



NGHIÊN CỨU ĐỘ VỒNG DÀI HẠN CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

Đinh Văn Tùng¹, Phạm Quang Đạo¹

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp tính toán độ võng của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều có kể đến hiện tượng từ biến và co ngót của bê tông. Kết quả tính toán được kiểm chứng thông qua số liệu thu thập được từ thí nghiệm xác định độ võng của một dầm bê tông cốt thép đơn giản chịu tải trọng phân bố tác dụng dài hạn.

Từ khóa: Bê tông cốt thép; co ngót; độ võng dài hạn; từ biến.

Summary: This paper presents a method for calculating deflection of reinforced concrete beams with rectangular sections under the effect of distributed load including the shrinkage and creep phenomenon of concrete. The results are verified through collected data of the experiment identifying the deflection of reinforced concrete simple beam under the effect of the long-term distributed load.

Key words: Reinforced concrete; shrinkage; long-term deflection; creep.

Nhận ngày 29/10/2014, chỉnh sửa ngày 15/11/2014, chấp nhận đăng 31/3/2015



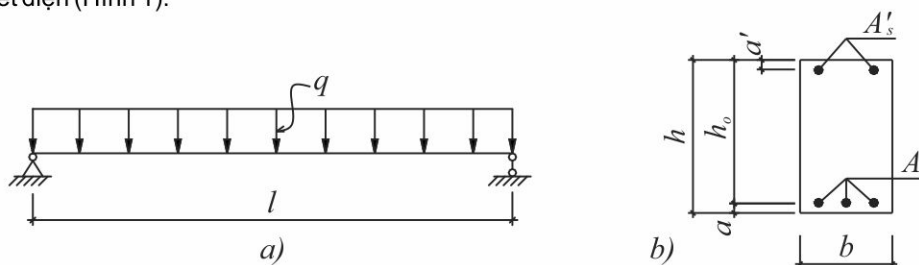
1. Đặt vấn đề

Trong thực tế ngành xây dựng ở Việt Nam hiện nay, việc tính toán biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép là một vấn đề khá phức tạp đặc biệt là khi có kể đến ảnh hưởng của yếu tố thời gian. Có khá nhiều phương pháp tính toán khác nhau được sử dụng để tính toán độ võng dài hạn của dầm bê tông cốt thép như lý thuyết giả cải tiến và các tiêu chuẩn. Tuy nhiên, những nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng sự đúng đắn của các lý thuyết này còn rất hạn chế đặc biệt là trong điều kiện nghiên cứu ở Việt Nam. Vì vậy, trong bài báo này, tác giả giới thiệu một phương pháp tính toán dựa trên lý thuyết giả cải tiến [2] để xác định độ võng dài hạn của một dầm đơn giản bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng phân bố. Bên cạnh đó, thí nghiệm được thực hiện để kiểm chứng kết quả tính toán cũng được trình bày.



2. Phương pháp tính toán độ võng dài hạn theo lý thuyết giả cải tiến

Nghiên cứu một dầm đơn giản bê tông cốt thép nhịp I, tiết diện chữ nhật ($b \times h$) chịu tác dụng của tải trọng dài hạn phân bố đều q . Cốt thép chịu kéo A_s bố trí ở thớ dưới và cốt thép chịu nén A'_s bố trí ở thớ trên của tiết diện (Hình 1).



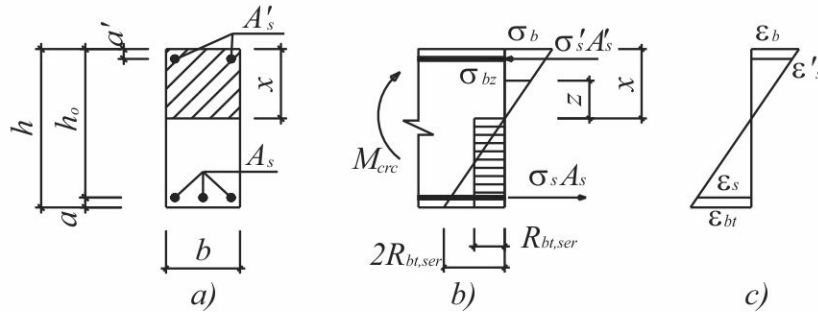
Hình 1. Dầm đơn giản nghiên cứu
a) Sơ đồ tính b) Tiết diện ngang

¹ThS, Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: tungnhnd@gmail.com

2.1 Mô men kháng nứt M_{crc} của tiết diện dầm [3], [4]

Khi tính toán mô men kháng nứt của tiết diện, sử dụng các giả thiết: Tiết diện được coi là phẳng trước và sau khi biến dạng. Độ giãn dài tương đối lớn nhất của thớ bê tông chịu kéo ngoài cùng bằng $\frac{2R_{bt,ser}}{E_b}$, ứng suất trong bê tông vùng kéo phân bố đều và có giá trị $R_{bt,ser}$. Ứng suất bê tông vùng nén có dạng hình tam giác [4].

