

Ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết đến chuyển vị trong dầm liên hợp thép – bê tông

Ngày nhận bài: 7/7/2014

Ngày sửa bài: 15/7/2014

Ngày chấp nhận đăng: 3/8/2014

TS. Nguyễn Hồng Sơn, TS Vũ Ngọc Quang
KS. Mai Viết Chinh

TÓM TẮT:

Trong bài báo, tác giả giới thiệu về cách xác định độ cứng tương đương của dầm liên hợp thép-bê tông, ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng nút của phần tử dầm liên hợp thép – bê tông. Qua đó, xây dựng và giải bài toán phân tích kết cấu dầm liên hợp thép bê tông xét độ cứng neo liên kết, lập chương trình tính và làm rõ ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết đến chuyển vị của dầm.

ABSTRACT

In this paper, the authors show you how to determine the elastic stiffness of composite beam, the elastic stiffness matrix and equivalent nodal load vector of the steel – concrete element. Thereby, construction and solve structural analysis of steel – concrete beam with partial composite action of shear connectors, computer programming, and clarify the influence of stiffness shear connectors to displacement of the composite beam.

Keywords: shear connectors, steel – concrete beam; neo chịu cắt, dầm liên hợp, tương tác không hoàn toàn

TS. Nguyễn Hồng Sơn

Địa chỉ: Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: nguyenhongsondhkt@gmail.com, Tel: 0913514110

TS. Vũ Ngọc Quang

Địa chỉ: Học viện Kỹ thuật Quân Sự,

KS. Mai Viết Chinh

Địa chỉ: Học viện Kỹ thuật Quân Sự, Email: maivietchinhce@gmail.com, Tel: 0987437531

1. Đặt vấn đề

Dầm liên hợp thép – bê tông, gồm bản sàn liên hợp thép – bê tông hoặc sàn bê tông cốt thép đặt trực tiếp lên dầm thép, chúng cùng chịu lực thông qua các neo liên kết. Neo liên kết có tác dụng chống lại sự trượt ở bề mặt tiếp xúc giữa cánh của dầm thép với bản sàn bê tông, hình thức của chúng có thể là chốt hàn có mũ, hoặc thép góc hàn v.v...[2].

Khi tính toán đã giả thiết liên kết giữa tấm sàn và dầm thép là tương tác hoàn toàn, có nghĩa coi các neo liên kết có độ cứng vô cùng, neo không bị biến dạng trong quá trình chịu lực và không có trượt tương đối ở bề mặt tiếp xúc giữa bê tông và cánh dầm thép [1, 2]. Nhưng thực tế cho thấy rằng, các neo liên kết có độ cứng hữu hạn, chúng bị biến dạng khi chịu lực tạo sự trượt tương đối ở bề mặt tiếp xúc, có nghĩa liên kết giữa tấm sàn và dầm thép là tương tác không hoàn toàn, và làm ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu dầm, nên cần phải xét đến trong tính toán [1, 8]. Bên cạnh đó, kết cấu dầm liên hợp thép – bê tông thường có chiều cao tiết diện nhỏ hơn so với kết cấu dầm thép thông thường, nên chuyển vị đứng đôi khi có ý nghĩa quyết định đến khả năng chịu lực. Chính vì vậy, việc làm rõ ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết đến chuyển vị trong dầm liên hợp thép – bê tông là cần thiết.

2. Xây dựng bài toán phân tích kết cấu dầm liên hợp thép – bê tông chịu tải trọng tĩnh

2.1. Một số giả thiết, ký hiệu chung

a) Một số giả thiết [6]

Vật liệu thép, bê tông và neo liên kết làm việc trong giai đoạn đàn hồi;

Hiệu ứng liên hợp xảy ra trên bề mặt tiếp xúc giữa thép và bê tông;

Mặt cắt ngang của tiết diện vẫn phẳng sau biến dạng;

Không có hiện tượng bóc tách liên kết neo khỏi tiết diện thép và bê tông.

b) Ký hiệu chung [6]

A_c, A_s - diện tích tiết diện bản bê tông, dầm thép;

I_c, I_s - mômen quán tính thành phần của bản bê tông, dầm thép;

E_c, E_s - mômen đàn hồi của bản bê tông, dầm thép;

D, d - chiều dày bản bê tông và chiều cao tiết diện dầm thép;

r - khoảng cách trục hình học của bản bê tông và dầm;

$(EI)_{comp}^{\infty}, (EI)_{comp}, (EI)_{comp}^0$

- độ cứng chống uốn của dầm liên hợp tương ứng với neo liên kết có độ cứng tuyệt đối, có độ cứng một phần và không có neo liên kết;

κ - độ cong của dầm thép và bản sàn bê tông khi biến dạng;

K_y, a - độ cứng neo liên kết (N/mm), khoảng cách các neo liên kết (mm).

k - mô đun trượt ở bề mặt thép – bê tông, $k = K_y/a$ (N/mm²).

