

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

Nguyễn Văn Chúng, Bùi Công Thành
Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG – HCM
(Bài nhận ngày 11 tháng 03 năm 2007)

TÓM TẮT: Bài báo trình bày phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp để phân tích ứng xử của dầm thép-bê tông liên hợp có xét đến biến dạng trượt do tương tác không toàn phần của liên kết cắt. Phương pháp này không cần xấp xỉ hàm chuyển vị qua các đa thức hàm dạng. Ma trận độ cứng K được xác định trực tiếp bằng cách gán các chuyển vị đơn vị cho các thành phần chuyển vị của véc tơ chuyển vị của phần tử. Chương trình tính toán dựa vào phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp viết bằng ngôn ngữ Matlab, áp dụng để khảo sát các bài toán cơ bản và so sánh với các kết quả khác.

1. GIỚI THIỆU

Trong những thập niên gần đây, sự phát triển của ngành công nghiệp xây dựng đặc biệt trong xây dựng cao ốc, yêu cầu về mặt kiến trúc, kỹ thuật, kinh tế rất cao. Nên việc lựa chọn giải pháp kiến trúc, kết cấu là một vấn đề lớn đặt ra cho ngành thiết kế xây dựng. Giải pháp sử dụng kết cấu bê tông cốt thép cổ điển không đáp ứng được yêu cầu; cùng với sự phát triển của thép và bê tông cường độ cao thì việc sử dụng kết cấu thép-bê tông liên hợp đã đáp ứng được các yêu cầu đặt ra trong xây dựng. Ngày nay, chúng được sử dụng rộng rãi trong kết cấu hiện đại và đã thể hiện được những ưu điểm trong quá trình sử dụng.

Hiện nay, có nhiều nghiên cứu về ứng xử của dầm thép-bê tông liên hợp (gọi tắt là dầm liên hợp LH) đã được báo cáo; từ lý thuyết dầm LH của Timoshenko [6]; đến mô hình dầm LH của Newmark [1]... và các nghiên cứu gần đây, đáng chú ý là các nghiên cứu: mô hình dầm LH 6 bậc tự do với lời giải phương trình vi phân dưới dạng độ cong [3]; phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp với mô hình phần tử 6 bậc tự do; phương pháp phần tử hữu hạn với 12 bậc tự do [2]. Vì vậy, vấn đề nghiên cứu ứng xử của dầm LH là hết sức cần thiết.

Bài báo này giới thiệu phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp (ĐCTT) để phân tích ứng xử của dầm LH có xét đến sự tương tác không toàn phần của liên kết chịu cắt. Phương pháp này sử dụng mô hình phần tử với 8 bậc tự do, ma trận độ cứng phần tử được xác định bằng cách lần lượt gán các chuyển vị đơn vị cho các thành phần của véc tơ chuyển vị phần tử. Trên cơ sở phương pháp này, chương trình tính toán ứng dụng viết bằng Matlab để khảo sát một số ví dụ minh họa và so sánh với các kết quả nghiên cứu khác. Kết quả thu được trình bày dưới dạng biểu đồ và bảng biểu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT [1], [2], [4], [5]

2.1 Phương trình quan hệ ứng suất biến dạng

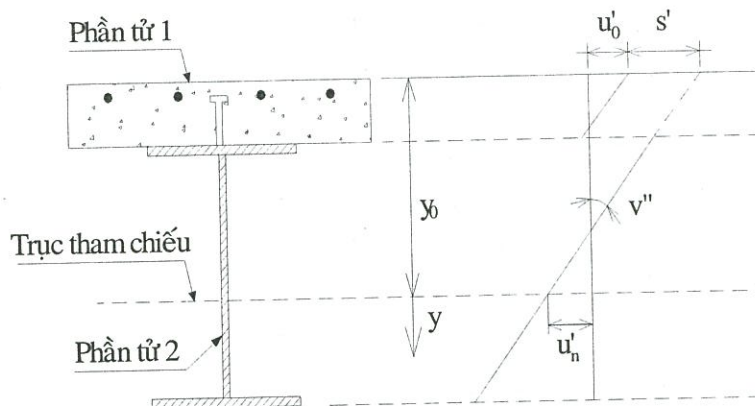
Xét dầm LH có đặc trưng tiết diện và biểu đồ biến dạng (hình 1) với các giả thuyết sau:

1. Mặt cắt ngang tiết diện vẫn phẳng trước và sau biến dạng
2. Chuyển vị đứng của bản bê tông và thép bằng nhau
3. Mối quan hệ giữa lực cắt và biến dạng trượt là tuyến tính
4. Ứng xử của vật liệu là đàn hồi tuyến tính

Các kí hiệu đặc trưng tiết diện như sau:

- A_c, A_r, A_s : diện tích bản bê tông, thép gia cường, dầm thép
- A_1, A_2, A : diện tích tiết diện phần tử 1, 2, cả tiết diện
- $A_1 = A_c + A_r; A_2 = A_s; A = A_1 + A_2$
- S_c, S_r, S_s : mô men tĩnh thành phần của bê tông, thép gia cường, dầm thép đối với trục tham chiếu
- I_c, I_r, I_s : mô men quán tính thành phần của bê tông, thép gia cường, dầm thép đối với trục tham chiếu
- E_c, E_r, E_s : mô đun đàn hồi của bê tông, thép gia cường, thép dầm
- $AE_1 = A_c E_c + A_r E_r; AE_2 = A_s E_s; AE = AE_1 + AE_2; SE_1 = S_c E_c + S_r E_r$
- $SE_2 = S_s E_s; SE = SE_1 + SE_2; IE_1 = I_c E_c + I_r E_r; IE_2 = I_s E_s; IE = IE_1 + IE_2$

Trong hình 1, các ký hiệu như sau: y_0 là khoảng cách tính từ mép trên của tiết diện đến trục tham chiếu; u'_0 là biến dạng dọc ở mép trên của tiết diện; s' là biến dạng trượt; v'' là độ cong; u'_n là biến dạng dọc ở vị trí trục tham chiếu.