Sơ đồ ứng suất biến dạng trên tiết diện thẳng góc khi bê tông sắp nứt như Hình 2:



Hình 2. Sơ đồ ứng suất để tính M_{crc}

a) Tiết diện ngang; b) Sơ đồ ứng suất; c) Sơ đồ biến dạng

Chiều cao vùng nén x và mô men kháng nứt M_{crc} của dầm [4]:

$$x = \frac{\frac{bh^2}{2} + n(A'_s a' + A_s h_0)}{n(A_s + A'_s) + bh} \quad (1) \quad \text{và} \quad M_{crc} = R_{bt,ser} \left[\frac{2(I_{b0} + nI_{s0} + nI_{s'0})}{h-x} + S_{b0} \right] \quad (2)$$

trong đó: $n = \frac{E_s}{E_b}$; I_{b0} ; I_{s0} ; $I_{s'0}$ lần lượt là mô men quán tính đối với trục trung hòa của diện tích vùng bê tông chịu nén, diện tích cốt thép chịu kéo và chịu nén.

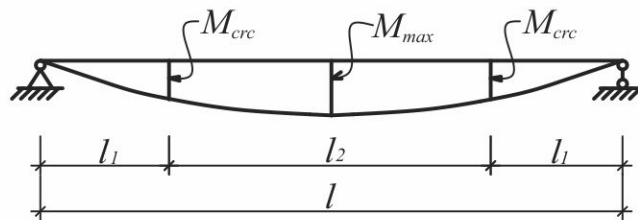
S_{b0} : mômen tĩnh đối với trục trung hòa của diện tích vùng bê tông chịu kéo.

$$I_{b0} = \frac{bx^3}{3}; \quad I_{s0} = A_s(h_0 - x)^2; \quad I_{s'0} = A'_s(x - a')^2; \quad S_{b0} = \frac{b(h-x)^2}{2}; \quad (3)$$

2.2 Chiều dài đoạn dầm bị nứt và không bị nứt [1]

Khi mômen do ngoại lực $M > M_{crc}$ thì bê tông vùng kéo của dầm sẽ bị nứt. Chiều dài đoạn dầm không bị nứt là l_1 và đoạn dầm bị nứt l_2 (Hình 3) xác định như sau:

$$l_1 = \frac{ql - \sqrt{q^2 l^2 - 8qM_{crc}}}{2q}; \quad l_2 = l - 2l_1 \quad (4)$$



Hình 3. Đoạn dầm không bị nứt l_1 và bị nứt l_2

2.3 Độ cong của dầm do hiện tượng từ biến [1], [2]

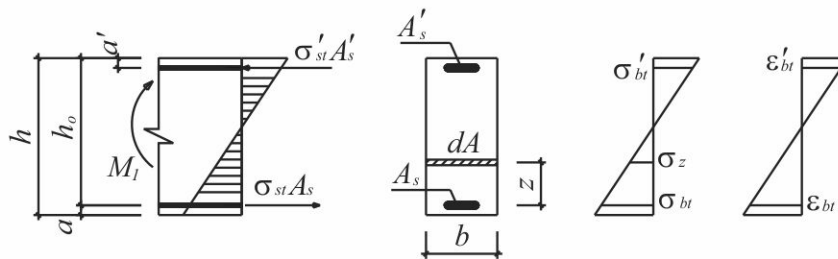
Để xác định độ cong trên đoạn dầm không bị nứt và bị nứt, sử dụng giá trị mô men:

$$\text{Đoạn dầm không bị nứt, sử dụng giá trị: } M_1 = \frac{qll_1}{4} - \frac{ql_1^2}{6} \quad (5)$$

$$\text{Đoạn dầm bị nứt, sử dụng giá trị: } M_2 = \frac{ql^3 - 6qll_1^2 + 4ql_1^3}{12l_2} \quad (6)$$

a) Đoạn dầm không bị nứt [1]

