

# PHƯƠNG PHÁP TÍNH TỔN HAO ỨNG SUẤT TRƯỚC DO TỪ BIẾN VÀ CO NGÓT CỦA BÊ TÔNG

ThS. HOÀNG QUANG NHU

Vụ Khoa học Công nghệ – Bộ Xây dựng

## 1. Mở đầu

Việc tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông là rất quan trọng khi thiết kế kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước. Tuy nhiên, bài toán tính toán chính xác các tổn hao này là bài toán phức tạp. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCXDVN 356-2005 được biên soạn dựa theo tiêu chuẩn Liên bang Nga đã đưa ra cách tính toán tổn hao ứng suất trước không sử dụng trực tiếp các thông số từ biến và co ngót của bê tông. Trong tiêu chuẩn, việc tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông được kể đến qua một số hệ số thể hiện sự tăng biến dạng của bê tông dưới tác động của tải trọng dài hạn.

Mục c Điều 4.3.4 của TCXDVN 356-2005 có qui định cho phép sử dụng phương pháp chính xác hơn để xác định tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông, nếu biết được loại xi măng, thành phần bê tông, điều kiện chế tạo và sử dụng của kết cấu.

Trong phạm vi bài báo này, tác giả giới thiệu một phương pháp tính chính xác [4], sử dụng các đặc trưng cơ bản của bê tông là độ bền, mô đun đàn hồi tại thời điểm tác động của tải trọng, độ từ biến của bê tông, biến dạng co ngót của bê tông để tính tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông.

## 2. Đặc trưng độ bền và biến dạng của bê tông

Trong tính toán sử dụng cấp bê tông theo độ bền nén  $B$  và giá trị tiêu chuẩn độ bền lăng trụ  $R_{bn}$  đảm bảo xác suất 0.95 cho bê tông tuổi 28 ngày. Giá trị mô đun đàn hồi  $E_b(t)$ , giá trị giới hạn độ từ biến  $C^N(\infty, 28)$  và biến dạng co ngót  $\varepsilon_s^N(\infty, 7)$  xác định bằng công thức (1), (3), (4) hoặc bảng 1, được lấy làm giá trị trung bình có độ đảm bảo 0,5.

Để tính toán ảnh hưởng của các yếu tố tải trọng và sử dụng bê tông khác với điều kiện chuẩn, nhân các giá trị bằng số của đặc trưng biến dạng  $E_b(t), C^N(\infty, 28), \varepsilon_s^N(\infty, 7)$  với hệ số hiệu chỉnh.

Giá trị mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông  $E_b(t)$ , khi biết trước thành phần hỗn hợp bê tông và các đặc trưng của chúng, được xác định theo công thức sau đây:

$$E_b(t) = \frac{[400.s.R_b^G(t)]}{[s.\rho_T + R_b^G(t)]} \quad (1)$$

Trong đó  $R_b^G(t)$  là giá trị độ bền nén khối lập phương của bê tông đảm bảo xác suất 0.95 ở tuổi  $t$ , MPa;  $\rho_T$  là tỷ trọng theo khối lượng xi măng trong hỗn hợp bê tông;  $S$  là thông số đặc trưng ảnh hưởng của tính chất đàn hồi của cốt liệu trong bê tông.

Để xác định giá trị độ bền lập phương  $R_b^G(t)$  hoặc độ bền lăng trụ  $R_{bn}(t)$  của bê tông ở thời điểm bất kỳ  $t$  trong điều kiện chuẩn được khuyến nghị theo công thức:

$$R_b^G(t) = \left\{ 1 + \left[ \frac{23}{(55+B)} \right] \left[ \frac{(t-28)}{(t+11)} \right] \right\} B; \quad (2a)$$

$$R_{bn}(t) = \left\{ 1 + \left[ \frac{23}{(55+B)} \right] \left[ \frac{(t-28)}{(t+11)} \right] \right\} R_{bn} \quad (2b)$$

Giá trị tiêu chuẩn độ bền lăng trụ  $R_{bn}$  được xác định theo công thức:

$$R_{bn} = [0,77 - 0,001B].B$$

trong đó  $B$  là cấp của bê tông theo độ bền nén, MPa.