2.2. Phương trình cơ bản của bài toán phân tích kết cấu hệ thanh phẳng

Trong bài toán phân tích kết cấu chịu tải trọng tĩnh, phương trình cân bằng của toàn hệ là [3]:

$$[K]\{U\} = \{R\} \quad (1)$$

trong đó:

$[K], \{R\}$ - ma trận độ cứng và véc-tơ tải trọng nút của kết cấu trong hệ tọa độ chung;

$\{U\}$ - véc-tơ chuyển vị nút.

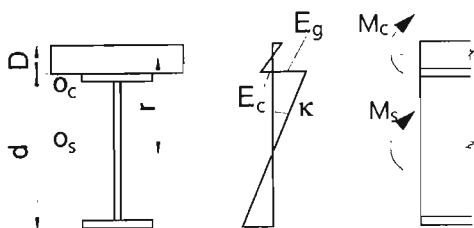
Theo đó, ma trận $[K]$ và véc-tơ tải trọng nút $\{R\}$ được xác định từ các ma trận độ cứng $[K_j]$ và véc-tơ tải trọng nút $\{R_j\}$ của của phần tử trong hệ tọa độ địa phương nhờ ma trận chuyển đổi tọa độ $[T_j]$ và ma trận định vị $[L_j]$. Các ma trận $[T_j]$ và $[L_j]$ được đề cập trong các tài liệu về

phương pháp PTHH, còn ma trận $[K_e]$ và véc tơ $\{R_s\}$ sẽ được đề cập sau đây.

2.3. Độ cứng tương đương của dầm liên hợp

a) Khi tương tác bằng không [3, 6]

Xét tiết diện gồm có bản sàn bê tông kê trực tiếp lên dầm thép và khi neo liên kết có độ cứng rất nhỏ, coi bằng không (hoặc không có neo liên kết), có nghĩa là tương tác bằng không, sự làm việc của dầm như ở Hình 1.



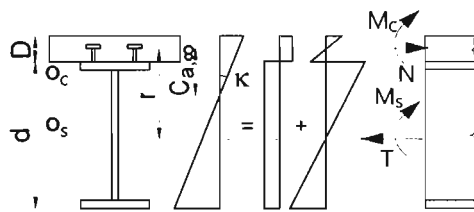
Hình 1. Phân bố ứng suất, trường hợp tương tác bằng không

Độ cứng tương đương của dầm, khi tương tác bằng không:

$$(EI)_{\text{comp}}^0 = \sum EI = E_c I_c + E_s I_s \quad (2)$$

b) Khi tương tác hoàn toàn [3, 6]

Với dầm liên hợp thép - bê tông có tương tác hoàn toàn, giữa bê tông và cánh dầm không có sự trượt tự do trên bề mặt tiếp xúc, tức là neo liên kết có độ cứng vô cùng. Sự làm việc của tiết diện được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Phân bố ứng suất, trường hợp tương tác hoàn toàn

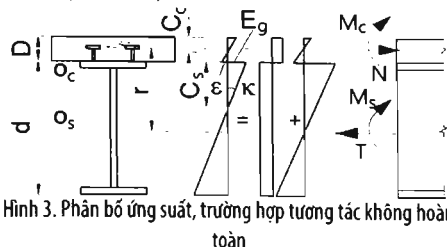
Độ cứng tương đương của dầm, khi tương tác hoàn toàn:

$$(EI)_{\text{comp}}^\infty = E_c I_c + E_s I_s + \overline{EA} r^2 \\ = \sum EI + \overline{EA} r^2 = (EI)_{\text{comp}}^0 + \overline{EA} r^2 \quad (3)$$

Phương trình (3) ta thấy, có sự gia tăng thêm độ cứng chống uốn của dầm một lượng là $\overline{EA} r^2$ so với trường hợp không tương tác.

b) Khi tương tác không hoàn toàn [3, 6]

Với dầm liên hợp thép - bê tông có tương tác không hoàn toàn, lúc này xảy ra hiện tượng trượt tương đối trong giới hạn ở bề mặt tiếp xúc cánh dầm thép với bản sàn bê tông. Sự làm việc của tiết diện được thể hiện ở Hình 3.