Trong tính toán, sử dụng các giả thiết: Tiết diện được coi là phẳng trước và sau khi biến dạng; biểu đồ ứng suất trong bê tông có dạng bậc 1 [2]. Sơ đồ ứng suất biến dạng như Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ ứng suất và biến dạng trong tiết diện dầm không bị nứt

Ký hiệu $\sigma_{bt}, \sigma'_{bt}, \epsilon_{bt}, \epsilon'_{bt}$ lần lượt là ứng suất và biến dạng toàn phần của thớ bê tông ở trọng tâm cốt thép A_s, A'_s tại thời điểm t. Độ cong của đoạn dầm không bị nứt ở thời điểm t:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_t = \frac{k_1(\eta - \eta') + k_2(\eta_t - \eta'_t)}{(h_0 - a')E_b} M_t \quad (7)$$

trong đó: $\eta_t = \frac{\delta m_1 - \beta m_3}{\beta m_2 - \gamma m_1}; \quad \eta'_t = \frac{\gamma m_3 - \delta m_2}{\beta m_2 - \gamma m_1}$ (8)

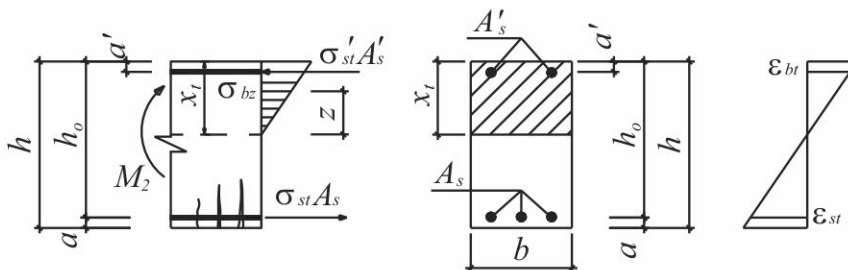
$$\begin{cases} \gamma = -\left[\frac{S}{F} - (h_0 - a')(nk_2\mu + 1)\right]; & \beta = \frac{S}{F} + (h_0 - a')(nk_2\mu'); \\ \delta = (h_0 - a')(nk_1)(\eta\mu + \eta'\mu'); & m_1 = \frac{I}{F} + (h_0 - a')^2(nk_2\mu'); \\ m_2 = -\left[\frac{I}{F} - (h_0 - a')\frac{S}{F}\right]; & m_3 = (h_0 - a')\left(nk_1\eta'\mu'(h_0 - a') + \frac{1}{F}\right); \end{cases} \quad (9)$$

Với tiết diện chữ nhật các đặc trưng được xác định như sau [1]:

$$\begin{cases} x = \frac{(n-1)(A_s h_0 + A'_s a') + bh^2/2}{(n-1)(A_s + A'_s) + bh}; & \eta = \frac{h_0 - x}{I_{bq}}; & \eta' = -\frac{x - a'}{I_{bq}} \\ I = \frac{bh_0^3}{3}; & S = \frac{bh_0^2}{2}; & F = bh_0; & \mu = \frac{A_s}{bh_0}; & \mu' = \frac{A'_s}{bh_0}; \\ I_{bq} = \frac{bh^3}{12} + bh\left(x - \frac{h}{2}\right)^2 + (n-1)\left[A_s(h_0 - x)^2 + A'_s(x - a')^2\right]; \end{cases} \quad (10)$$

b) Đoạn dầm có xuất hiện vết nứt [1]

Trong tính toán, sử dụng thêm các giả thiết: biểu đồ ứng suất trong bê tông vùng nén có dạng tam giác; bỏ qua sự làm việc của bê tông vùng kéo ở tiết diện nứt; kể đến sự làm việc của bê tông chịu kéo giữa 2 khe nứt (V.I. Murasev) [2]. Sơ đồ ứng suất biến dạng như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ ứng suất và biến dạng trong tiết diện dầm bị nứt