Giá trị giới hạn độ từ biến của bê tông, chất tải ở tuổi  $t_0 \leq 28$  ngày, đông cứng trong điều kiện tự nhiên (khi biết trước đặc trưng thành phần hỗn hợp bê tông) được xác định theo công thức:

$$C^N(\infty, 28) = k_c \left[ \frac{(W + v)}{(B + 4, 0)} \right] \quad (3)$$

Trong đó  $W$  và  $v$  là tỷ trọng (theo thể tích) của nước và khí trong hỗn hợp bê tông, lít/m<sup>3</sup>;  $B$  là cấp bê tông theo độ bền nén, MPa;  $k_c$  là hệ số không thứ nguyên, lấy bằng  $15,5 \cdot 10^{-6}$  cho bê tông cốt liệu thô và bê tông cốt liệu nhỏ bằng đá thạch anh.

Giá trị giới hạn co ngót tương đối của bê tông sau khi đông cứng ở điều kiện dưỡng hộ ẩm trong thời gian  $t_w \leq 7$  ngày được tính theo công thức:

$$\varepsilon_s^N(\infty, 7) = k_s (W + v)^{3/2} \quad (4)$$

trong đó  $k_s$  là hệ số không thứ nguyên, bằng  $0,14 \cdot 10^{-6}$  với bê tông nặng và  $0,16 \cdot 10^{-6}$  với bê tông cốt liệu nhẹ.

Giá trị giới hạn  $C^N(\infty, 28)$ ;  $\varepsilon_s^N(\infty, 7)$  đối với bê tông cốt liệu thô khi không biết trước tính chất thành phần hỗn hợp bê tông lấy theo bảng 1.

**Bảng 1.** Giá trị giới hạn  $C^N(\infty, 28)$ ;  $\varepsilon_s^N(\infty, 7)$ .

| Tính linh động của hh BT |         | Giá trị $C^N(\infty, 28) \cdot 10^6, MPa^{-1}$ cho bê tông cấp |     |     |     |     |     |     | Giá trị $\varepsilon_s^N(\infty, 7) \cdot 10^6$ cho bê tông cấp |         |
|--------------------------|---------|----------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------------------------------------|---------|
| Độ sụt                   | Độ cứng | B12,5                                                          | B15 | B20 | B30 | B40 | B50 | B60 | B5-B20                                                          | B25-B60 |
| -                        | 80-60   | -                                                              | -   | -   | -   | 48  | 40  | 38  | -                                                               | 270     |
| -                        | 35-30   | -                                                              | -   | -   | 64  | 51  | 43  | 39  | 230                                                             | 300     |
| 1-2                      | 15-10   | 149                                                            | 128 | 102 | 74  | 59  | 50  | -   | 290                                                             | 330     |
| 5-6                      | -       | 163                                                            | 143 | 115 | 84  | 67  | -   | -   | 350                                                             | 400     |
| 9-10                     | -       | 184                                                            | 154 | 122 | 89  | 71  | -   | -   | 380                                                             | 430     |

Giá trị giới hạn của độ từ biến  $C(\infty, 28)$  và biến dạng co ngót tương đối  $\varepsilon_s(\infty, t_w)$ , sử dụng trong tính toán, được xác định theo công thức:

$$C(\infty, 28) = C^N(\infty, 28) \cdot \xi_{2c} \cdot \xi_{3c}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_s(\infty, t_w) = \varepsilon_s^N(\infty, 7) \cdot \xi_{1s} \cdot \xi_{2s} \cdot \xi_{3s} \quad (6)$$

Trong đó  $\xi_{ic}; \xi_{is}$  là các hệ số lấy theo bảng lập sẵn, phụ thuộc thời gian dưỡng hộ bê tông, độ ẩm môi trường và mô đun bề mặt mở của cấu kiện.