Hình 3. Phân bố ứng suất, trường hợp tương tác không hoàn toàn

Độ cứng tương đương của dầm, khi tương tác hoàn toàn:

$$EI_{\text{comp}} = EI_{\text{comp}}^\infty - \frac{\overline{EA} r \cdot \epsilon_{\text{slip}}}{K} \quad (4)$$

Từ công thức (4) cho thấy, mối quan hệ giữa mômen uốn và độ võng không còn tuyến tính và độ cứng tương đương của dầm liên hợp khi tương tác không hoàn toàn phụ thuộc vào biến dạng trượt ở bề mặt tiếp xúc.

2.4. Phương trình vi phân cân bằng của dầm liên hợp với neo liên kết tương tác không hoàn toàn

Biến dạng tương đối của bê tông và thép tại bề mặt tiếp xúc có thể được biểu diễn qua các thành phần nội lực:

$$\epsilon_c = -\frac{N}{E_c A_c} + \frac{M_c}{E_c I_c} \cdot \frac{D}{2} \quad (5a)$$

$$\epsilon_s = \frac{N}{E_s A_s} - \frac{M_s}{E_s I_s} \cdot \frac{d}{2} \quad (5b)$$

Biến dạng trượt giữa bê tông và thép trên bề mặt tiếp xúc:

$$\epsilon_{\text{slip}} = \frac{ds}{dx} = \epsilon_c - \epsilon_s = -N \left(\frac{1}{E_c A_c} + \frac{1}{E_s A_s} \right) \\ + \left(\frac{M_c}{E_c I_c} \cdot \frac{D}{2} + \frac{M_s}{E_s I_s} \cdot \frac{d}{2} \right) \quad (6)$$

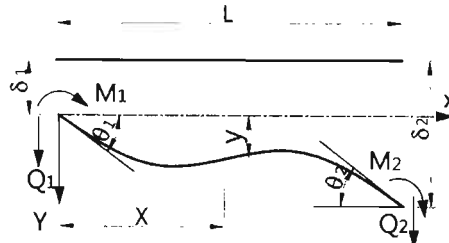
Mặt khác, biến dạng trượt được tính theo giá trị, $s = Q/K_s$. Lực cắt phân phối lên mỗi chốt neo chịu cắt trên bề mặt tiếp xúc, $q = Q/a$.

Sử dụng định nghĩa độ cứng, EI_{comp}^0 , EI_{comp}^∞ và $k = K_s/a$, ta được phương trình vi phân bậc bốn của dầm liên hợp với neo liên kết có độ cứng tương đối đơn giản hóa:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - \frac{k}{EA} \frac{(EI)_{\text{comp}}^\infty}{(EI)_{\text{comp}}^0} \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{(EI)_{\text{comp}}^0} \frac{d^2 M}{dx^2} \\ - \frac{k}{EA \cdot (EI)_{\text{comp}}^0} M = 0 \quad (7)$$

2.5. Xác định ma trận độ cứng phần tử dầm liên hợp

Sơ đồ biến dạng của phần tử dầm và phân lực tương ứng thể hiện ở Hình 4 [3, 6].



Hình 4. Sơ đồ biến dạng của phần tử dầm và phân lực tương ứng

Giá trị mômen uốn tại vị trí x so với điểm 1 được xác định như sau:

$$M = M_1 - Q_1 \cdot x \quad (8)$$

Lập phương trình cân bằng tại điểm 2 ta được:

$$Q_1 = \frac{M_1 + M_2}{L} \quad (9a)$$

$$Q_1 = -Q_2 \quad (9b)$$

Thay thế phương trình (8) vào (7) ta được:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - \alpha^2 \frac{d^2 y}{dx^2} - \beta(M_1 - Q_1 \cdot x) = 0 \quad (10)$$

Với α và β là các giá trị đặc trưng cho thông số vật liệu, kích thước tiết diện:

$$\alpha^2 = \frac{k(EI)_{\text{comp}}^\infty}{EA(EI)_{\text{comp}}^0} \quad (11a)$$

$$\beta = \frac{k}{EA \cdot (EI)_{\text{comp}}^0} = \frac{\alpha^2}{(EI)_{\text{comp}}^\infty} \quad (11b)$$