Chiều cao bê tông vùng nén x_t ở thời điểm t được xác định theo phương trình:

$$a_1 x_t^4 + a_2 x_t^3 + a_3 x_t^2 + a_4 x_t + a_5 = 0 \quad (11)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{(A+B)}{6h_0}; \quad a_2 = \frac{2}{3} \left(A + \frac{Ba'}{h_0} \right) + \frac{1}{2bh_0^2}; \\ a_3 &= -\frac{1}{2} \left(Ah_0 + \frac{Ba'^2}{h_0} \right) - (A+B)(Ca'+Dh_0) + (C+D) \left(Ah_0 + Ba' + \frac{1}{bh_0} \right) - \frac{a'}{2bh_0^2}; \\ a_4 &= -(C+D) \left(Ah_0^2 + Ba'^2 + \frac{a'}{bh_0} \right) - \frac{1}{bh_0} (Ca'+Dh_0) + (A+B)(Ca'^2 + Dh_0^2); \\ a_5 &= (Ca'+Dh_0) \left(Ah_0^2 + Ba'^2 + \frac{a'}{bh_0} \right) - (Ah_0 + Ba')(Ca'^2 + Dh_0^2); \\ A &= \mu nk_1 \eta'; \quad B = \mu' nk_1 \eta'; \quad C = (nk_2 - 1)\mu'; \quad D = nk_2 \mu'. \end{aligned} \quad (12)$$

Độ cong của đoạn dầm bị nứt ở thời điểm t :

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{2t} = \frac{k_1 \eta' \left(\psi_b + \psi_{st} \frac{h_0 - x_t}{x_t - a'} \right) + k_2 \eta'_t \left(\psi_{bt} + \psi_{st} \frac{h_0 - x_t}{x_t - a'} \right)}{E_b (h_0 - a')} M_2 \quad (13)$$

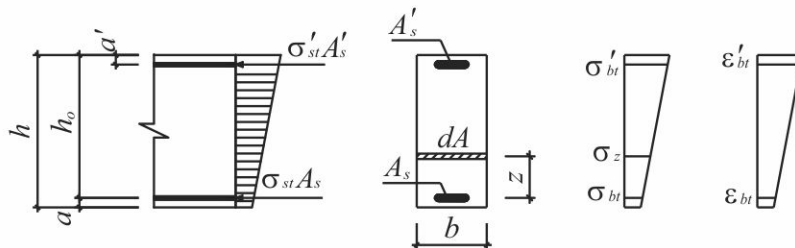
$$\text{trong đó: } \eta' = \frac{x_0 - a'}{I_{bq}}; \quad \eta'_t = \frac{[\mu(h_0 - x_t) - \mu'(x_t - a')]nk_1 \eta'}{S_n / F + (nk_2 - 1)\mu'(x_t - a') - nk_2 \mu(h_0 - x_t)} \quad (14)$$

$\psi_{st} = \psi_s + \gamma \varphi_t$ với γ là hệ số xác định bằng thực nghiệm.

$$\text{Đối với tiết diện chữ nhật: } S_n = \frac{bx_t^2}{2}; \quad I_n = \frac{bx_t^3}{3}; \quad \frac{S_n}{F} = \frac{x_t^2}{2h_0}; \quad \frac{I_n}{F} = \frac{x_t^3}{3h_0}. \quad (15)$$

2.4 Độ cong của dầm do hiện tượng co ngót [1], [2]

Trong tính toán sử dụng giả thiết: Tiết diện được coi là phẳng trước và sau khi biến dạng; biểu đồ ứng suất trong bê tông có dạng bậc nhất. Sơ đồ ứng suất biến dạng như trên Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ ứng suất và biến dạng do hiện tượng co ngót

Độ cong của dầm do hiện tượng co ngót:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{cot} = \frac{nk_2 \epsilon_{co} (\eta_{co} - \eta'_{co})}{h_0 - a'} \quad (16)$$

$$\text{trong đó: } \begin{cases} \eta_{co} = \frac{m_1 (h_0 - a') (\mu + \mu') - \beta (h_0 - a')^2 \mu'}{\beta m_2 - \gamma m_1} \\ \eta'_{co} = \frac{\gamma (h_0 - a')^2 \mu' - (h_0 - a') (\mu + \mu') m_2}{\beta m_2 - \gamma m_1} \end{cases} \quad (17)$$

2.5 Các đặc trưng tính toán φ_t , α , k_0 , ϵ_{co} [1], [2]

Để xác định các đặc trưng này, cách tốt nhất là dùng thí nghiệm nén mẫu để vẽ đường cong từ biến, từ đó chỉnh lý ra các hệ số. Tuy nhiên, việc làm này khó khăn, tốn kém cả về kinh tế lẫn thời gian thực hiện. Hiện nay, chỉ có quy trình tính toán theo lý thuyết giả cải tiến và kết quả tính toán cho thấy lấy: $\alpha = 0,5$; $k_0 \approx 0,1$ là phù hợp với thực tế. Các hệ số φ_t ; ϵ_{co} có thể lấy theo quy trình tính toán cầu của Liên Xô [2].