### 3 Điều kiện cần thiết ban đầu cho tính toán

Phương pháp tính toán kết cấu bê tông và bê tông cốt thép có kể đến ảnh hưởng từ biến và co ngót của bê tông dựa trên quan hệ giữa ứng suất và biến dạng. Biến dạng toàn phần lấy bằng tổng biến dạng co ngót, biến dạng tức thời và biến dạng từ biến là các thành phần phụ thuộc lẫn nhau. Biến dạng tức thời gắn liền với ứng suất tác động tại thời điểm đặt tải trọng. Áp dụng nguyên lý cộng tác dụng để xác định biến dạng từ biến.

Khi xác định chuyển vị và ứng suất trong cấu kiện bê tông cốt thép có kể đến thành phần biến dạng phi tuyến của bê tông được thực hiện bằng cách chia

$E_b(t)$  cho đại lượng  $[1 + v_k \eta(t_0) m_k]$  khi tải trọng ngắn hạn và nhân  $C(\infty, t_0)$  với đại lượng  $[1 + v_c \eta(t_0) m_c]$  khi tải trọng dài hạn.

Trong đó mức ứng suất tương đối:

$$\eta(t_0) = \frac{0,78 \sigma_b(t_0)}{R_{bn}(t_0)} \quad (7)$$

Với  $v_k, m_k, v_c, m_c$  là các thông số phi tuyến xác định theo bảng lập sẵn.

Biến dạng co ngót của bê tông tại thời điểm  $t$  tính theo công thức:

$$\varepsilon_s(t, t_w) = \varepsilon_s(\infty, t_w) \left[ 1 - e^{-\alpha_s(t-t_w)} \right] \quad (8)$$

Trong đó  $\varepsilon_s(\infty, t_w)$  là giá trị giới hạn của biến dạng co ngót tương đối kể từ thời điểm bê tông bắt đầu khô;  $\alpha_s$  là thông số, đặc trưng cho tốc độ gia tăng biến dạng co ngót theo thời gian và lấy phụ thuộc vào mô đun bề mặt mở của cấu kiện.

Độ từ biến của bê tông tại thời điểm  $t$  khi chất tải ở thời điểm  $t_0$  tính theo công thức:

$$C^*(t, t_0) = \left[ \frac{1}{E_b(t_0)} \right] - \left[ \frac{1}{E_b(t)} \right] + C(\infty, 28) \cdot \Omega(t_0) \cdot f(t - t_0) \quad (9)$$

Trong đó  $C(\infty, 28)$  là giá trị giới hạn độ từ biến;  $\Omega(t_0)$  là hàm số tính đến ảnh hưởng già của bê tông đến độ từ biến;  $f(t - t_0)$  là hàm xét đến sự gia tăng độ từ biến theo thời gian.

Đặc trưng từ biến của bê tông  $\varphi(t, t_0)$  là đại lượng:  $\varphi(t, t_0) = E_b(t_0) \cdot C^*(t, t_0)$  (10)

Khi tính toán tổn hao ứng suất trước, xác định đường cong và các tính toán khác cho phép xác định đặc trưng từ biến theo công thức:

$$\varphi(t, t_0) = E_b \cdot C(t, t_0) \quad (11)$$

Trong đó  $C(t, t_0)$  được tính toán theo công thức 10, với sự chấp nhận:

$$\left[ \frac{1}{E_b(t_0)} - \frac{1}{E_b(t)} \right] = 0$$

tức là  $C(t, t_0) = C(\infty, 28) \cdot \Omega(t_0) \cdot f(t - t_0)$

$E_b$  là mô đun đàn hồi của bê tông tuổi 28 ngày.