Nghiệm của phương trình vi phân cấp 4 (10), có dạng:

$$z = y'' = C_1 \cosh \alpha x + C_2 \sinh \alpha x \\ - \frac{1}{(EI)_{\text{comp}}^\infty} (M_1 - Q_1 \cdot x) \quad (12)$$

Tích phân phương trình (12) ta được phương trình biến dạng của dầm:

$$y = \frac{C_1}{\alpha^2} \cosh \alpha x + \frac{C_2}{\alpha^2} \sinh \alpha x \\ - \frac{1}{(EI)_{\text{comp}}^\infty} \left(\frac{1}{2} M_1 x^2 - \frac{1}{6} Q_1 x^3 \right) + C_3 x + C_4 \quad (13)$$

Với C_1, C_2, C_3, C_4 là các hằng số tích phân.

Xét trường hợp phần tử dầm hai đầu tương tác hoàn toàn, có thể giả thiết rằng hiện tượng trượt giữa dầm thép và sàn bê tông ở hai đầu dầm là không đáng kể, cụ thể là:

$$s|_{x=0} = 0, \quad s|_{x=L} = 0 \quad (14a)$$

Đồng thời, từ (17) ta có:

$$\frac{dN}{dx} \Big|_{x=0} = 0, \quad \frac{dN}{dx} \Big|_{x=L} = 0 \quad (14b)$$

ở đây:

$$\frac{dN}{dx} = \frac{1}{r} \left[\frac{(EI)_{\text{comp}}^0 (C_1 \sinh \alpha x + C_2 \alpha \cosh \alpha x)}{\left(\frac{(EI)_{\text{comp}}^0}{(EI)_{\text{comp}}^\infty} - 1 \right)} \cdot Q_1 \right] \quad (15)$$

Thay thế phương trình (15) vào phương trình (14b) và kết hợp với các phương trình giá trị C_1, C_2, C_3, C_4 ta được:

$$M_1 = \frac{(EI)_{\text{comp}}^\infty}{L} \left(\frac{4\varphi_2 \theta_1 + 2\varphi_3 \theta_2}{+6\varphi_1} \frac{\delta_1 - \delta_2}{L} \right) \quad (16a)$$

$$M_2 = \frac{(EI)_{\text{comp}}^\infty}{L} \left(\frac{2\varphi_3 \theta_1 + 4\varphi_2 \theta_2}{+6\varphi_1} \frac{\delta_1 - \delta_2}{L} \right) \quad (16b)$$

$$Q_1 = -Q_2 = \frac{(EI)_{comp}^{\infty}}{L} \begin{bmatrix} \frac{(4\varphi_2 + 2\varphi_3)}{L} \theta_1 \\ \frac{(4\varphi_2 + 2\varphi_3)}{L} \theta_2 \\ +12\varphi_1 \frac{\delta_1 - \delta_2}{L^2} \end{bmatrix} \quad (16c)$$

với:

$$\varphi_1 = \frac{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L}{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L + 2((EI)_{comp}^{\infty} - (EI)_{comp}^0) (12 + 6\alpha L \sinh \alpha L - 12 \cosh \alpha L)}$$

$$\varphi_2 = \frac{3}{4} \frac{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L}{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L + 2((EI)_{comp}^{\infty} - (EI)_{comp}^0) (12 + 6\alpha L \sinh \alpha L - 12 \cosh \alpha L)} + \frac{1}{4}$$

$$\varphi_3 = \frac{3}{2} \frac{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L}{(EI)_{comp}^0 (\alpha L)^3 \cdot \sinh \alpha L + 2((EI)_{comp}^{\infty} - (EI)_{comp}^0) (12 + 6\alpha L \sinh \alpha L - 12 \cosh \alpha L)} - \frac{1}{2} \quad (17)$$