2.6 Độ võng dài hạn của dầm [1]

Độ võng của dầm f_t do biến dạng uốn gây ra được xác định theo công thức:

$$f_t = \left(\frac{1}{r}\right)_{lt} \frac{l_1^2}{2} + \left(\frac{1}{r}\right)_{2t} \left(\frac{l^2}{8} - \frac{l_1^2}{2}\right) + \left(\frac{1}{r}\right)_{co,t} \frac{l^2}{8} \quad (18)$$

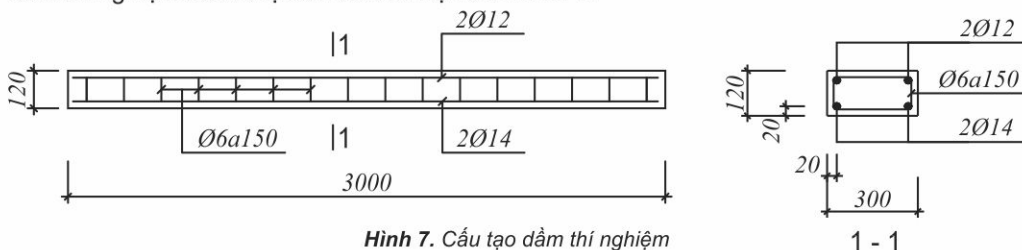


3. Thí nghiệm xác định độ võng dài hạn của dầm

Thí nghiệm được thực hiện bởi bộ môn thí nghiệm công trình, Trường Đại học Xây dựng, trong quá trình thí nghiệm tác giả có tham gia nghiên cứu.

3.1 Cấu tạo dầm thí nghiệm

Dầm thí nghiệm có cấu tạo chi tiết thể hiện trên Hình 7.



Hình 7. Cấu tạo dầm thí nghiệm

Bê tông chế tạo dầm có cấp phối tính cho $1m^3$: 409 daN xi măng PCB30, 649 daN cát vàng, 1250 daN đá, 192 daN nước. Cường độ trung bình của các mẫu thử: $R_m = 21MPa$.

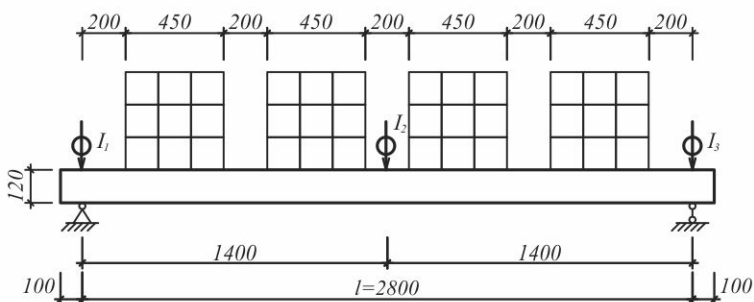
Cốt thép dùng là loại thép cán nóng do Thái Nguyên sản xuất trong đó cốt thép dọc dùng nhóm CII có: $R_s = R_{sc} = 280MPa$; cốt đai của dầm dùng nhóm CI có: $R_s = R_{sc} = 225MPa$.

3.2 Sơ đồ thí nghiệm

Thí nghiệm dầm đặt lên hai gối tựa chịu uốn dưới tác dụng của tải trọng bản thân và tải trọng phụ thêm là bốn chồng bê tông đặt cách nhau 20cm, mỗi chồng gồm 18 viên bê tông hình lập phương cạnh 15cm. Dụng cụ đo chuyển vị là các Indicator được bố trí tại hai gối tựa và tại tiết diện giữa dầm I_1, I_2, I_3 (khoảng chia $K_f = 100$) (Hình 8).

3.3 Quy trình thí nghiệm

Quy trình thí nghiệm độ võng dài hạn của dầm thực hiện theo các bước sau: Đúc dầm thí nghiệm và chuẩn bị dụng cụ thí nghiệm; Lắp đặt dầm thí nghiệm vào vị trí đảm bảo kích thước thiết kế; Lắp đặt các Indicator tại vị trí thiết kế và ghi chép số liệu ban đầu; Chất tải lên dầm và đọc số liệu trên dụng cụ đo ngay sau khi chất tải; Đọc số liệu trên dụng cụ đo độ võng dầm thí nghiệm theo thời gian (Hình 9).