Giá trị giới hạn của đặc trưng từ biến tính theo công thức:

$$\varphi(t_0) = E_b \cdot C(\infty, t_0) = \varphi \cdot \Omega(t_0) \quad (12)$$

Trong đó:  $\varphi = E_b \cdot C(\infty, 28)$  (13)

Hệ số tắt dần  $H^*(t, t_0)$  tính đến sự thay đổi lực do từ biến của bê tông, khi  $t_0 \geq 28$  ngày tính theo các công thức bảng 2. Theo các công thức này sự thay đổi ứng suất trước từ  $t_0$  đến  $t_1$  được tính toán thông qua hệ số  $H^*(t, t_1)$ . Nếu  $t_0 < 28$  ngày phải tính theo tuổi chịu tải qui đổi.

**Bảng 2.** Công thức tính hệ số tắt dần  $H^*(t, t_0)$ .

| $t = t_0$                                                                        | $t \rightarrow \infty$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $t > t_0$                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3                                                                                                                            |
| $H^*(t, t_0) = \bar{v}(t_0)$<br>$\bar{v}(t_0) = \frac{1}{[1 + 0,2\varphi(t_0)]}$ | $H^*(\infty, t_0) = \bar{v}(t_0) \left\{ \frac{1 - 0,8\varphi(t_0) \cdot \bar{v}(t_0) \cdot F(t_0)}{[(1 + 0,5\varphi) \cdot \bar{v}(\infty)]} \right\}$<br>$\bar{v}(\infty) = \frac{1}{(1 + 0,1\varphi)}$ ;<br>$F(t_0) = 1 + L_1 \xi(t_0) + L_1 L_2 [\xi(t_0)]^2 + \dots$ ;<br>$L_i = \frac{[0,4i - 0,8\bar{v}(\infty)]}{[1 + 2 \cdot i + 0,4 \cdot \varphi \cdot \bar{v}(\infty)]}$ ; $i = 1, 2, 3 \dots$<br>$\xi(t_0) = \bar{v}(t_0) \cdot d \cdot \varphi \cdot e^{-\gamma(t_0)}$ | $H^*(t, t_0) = H^*(\infty, t_0) + [v(t_0) - H^*(\infty, t_0)]^* \cdot e^{-r(t-t_0)}$<br>$r = \gamma_1 [1 + 0,5\bar{v}(t_0)]$ |

#### 4. Xác định tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông

Khi xác định tổn hao ứng suất trước do từ biến của bê tông, mức ứng suất tương đối trong bê tông xác định theo quan hệ với giá trị độ bền lằng trụ.

a) Cấu kiện có tiết diện có một trục đối xứng, cốt thép ứng suất trước đơn hoặc kép đối xứng; giá trị giới hạn tổn hao ứng suất trước do từ biến của bê tông  $\sigma_{1c}$  xác định theo công thức:

$$\sigma_{1c} = \left( \frac{\sigma_b}{\mu_p \rho_1} \right) L \quad (14)$$

Hệ số  $L$  xác định theo công thức sau:

+ Khi căng cốt thép trên bệ:

$$L = 1 - H_b^*(\infty, t_0) \quad (15)$$

+ Khi căng cốt thép trên bê tông:  $L = 1 - H_b^*(\infty, t_0) [1 + 0, 2\varphi_s(t_0)]$  (16)

Trong đó  $H_b^*(\infty, t_0)$  được tính theo công thức trên bảng 2, thay thế  $\varphi, \varphi(t_0)$  tương ứng bằng  $\varphi_s, \varphi_s(t_0)$ ;  $\varphi_s, \varphi_s(t_0)$  được tính theo công thức:

$$\varphi_s = \bar{\lambda} \varphi; \quad \varphi_s(t_0) = \bar{\lambda} \varphi(t_0) \quad (17)$$

Xác định  $\bar{\lambda}$  theo công thức:

$$\bar{\lambda} = \frac{\mu_p \rho_1 \alpha}{(1 + \mu_p \rho_1 \alpha)} \quad (18)$$