Phương trình (16a) đến (16c) được biểu diễn dưới dạng ma trận:

$$[K_e]\{U_e\} = \{F_e\} \quad (18)$$

với:

$$\{U_e\} = \{\delta_1, \theta_1, \delta_2, \theta_2\}^T \quad (19a)$$

$$\{F_e\} = \{Q_1, M_1, Q_2, M_2\}^T \quad (19b)$$

$$[K_e] = \frac{(EI)_{comp}^{\infty}}{L} \begin{bmatrix} \frac{12}{L^2} \varphi_1 & \frac{4\varphi_2 + 2\varphi_3}{L} \\ \frac{6}{L} \varphi_1 & 4\varphi_2 \\ -\frac{12}{L^2} \varphi_1 & -\frac{4\varphi_2 + 2\varphi_3}{L} \\ \frac{6}{L} \varphi_1 & 4\varphi_3 \\ -\frac{12}{L^2} \varphi_1 & \frac{4\varphi_2 + 2\varphi_3}{L} \\ \frac{-6}{L} \varphi_1 & 2\varphi_3 \\ \frac{12}{L^2} \varphi_1 & -\frac{4\varphi_2 + 2\varphi_3}{L} \\ \frac{-6}{L} \varphi_1 & 4\varphi_2 \end{bmatrix}$$

Phương trình (18) là phương trình độ cứng đàn hồi cho các phần tử dầm liên hợp tương tác một phần và $[K_e]$ là ma trận độ cứng đàn hồi tương ứng của phần tử.

2.6. Xác định vectơ tải trọng nút tương đương của phần tử dầm liên hợp

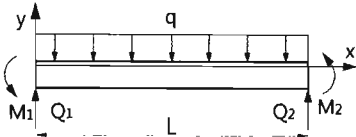
a) Trường hợp phần tử dầm chịu tải trọng phân bố đều [3, 6]

Xét cân bằng phần tử dầm có hai đầu liên kết cứng chịu tải trọng phân bố đều, như ở Hình 5, ta có:

$$Q_1 = Q_2 = qL/2; M_1 = -M_2 \quad (20a)$$

Mômen tại một vị trí bất kỳ:

$$M = Q_1 x - M - qx^2/2 \quad (20b)$$



Hình 5. Phần tử dầm hai đầu liên kết cứng, chịu tải trọng phân bố đều

Góc xoay và chuyển vị thẳng của phần tử dầm tìm được bằng phương trình:

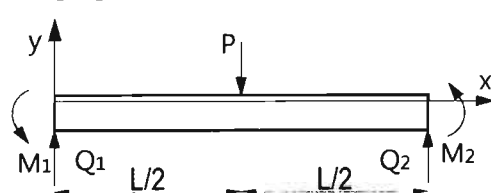
$$\theta = y' = \frac{C_1 \sinh \alpha x}{\alpha} + \frac{C_2 \cosh \alpha x}{\alpha} - \frac{qx}{\alpha^2} \left(\frac{1}{(EI)_{comp}^0} - \frac{1}{(EI)_{comp}^{\infty}} \right) - \frac{1}{(EI)_{comp}^{\infty}} \left(\frac{Q_1 x^2}{2} - M_1 x - \frac{qx^3}{6} \right) + C_3 \quad (21a)$$

$$y = \frac{C_1 \cosh \alpha x}{\alpha^2} + \frac{C_2 \sinh \alpha x}{\alpha^2} - \frac{qx^2}{2\alpha^2} \left(\frac{1}{(EI)_{comp}^0} - \frac{1}{(EI)_{comp}^{\infty}} \right) - \frac{1}{(EI)_{comp}^{\infty}} \left(\frac{Q_1 x^3}{6} - \frac{M_1 x^2}{2} - \frac{qx^4}{24} \right) + C_3 x + C_4 \quad (21b)$$

với C_i ($i=1 \div 4$) là các hằng số tích phân. Từ các điều kiện về góc xoay, giá trị hằng số tích phân, ta có:

$$M_1 = -M_2 = \frac{1}{12} qL^2 \quad (22)$$

b) Trường hợp phần tử dầm chịu tải trọng tập trung ở giữa nhịp [3, 6]



Hình 6. Phần tử dầm hai đầu ngàm chịu tải trọng tập trung

Trường hợp phần tử dầm chịu lực tập trung như ở Hình 6, lực nút tương đương cũng được xác định giống cách làm trên. Trong trường hợp này, ta có:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{1}{2} PL \quad (23)$$

$$M_1 = -M_2 = \frac{1}{8} PL \quad (24)$$

3. Ảnh hưởng của độ cứng neo đến chuyển vị của dầm liên hợp thép – bê tông

3.1. Xây dựng chương trình

Trên cơ sở ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng nút tương đương của phần tử dầm liên hợp

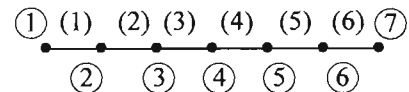
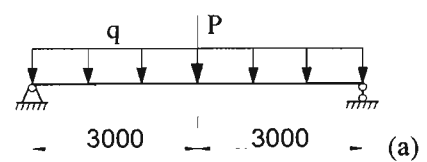
vừa thiết lập, tác giả xây dựng phần mềm bằng ngôn ngữ Matlab để phân tích kết cấu dầm liên hợp thép – bê tông với neo liên kết tương tác không hoàn toàn (neo liên kết có độ cứng hữu hạn). Phần mềm có tên APCB-01 (Analysis of Partially Composite Beam).