Hình 8. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 9. Hình ảnh thí nghiệm dầm trong phòng thí nghiệm

3.4 Kết quả thí nghiệm độ võng tại tiết diện giữa dầm

Dầm được bắt đầu thí nghiệm vào ngày 19/03/2013 (tuổi bê tông tại thời điểm đặt tải là 22 ngày). Kết quả thí nghiệm xem tại Bảng 1.

3.5 So sánh kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm

Sử dụng lý thuyết từ biến và co ngót tính toán độ võng của dầm với các số liệu [1]: $l = 2,8m$, $b \times h = 300 \times 120(mm)$, $A_s = 308mm^2$; $A'_s = 226mm^2$; $a = a' = 20mm$;

$$R_m = 21MPa; R_{b,ser} = 11,8MPa; R_{bt,ser} = 1,2MPa; \gamma_b = 2459,3daN / m^3;$$

$$E_b = 23,9.10^3 MPa; E_s = 21.10^4 MPa; n = 8,8; q = 3,034N/mm; \text{Độ ẩm tương đối } H = 78\%.$$

Trình tự tính toán được tóm tắt như sau:

- Tính mô men nứt và xác định đoạn dầm bị nứt và không nứt theo công thức (2), (4) và tính mô men tính toán cho các đoạn dầm theo (5) và (6).

- Xác định độ cong của đoạn dầm không nứt theo công thức (7) với các thông số được tính toán theo (8), (9), (10).

- Xác định độ cong của đoạn dầm bị nứt theo công thức (11) với các thông số được tính toán theo (12), (13) và (14).

- Tính toán độ cong của dầm do co ngót theo (16) với thông số xác định từ (9), (17).

- Xác định độ võng tại tiết diện giữa dầm theo công thức (18).

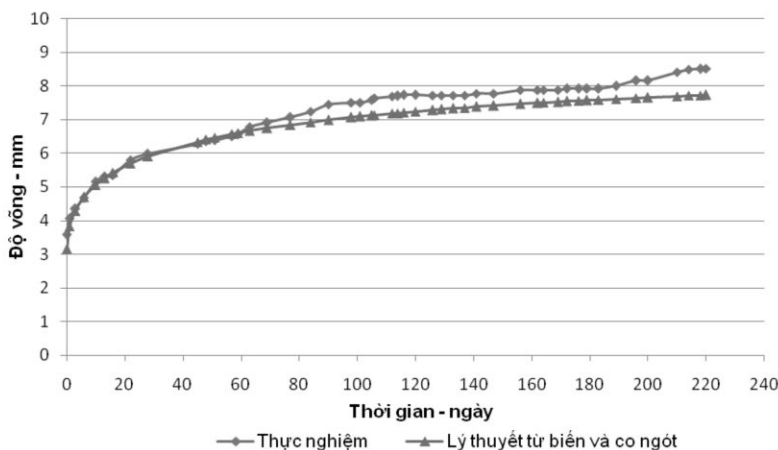
Trình tự tính toán chi tiết có thể tham khảo tại [1]. Kết quả tính toán và thí nghiệm được ghi trong Bảng 1.