Khi xác định tổn hao ứng suất trước trong khoảng thời gian  $t - t_0$  giá trị hệ số  $L$  được xác định theo biểu thức sau:

+ Khi căng cốt thép trên bệ:

$$L = 1 - H_b^*(t, t_0) \quad (19)$$

+ Khi căng cốt thép trên bê tông:

$$L = 1 - H_b^*(t, t_0) [1 + 0, 2\varphi_s(t_0)] \quad (20)$$

Trong đó  $H_b^*(t, t_0)$  được tính theo công thức của bảng 2 (cột 3) thay thế  $\varphi, \varphi(t_0)$  bằng  $\varphi_s, \varphi_s(t_0)$ .

Khi  $t \geq 28$  ngày giá trị  $L$  có thể xác định theo bảng. Để làm điều này cần tính trước giá trị  $\varphi_s(t, 28)$  theo công thức:

$$\varphi_s(t, 28) = \bar{\lambda} E_b(28) C^*(t, 28) \quad (21)$$

Trong đó  $C^*(t, 28)$  được xác định theo công thức (10), giả định rằng  $E_b(t) = E_b(t_0) = E_b(28)$ . Sau đó theo bảng lấy  $\varphi_s(t, 28)$  thay  $\varphi_s$ , xác định giá trị  $H_b^*(\infty, t_0)$  và tính  $L$  theo công thức:

+ Khi căng cốt thép trên bệ:

$$L = [1 - 0, 2\varphi_s(t, 28)] [1 - H_b^*(\infty, t_0)] \quad (22)$$

+ Khi căng cốt thép trên bê tông:

$$L = 1 - \{1 - [1 - 0, 2\varphi_s(t, 28)] [1 - H_b^*(\infty, t_0)]\} [1 + 0, 2\varphi_s(t_0)] \quad (23)$$

Để tính toán thành phần phi tuyến của biến dạng từ biến, đại lượng  $\varphi$  tính theo công thức (17) cần nhân với hệ số:

$$f_e = 1 + \nu_c [\eta(t_0)] m_c \quad (24)$$

$$\text{trong đó: } \eta(t_0) = 0,78 \frac{\sigma_b}{R_{bn}(t_0)} \quad (25)$$

Giá trị  $v_c$ ,  $m_c$  lấy theo bảng lập sẵn phụ thuộc vào cấp bê tông.

Khi xác định hao tổn ứng suất trước có kể đến thành phần phi tuyến của từ biến sẽ đưa vào tính toán ảnh hưởng của giảm ứng suất trong bê tông đến biến dạng từ biến của nó. Lúc đó hệ số  $\varphi$  được nhân với hệ số  $k_\sigma$ , tính theo công thức:

$$k_\sigma = [1,6 - \eta(t_0)] + [0,4k_t - \eta(t_0)] \cdot \varphi_s \quad (26)$$

và lấy không lớn hơn 1.

Ở đây  $k_t = 1,5$  khi  $t_0 \leq 7$  ngày;  $k_t = 1,0$  khi  $t_0 \geq 28$  ngày; trong khoảng giữa thì  $k_t$  được nội suy tuyến tính.

Khi xác định tổn hao ứng suất trước cho khoảng thời gian  $t - t_0$  giá trị  $\varphi_s$  trong công thức (26) sẽ thay thế bằng  $\varphi_s(t, 28)$  được tính toán theo công thức (21).