3.2. Thử nghiệm số

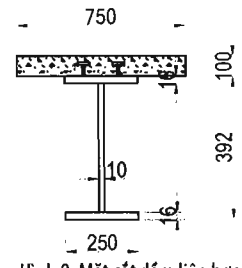
a) Số liệu tính toán

Xét dầm liên hợp, có sơ đồ tính là dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều, $q = 60\text{kN/m}$, và lực tập trung $P = 150\text{kN}$ đặt ở giữa nhịp, thể hiện ở Hình 7. Dầm thép sử dụng vật liệu thép CCT38 có cường độ tính toán $f = 230\text{N/mm}^2$, $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2$; Sàn bê tông sử dụng vật liệu B25 có $R_b = 14,5\text{N/mm}^2$, $E_c = 2,65 \cdot 10^4 \text{N/mm}^2$.

Kích thước tiết diện dầm liên hợp, như ở Hình 8, bao gồm: Tiết diện dầm thép, có $b_f = 250\text{mm}$, $t_f = 16\text{mm}$, chiều cao dầm $h = 392\text{mm}$, chiều dày bản bụng $t_w = 10\text{mm}$; Bản sàn bê tông có bề rộng hữu hiệu $b_{eff} = 750\text{mm}$, chiều dày $h_c = 100\text{mm}$.



Hình 7. Sơ đồ tính, đánh số nút và phần tử dầm



Hình 8. Mặt cắt dầm liên hợp

b) Yêu cầu tính toán

- Kiểm chứng độ tin cậy của chương trình, ứng với các trường hợp đặc biệt về độ cứng của neo liên kết so với kết quả của giải tích, trường hợp neo liên kết hoàn toàn, $k = \infty$, và trường hợp neo liên kết không hoàn toàn, $k = 0$.

- Khảo sát chuyển vị đứng tại các nút 2, 3 và 4 với độ cứng của neo liên kết lần lượt nhận các giá trị thông qua mô đun trượt, $k = 0, 0,01\%E_s; 0,1\%E_s; 0,5\%E_s, 1\%E_s$ và rất lớn là $5000E_s$.

c) Kết quả tính toán

- Độ võng giữa dầm với dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều và tập trung P tại giữa nhịp khi tính theo công thức giải tích:

(1) Tính toán độ võng ở giữa dầm với mô hình neo tương tác bằng không.

$$I_c = \frac{0,75 \cdot 0,1^3}{12} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_s = \frac{0,25 \cdot 0,392^3}{12} - \frac{2 \cdot 0,12 \cdot 0,36^3}{12}$$

$$= 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$E_s I_s = 2,1 \cdot 10^8 \cdot 3,22 \cdot 10^{-4} = 67620 \text{ kNm}^2$$

$$E_c I_c = 2,65 \cdot 10^7 \cdot 6,25 \cdot 10^{-5} = 1656 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{\text{comp}}^0 = E_c I_c + E_s I_s = 1656 + 67620$$

$$= 69276 \text{ kNm}^2$$

$$\Delta_{\text{comp}}^0 = \frac{5 qL^4}{384 EI_{\text{comp}}^0} + \frac{1 PL^3}{48 EI_{\text{comp}}^0}$$

$$= \left(\frac{5 \cdot 60 \cdot 6^4}{384 \cdot 69276} + \frac{1 \cdot 150 \cdot 6^3}{48 \cdot 69276} \right) \cdot 1000$$

$$= 24,3 \text{ mm}$$

Chênh lệch về giá trị chuyển vị đúng theo hai cách tính:

$$\frac{24,3 - 24,03}{24,3} 100\% = 1,1\%$$

(2) Tính toán độ võng ở giữa dầm với mô hình neo tương tác hoàn toàn.

