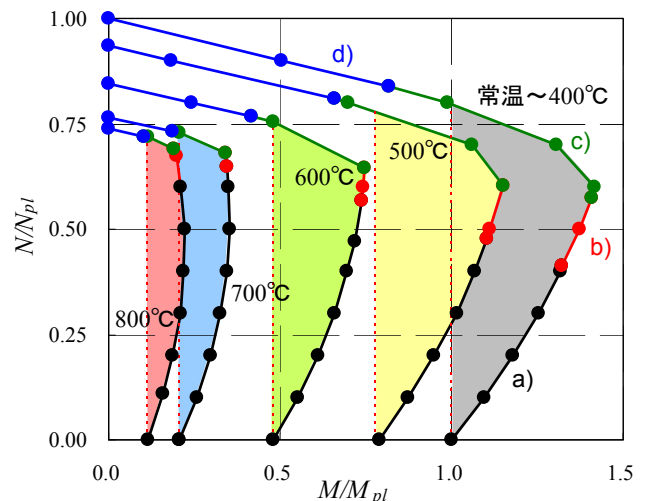


図-6 高温時における合成桁の N-M 相関

以上より、軸力と曲げが同時に作用するポータルラーメン橋や斜張橋のような構造では、本文に示した高温時の N-M 相関を考慮することで、火害を受けた場合の終局耐力を適切に評価することが可能になるものと考えられる。