Khi có cốt thép không ứng lực trước trong tiết diện thì cho phép tính toán ảnh hưởng của nó tới tổn hao ứng suất trước bằng cách sử dụng thay thế  $\varphi_s$  bằng đặc trưng từ biến  $\varphi_{bs}$  qui đổi, được tính bằng công thức:

$$\varphi_{bs} = \frac{L}{(\mu \rho_2 \alpha)} \quad (27)$$

Trong đó  $\mu = A_s / A$ ;  $\alpha = E_s / E_b$ ;  $L$  được tính như cấu kiện chỉ có cốt thép không ứng suất trước;  $\rho_2$  xác định theo bảng lập sẵn.

b) Cấu kiện có tiết diện có một trục đối xứng, cốt thép ứng suất trước kép không đối xứng; giá trị giới hạn (khi  $t \rightarrow \infty$ ) tổn hao ứng suất trước do từ biến của bê tông  $\sigma_{1c}, \sigma'_{1c}$  trong cốt thép  $S, S'$  được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \sigma_{1c} &= v \left[ \sigma_b (L - L') + \rho_1 \omega (\sigma_b - \beta' \sigma'_b) \left( \frac{L'}{\rho_2} - \frac{L}{\rho_1} \right) \right], \\ \sigma'_{1c} &= v \left[ \sigma'_b (L - L') + \rho_1 \omega (\sigma'_b - \beta' \sigma_b) \left( \frac{L'}{\rho_2} - \frac{L}{\rho_1} \right) \right], \end{aligned} \quad (28)$$

Trong đó:

$$\bar{\rho}_{1,2} = 0,5 \rho_1 \left[ (1 + \omega) \pm \sqrt{(1 - \omega)^2 + 4\omega\beta\beta'} \right]$$

$$v = \frac{1}{\left[ \mu_p (\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2) \right]}; \quad \omega = \frac{\rho_2 \mu'_p}{\rho_1 \mu_p};$$

$$\beta = \rho_{12} / \rho_1; \quad \beta' = \rho_{12} / \rho_2$$

Đại lượng  $L$  và  $L'$  trong công thức (28) được xác định theo mục a, đồng thời để tìm  $L'$  trong các công thức (15), (16), (19), (20), (22) và (23) cần thay thế  $\bar{\lambda}, \varphi_s, \varphi_s(t_0), H_b^*(\infty, t_0)$  tương ứng bằng các đại lượng  $\bar{\lambda}', \varphi'_s, \varphi'_s(t_0), H_b^*(\infty, t_0)$ .

Giá trị  $\bar{\lambda}, \bar{\lambda}'$  cần cho xác định  $L$  và  $L'$  được tính theo công thức:

$$\bar{\lambda} = \frac{\mu_p \bar{\rho}_1 \alpha}{(1 + \mu_p \bar{\rho}_1 \alpha)}; \quad \bar{\lambda}' = \frac{\mu_p \bar{\rho}_2 \alpha}{(1 + \mu_p \bar{\rho}_2 \alpha)} \quad (29)$$

Giá trị  $\sigma_{1c}$  tính theo công thức (14); còn  $\sigma'_{1c}$  tính theo công thức này nhưng thay thế  $\sigma_b, \mu_p, \rho_1, L$  bằng  $\sigma'_b, \mu'_p, \rho_2, L'$ .

Giá trị tổn hao ứng suất trước  $\sigma_{1c}, \sigma'_{1c}$  xảy ra trong khoảng thời gian  $t-t_0$  được xác định bằng công thức (28). Lúc đó ngoài  $H_b^*(\infty, t_0)$  cũng cần xác định  $H_b^*(\infty, t_0)$ .

Trong trường hợp khi ứng lực trước được truyền một phần lên cấu kiện ở tuổi  $t_0$ , phần còn lại và tải trọng dài hạn đặt ở tuổi  $t_1 > t_0$ , các tổn hao  $\sigma_{1c}(t_0), \sigma'_{1c}(t_0)$  và  $\sigma_{1c}(t_1), \sigma'_{1c}(t_1)$  tính riêng, sau đó cộng đại số. Khi tính  $\sigma_{1c}(t_1), \sigma'_{1c}(t_1)$  không tính đến thành phần biến dạng từ biến phi tuyến.