$$E_c I_c = 2,6 \cdot 10^7 \cdot 6,25 \cdot 10^{-5} = 1625 \text{ kNm}^2$$

$$E_c A_c = 2,6 \cdot 10^7 \cdot 750 \cdot 10^{-4} = 0,19 \text{ kN}$$

$$E_s A_s = 2,1 \cdot 10^8 \cdot 116 \cdot 10^{-4} = 0,24 \text{ kN}$$

$$\overline{EA} = \frac{E_c A_c E_s A_s}{E_c A_c + E_s A_s} = \frac{0,19 \cdot 10^7 \cdot 0,24 \cdot 10^7}{0,19 \cdot 10^7 + 0,24 \cdot 10^7}$$

$$= 1,09 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

$$r = \left(\frac{h + h_c}{2} \right) = \left(\frac{392 + 100}{2} \right) = 246 \text{ mm}$$

$$EI_{\text{comp}}^\infty = E_c I_c + E_s I_s + \overline{EA} \cdot r^2 = 1656 +$$

$$+ 67620 + 1,09 \cdot 10^6 \cdot (24,6 \cdot 10^{-2})^2$$

$$= 0,1354 \cdot 10^5 \text{ kNm}^2$$

$$\Delta_{\text{comp}}^\infty = \frac{5 qL^4}{384 EI_{\text{comp}}^\infty} + \frac{1 PL^3}{48 EI_{\text{comp}}^\infty}$$

$$= \left(\frac{5 \cdot 60 \cdot 6^4}{384 \cdot 135400} + \frac{1 \cdot 150 \cdot 6^3}{48 \cdot 135400} \right) \cdot 1000$$

$$= 12,5 \text{ mm}$$

Chênh lệch về giá trị chuyển vị đúng theo hai cách tính:

$$\frac{12,87 - 12,5}{12,87} 100\% = 4,8\%$$

- Khảo sát chuyển vị tại nút 2 và 3 của dầm ứng với độ cứng của neo liên kết, thông qua mô đun trượt thay đổi, $k = 0; 0,01\%E_s$ đến $100\%E_s$ và mô đun trượt lớn vô cùng (tạm lấy $k = 5000E_s$). Khi $k = 0$, ứng với trường hợp dầm và bản sàn không liên hợp hay là tương tác bằng không và k lớn vô cùng ứng với trường hợp dầm liên hợp

tương tác hoàn toàn. Kết quả tính về chuyển vị đúng ở các nút ứng với các giá trị mô đun trượt của neo liên kết ở bề mặt thép - bê tông được ghi ở Bảng 1, ngoài ra chuyển vị tại các nút 2 và 3 được biểu thị ở Hình 9.

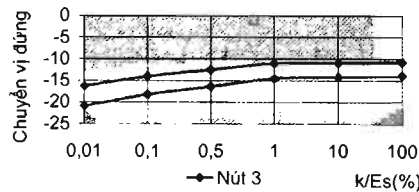
Chênh lệch về chuyển vị đúng giữa dầm khi tương tác hoàn toàn và không hoàn toàn:

$$\frac{24,03 - 13,76}{24,03} 100\% = 42,7\%$$

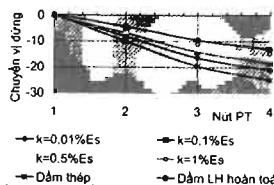
Nút	Δ_{comp}^0 (mm)	Chuyển vị nút ứng với mô đun trượt (mm)									$\Delta_{\text{comp}}^\infty$ (mm)
		0	$0,01\%E_s$	$0,1\%E_s$	$0,5\%E_s$	$1\%E_s$	$10\%E_s$	$100\%E_s$	$100E_s$	$5000E_s$	
2	-	-9,52	-8,12	-6,85	-6,00	-5,16	-5,09	-5,02	-5,01	-4,28	-
3	-	-18,85	-16,28	-14,01	-12,48	-10,96	-10,88	-10,71	-10,62	-9,48	-
4	-24,3	-24,03	-20,90	-18,20	-16,34	-14,49	-14,16	-13,86	-13,76	-12,87	-12,5

Bảng 1. Kết quả chuyển vị nút khi tính bằng chương trình APCB và giải tích ứng với các độ cứng neo

Thấy rằng, ứng với giá trị $k > 1\%E_s$, thì chuyển vị đúng của dầm liên hợp thay đổi không nhiều, ngược lại thì ảnh hưởng độ cứng neo đến chuyển vị của dầm là khá lớn. Vì vậy, khi thiết kế cần bố trí đủ số lượng neo cần thiết để liên kết đảm bảo mô đun trượt tương ứng với khoảng 1% giá trị mô đun đàn hồi của thép.