Bảng 1. Độ võng thực nghiệm và lý thuyết

Ngày sau khi đặt tải	Thời gian sau khi đặt tải (ngày)	Độ võng theo Lý thuyết từ biến và co ngót (mm)	Độ võng theo thí nghiệm (mm)	Ngày sau khi đặt tải	Thời gian sau khi đặt tải (ngày)	Độ võng theo Lý thuyết từ biến và co ngót (mm)	Độ võng theo thí nghiệm (mm)
19/03/2013				8/7/2013	112	7.18	7.69
P=0	P=0	0	0	10/7/2013	114	7.19	7.70
P=P _{TN}	0	3.16	3.58	12/7/2013	116	7.21	7.73
20/03/2013	1	3.83	4.06	16/07/2013	120	7.24	7.73
22/03/2013	3	4.29	4.35	22/07/2013	126	7.28	7.72
25/03/2013	6	4.69	4.67	25/07/2013	129	7.30	7.72
29/03/2013	10	5.05	5.15	29/07/2013	133	7.33	7.72
1/4/2013	13	5.25	5.32	2/8/2013	137	7.35	7.71
4/4/2013	16	5.42	5.34	6/8/2013	141	7.38	7.78
10/4/2013	22	5.69	5.81	12/8/2013	147	7.41	7.78
16/04/2013	28	5.91	5.98	21/08/2013	156	7.46	7.88
3/5/2013	45	6.34	6.28	27/08/2013	162	7.49	7.87
6/5/2013	48	6.41	6.37	29/08/2013	164	7.5	7.88
9/5/2013	51	6.46	6.38	3/9/2013	169	7.52	7.88
15/05/2013	57	6.57	6.50	6/9/2013	172	7.54	7.91
17/05/2013	59	6.60	6.56	10/9/2013	176	7.56	7.92
21/05/2013	63	6.66	6.78	13/09/2013	179	7.57	7.92
27/05/2013	69	6.74	6.90	17/09/2013	183	7.59	7.92
4/6/2013	77	6.84	7.07	23/09/2013	189	7.61	8.00
11/6/2013	84	6.92	7.24	30/09/2013	196	7.64	8.16
17/06/2013	90	6.99	7.46	4/10/2013	200	7.65	8.16
25/06/2013	98	7.06	7.51	14/10/2013	210	7.69	8.41
28/06/2013	101	7.09	7.51	18/10/2013	214	7.71	8.49
1/7/2013	105	7.12	7.58	22/10/2013	218	7.72	8.50
2/7/2013	106	7.13	7.63	24/10/2013	220	7.73	8.52

Ngay sau khi chất tải xuất hiện độ võng tức thời, độ võng tăng nhanh trong khoảng 60 - 90 ngày đầu và tiếp tục tăng với tốc độ giảm dần sau đó (Hình 10). Độ võng tức thời tính toán theo lý thuyết già cải tiến là 3,16 mm nhỏ hơn 11,7% so với độ võng thực nghiệm (3,58mm). Sự khác nhau này là do trong quá trình thí nghiệm thời gian chất tải lên dầm kéo dài ảnh hưởng đến kết quả đo độ võng tức thời.

Đường cong độ võng thực nghiệm từ sau khi đặt tải tới ngày thứ 60 gần như trùng khớp với đường cong lý thuyết, thời gian sau đó có những nhiễu loạn và có xu hướng tách ra khỏi đường cong lý thuyết. Điều này được giải thích là do độ ẩm và nhiệt độ của môi trường thay đổi trong khoảng thời gian thí nghiệm. Độ lệch độ võng lớn nhất là tại thời điểm cuối của thời gian thí nghiệm (ngày thứ 220) với giá trị độ võng đo được là 8,52 mm, lớn hơn độ võng lý thuyết khoảng 9,3%, sai số này là không nhiều và kết quả thí nghiệm là phù hợp với lý thuyết.



Hình 10. Độ võng thực nghiệm và lý thuyết từ biến, co ngót



4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã giới thiệu cách ứng dụng lý thuyết già cải tiến để tính toán độ võng của dầm đơn giản bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều có kể đến ảnh hưởng của từ biến và co ngót. Kết quả tính toán độ võng theo lý thuyết được kiểm chứng thông qua thí nghiệm được tác giả thực hiện tại phòng thí nghiệm của Trường Đại học Xây dựng.

Qua việc so sánh lý thuyết và thực nghiệm cho thấy kết quả thực nghiệm độ võng dài hạn của dầm đơn giản bê tông cốt thép phù hợp với tính toán của lý thuyết già cải tiến. Tuy nhiên, vấn đề nghiên cứu độ võng dài hạn là một vấn đề phức tạp đòi hỏi cần phải tiến hành thêm nhiều nghiên cứu thực nghiệm hơn để có đầy đủ cơ sở kiểm chứng lý thuyết tính toán.

Tài liệu tham khảo

1. Đinh Văn Tùng (2013), *Luận văn thạc sĩ - Nghiên cứu độ võng của dầm bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng dài hạn*, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội
2. Ngô Thế Phong (2010), *Bài giảng về Lý thuyết đàn hồi nhớt và Từ biến của bê tông*, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
3. Phan Quang Minh và các tác giả (2011), *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
4. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 5574:2012 (2012), *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
5. ACI 209.2R-08 (2008), *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, Reported by ACI Committee 209, USA
6. Eurocode 2 (2006), *Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, Brussels.
7. Bill Mosley, John Bungey, Ray Hulse (Sixth Edition), *Reinforced Concrete design to Eurocode 2*, Palgrave Macmillan.