Giá trị giới hạn ( $t \rightarrow \infty$ ) hao tổn ứng suất trước trong cốt thép  $S, S'$  phát sinh do co ngót của bê tông được tính theo công thức:

$$\sigma_{1s} = \left[ \frac{\bar{\lambda} \cdot E_b \cdot \varepsilon_s(\infty, t_w)}{\mu_p \cdot \rho_1} \right] L_s; \sigma'_{1s} = \left[ \frac{\lambda' \cdot E_b \cdot \varepsilon_s(\infty, t_w)}{\mu_p' \cdot \rho_2} \right] L'_s \quad (30)$$

Giá trị  $\varepsilon_s(\infty, t_w)$  xác định theo công thức (6),  $\bar{\lambda}$  theo công thức (18),  $\lambda'$  cũng theo (18) nhưng thay  $\mu_p, \rho_1$  bằng  $\mu_p', \rho_2$ . Hệ số  $L_s$  tính theo công thức:

$$L_s = \frac{\left[ 208 + 3,7(14,3 - 0,1t_w)^2 \right]}{\left\{ 1000 + \varphi_s \left[ 263 + 4,5(9 - 0,1t_0)^2 \right] \right\}} \quad (31)$$

Để xác định  $L'_s$  trong (31) tính  $\varphi'_s$  trong công thức (30), (31) lấy  $t_w = t_0$ . Khi xác định hao tổn ứng suất trước  $\sigma_{1s}, \sigma'_{1s}$  ở cuối khoảng thời gian  $t-t_0$  cần nhân hệ số  $L_s, L'_s$  với đại lượng:

$$q_s = 1 - e^{-\alpha_s(t-t_0)} \quad (32)$$

$\alpha_s$  xác định theo bảng phụ thuộc mô đun bề mặt mở của cấu kiện.

**Ví dụ:** Xác định tổn hao ứng suất trước trong cấu kiện Bê tông cốt thép có cốt thép đối xứng: Cho cấu kiện thanh cánh dưới của dầm, tiết diện chữ nhật  $h=0,30$  m;  $b=0,22$  m. Bê tông nặng, cấp B40, độ sụt 1-2 cm; cốt thép ứng suất trước loại K-7,  $E_s = 1,8 \cdot 10^5 MPa$ ;  $A_s = 17,7 \cdot 10^{-4} m^2$ . Thép thường loại AIII  $E_s = 2,0 \cdot 10^5 MPa$ ;  $A_s = 8,04 \cdot 10^{-4} m^2$ .

Tất cả cốt thép phân bố đối xứng với trục trọng tâm của tiết diện. Căng cốt thép trên bề. Độ bền của bê tông khi truyền ứng lực trước  $R_{bp} = 30 MPa$ . Ứng suất trước trong cốt thép thời điểm kết thúc nén  $\sigma_p = 938 MPa$ . Độ ẩm không khí 70%. Lực kéo 1200 MN;  $t=90$  ngày. Tính tổn hao ứng suất trước do co ngót và từ biến.

### Tính toán:

Độ từ biến và biến dạng co ngót tương đối:

$$C(\infty, 28) = 39,0 \cdot 10^{-6} MPa^{-1}$$

$$\varepsilon_s(\infty, t_w) = 214 \cdot 10^{-6}$$

Đặc trưng từ biến giới hạn:  $\varphi = 1,264$

Xác định  $H_B^*(\infty, 28) = 0,9112$  từ đó tính được:  $L = 1 - 0,9112 = 0,0888$

Tính toán đặc trưng từ biến giới hạn của bê tông:  $\varphi_{bs} = 1,1809$ , tìm được:  $H_B^*(\infty, 7) = 0,8263$

$$L = 1 - 0,8263 = 0,1737$$

Tổn hao ứng suất trước do từ biến do tác động lực nén trước:  $\sigma_{1c} = 137,47 MPa$

Tổn hao ứng suất trước do co ngót:

$$L_s = 0,8379; \sigma_{1s} = 28,1335 MPa$$

Để tính tổn hao ứng suất do tải trọng sử dụng:

Cho:  $\varphi = 1,2647$ ;  $\varphi_s = 0,1531$ ;  $t_0 = 97$  ngày.