Hình 9. Kết quả chuyển vị nút 3 và 4 ứng với các mô đun trượt



Hình 10. Kết quả chuyển vị nút 2, 3 và 4 ứng với các mô đun trượt

Tiếp tục, khảo sát chuyển vị của dầm tại nút 2, 3 và 4 ứng với mô đun trượt thay đổi, $k = 0$; đến $1\%E_s$, kết quả được biểu thị ở Hình 10. Qua kết quả thấy rằng, độ cứng neo càng nhỏ thì chuyển vị đúng của dầm càng lớn, điều này phù hợp về mặt cơ học.

3.3. Nhận xét kết quả tính toán

Theo kết quả phân tích được thể hiện ở Bảng 1 và các biểu đồ ở Hình 9 và Hình 10, ta có nhận xét như sau:

- Giá trị chuyển vị đúng ở giữa dầm, khi dùng chương trình APCB-01 và khi tính bằng công thức có sẵn thì cho kết quả chênh lệch không lớn, chênh lệch ứng với trường hợp neo liên kết tương tác bằng không là 1,1% và ứng với trường hợp neo tương tác hoàn toàn là 4,8%.

- Giá trị chuyển vị đúng của dầm liên hợp, neo tương tác một phần nằm trong khoảng ứng với trường hợp dầm liên hợp tương tác không hoàn toàn và dầm liên hợp tương tác hoàn toàn. Qua kết quả cho thấy, chương trình tính do

tác giả lập có đủ độ tin cậy để khảo sát ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết đến chuyển vị của dầm, và cũng thấy rằng độ cứng neo liên kết ảnh hưởng khá lớn đến chuyển vị của dầm, chuyển vị đúng giữa dầm giảm tới 42,7% khi xét neo liên kết có độ cứng tuyệt đối so với neo có độ cứng bằng không.

4. Kết luận và kiến nghị

- Tác giả đã trình bày cách thiết lập ma trận độ

cứng và véc tơ tải trọng nút tương đương của phần tử dầm liên hợp thép - bê tông, trường hợp sàn bê tông nằm trong vùng nén và xét đến độ cứng neo liên kết.

- Đã xây dựng phần mềm APCB-01, và làm rõ ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết, thông qua mô đun trượt ở bề mặt thép - bê tông, đến chuyển vị đúng của dầm. Đồng thời, kiến nghị nhà thiết kế lựa chọn độ cứng neo và bố trí neo phù hợp về mặt chịu lực.

Cần nghiên cứu thêm ảnh hưởng của độ cứng neo liên kết đến nội lực - chuyển vị trong kết cấu siêu tĩnh khác, như dầm liên tục hoặc khung, khi chịu tải trọng tĩnh và động.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Chúng, Bùi Công Thành (2007), Phân tích dầm thép bê tông liên hợp có xét đến tương tác không toàn phần của liên kết chịu cắt bằng phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, tập 10, số 11, tr 74-85.
- Phạm Văn Hội (2006), Kết cấu liên hợp thép - bê tông, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Nguyễn Hồng Sơn (2008), Một cách xây dựng ma trận độ cứng và véc tơ tải nút của phần tử dầm liên hợp thép - bê tông, Tuyển tập công trình khoa học, Đại học Kiến trúc Hà Nội, tr 128-135.
- Nguyễn Hữu Anh Tuấn, Đào Đình Nhân (2010), "SAP 2000 Ver. 10, Thực hành Phân tích và Thiết kế kết cấu", Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- CEN (2004): Eurocode 4 (1992), Design of Composite Steel and Concrete Structures-Part 1-1-General Rules and Rules for Buildings, ENV 1994-1-1:1992.
- Guo-Qiang Li and Jin-Jun Li (2007), Advanced Analysis and Design of Steel Frame, John Wiley & Son LTD, pp 35-52.
- Robeto T.L., Jerod J.H., Tony S.RE. (2003), "Steel Design Guide Series 8, Partially Restrained Composite Connections", AISC.
- Ranzi G, Bradford MA (2007), Direct stiffness of a composite beam-column element with partial interaction, Journal Computer and Structures, Volume 85, Issue 15-16, August, 2007, pp 1206-1214.