Tra bảng được hệ số tắt dần  $H_B^*(\infty, 97) = 0,8957$ . Tính  $L = 1 - 0,8957 = 0,1043$ , từ đó theo công thức (26):  $\sigma_{1c} = -56,7816 \text{ MPa}$

Khi  $t \rightarrow \infty$  tổng giá trị tổn hao ứng suất trước là:

$$\sigma_1 = 137,4726 + 28,1335 - 56,7816 = 108,8244 \text{ MPa}$$

+ Xác định tổn hao xảy ra trong thời gian 90 ngày:

$$C^*(97, 28) = 16,131 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}$$

$$\varphi_s(90, 28) = 0,06777$$

Tra bảng được  $H_B^*(\infty, 7) = 0,9148$ ;  $L = 0,0840$ ;  $\sigma_{1c} = 66,4893 \text{ MPa}$

Xác định tổn hao do co ngót của bê tông theo thời gian:

$$\alpha_s = 0,006; \quad q_s = 1 - e^{-0,006 \cdot 90} = 0,417$$

Tìm được giá trị giới hạn  $\sigma_{1s} = 28,1335 \text{ MPa}$

Tại thời điểm 90 ngày:

$$\sigma_{1s} = 28,1335 \cdot 0,417 = 11,7387 \text{ MPa}$$

Tổng tổn hao trong khoảng thời gian  $t - t_0 = 90$  ngày:

$$\sigma_1 = 66,4893 + 11,7387 = 78,228 \text{ MPa}$$

Tổng tổn hao này tính theo TCXDVN 356:2005 là: **133,59 MPa**.

## 5. Kết luận

- Tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông theo hướng dẫn của tiêu chuẩn thiết kế và theo phương pháp trực tiếp sử dụng các thông số đặc trưng biến dạng của bê tông dẫn đến các kết quả khác nhau khá nhiều.
- Có thể áp dụng phương pháp giới thiệu trong bài báo để tính toán tổn hao ứng suất trước do từ biến và co ngót của bê tông khi thiết kế các kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước có yêu cầu tính chính xác cao. Việc áp dụng phương pháp này rất thuận tiện vì nó đồng bộ với tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCXDVN 356:2005 hiện hành.
- Cần tiến hành nghiên cứu cả về lý thuyết và thực nghiệm về từ biến và co ngót của bê tông trong điều kiện Việt Nam để lựa chọn áp dụng phương pháp tính toán phù hợp, cho kết quả tin cậy trong tính toán thiết kế kết cấu bê tông cốt thép có kể đến ảnh hưởng của từ biến và co ngót.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- HOÀNG QUANG NHU. Tính toán hệ thanh bê tông cốt thép có kể đến ảnh hưởng từ biến của bê tông. *Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, trường Đại học Xây dựng, Hà Nội, 1998*.
- TCXDVN 356:2005 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế. *NXB Xây dựng, Hà Nội, 2005*.
- ACI SP-227: Shrinkage and Creep of Concrete. Advancing concrete knowledge, *Michigan, April, 2005*.
- Рекомендации по учёту ползучести и усадки бетона при Расчёте железобетонных конструкций. *НИИЖБ, Москва Стройиздат 1988*.
- Бетоны – Методы определения деформаций усадки и ползучести. *ГОСТ 24544-84*.
- Я.Д ЛИВШИЦ. Расчёт железобетонных конструкций с учётом влияния усадки и ползучести бетона. *Издательское Объединение "Высшая школа", Головное издательство, 1976*.
- И.И УЛИЦКИЙ. Теория и Расчёт. Железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. *Издательство "Будівельник" Києв, 1967*.
- СНИП 2.03.01-84\* бетон и Железобетонные конструкций. ЦПП, Москва 1988.