Hình 1: Mặt cắt tiết diện; biểu đồ biến dạng dầm LH

Theo giả thuyết ban đầu, phương trình quan hệ ứng suất-biến dạng của dầm LH như sau:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= E_c \varepsilon_c = E_c [u'_0 + (y + y_0)v'']; \quad \sigma_r = E_r \varepsilon_r = E_r [u'_0 + (y + y_0)v''] \\ \sigma_s &= E_s \varepsilon_s = E_s [u'_0 + (y + y_0)v'' + s'] \end{aligned} \quad (1)$$

Hay viết dưới dạng tổng quát sau:

$$\sigma_\gamma = E_\gamma [u'_0 + (y + y_0)v'' + s' \delta_{\gamma s}] \quad (2)$$

trong đó: $\gamma = c, r, s; \gamma_{cs} = 0; \gamma_{rs} = 0; \gamma_{ss} = 1$

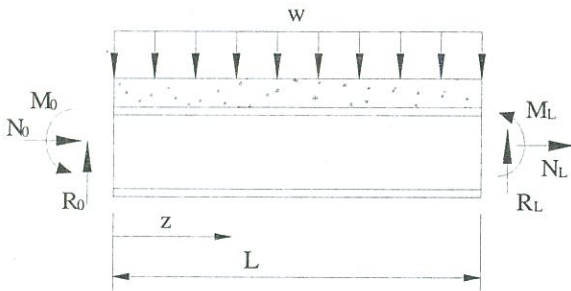
Khi xét quan hệ lực cắt với biến dạng trượt tuyến tính, ta có:

$$q = ks \quad (3)$$

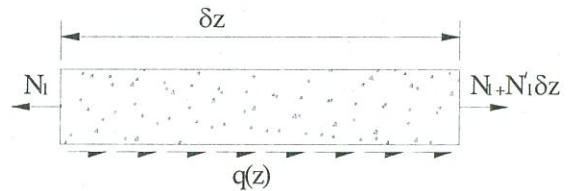
trong đó: q là lực cắt đơn vị, k là độ cứng liên kết cắt và s là chuyển vị trượt

2.2 Thiết lập phương trình chuyển vị, biến dạng

Xét phần tử dầm LH tổng quát và phần tử 1 ở trạng thái tự do như hình 2, 3



Hình 2: Mô hình dầm LH tổng quát



Hình 3: Phần tử 1 ở trạng thái tự do

2.2.1 Các thành phần nội lực

Các thành phần nội lực trong phần tử dầm LH xác định như sau:

$$N = \sum_{i=1}^2 \int_{A_i} \sigma_i dA_i = N_1 + N_2; \quad M = \int_A \sigma y dA \quad (4)$$

Trong đó: N_1, N_2 : là lực dọc phần tử 1, 2; N, M : là lực dọc, mô men phần tử Từ (2) và (4), các thành phần nội lực xác định như sau:

$$N_1 = \int_{A_1} \sigma dA = AE_1 u_0' + SE_1 v'' + y_0 AE_1 v'';$$

$$N_2 = \int_{A_2} \sigma dA = AE_1 u_0' + SE_1 v'' + y_0 AE_1 v'' + AE_2 s' \quad (5)$$

$$N = N_1 + N_2 = AE u_0' + SE v'' + y_0 AE v'' + AE_2 s' \quad (6)$$

$$M = \int_A y \sigma dA = SE u_0' + IE v'' + y_0 SE v'' + SE_2 s' \quad (7)$$

2.2.2 Phương trình chuyển vị, biến dạng v' ; v ; u_n

Giải các phương trình (6), (7) với các ẩn là u_0' và v'' ta được phương trình sau:

$$u_0' = a_1 N + a_2 M + a_3 s' \quad (8)$$

$$v'' = b_1 N + b_2 M + b_3 s' \quad (9)$$

Xét phần tử dầm có chiều dài z , từ (9) lấy tích phân theo z , ta được phương trình chuyển vị, góc xoay như sau:

$$v' = a_1 \int M dz + a_2 \int N dz + a_3 \int s' dz + D_1 \quad (10)$$

$$v = \int v' dz + D_2 = a_1 \iint M dz dz + a_2 \iint N dz dz + a_3 \iint s' dz dz + D_1 z + D_2 \quad (11)$$

Chuyển vị trượt tại mặt tiếp xúc tính như sau:

$$s = u_n - u_0 - y_0 v' \quad (12)$$

Từ phương trình (12), xác định u_n , sau đó lấy đạo hàm theo biến z , ta được:

$$u'_n = u'_0 + y_0 v'' + s' \quad (13)$$

Thay (8), (9) vào (13) ta được:

$$u'_n = l_1 M + l_2 N + l_3 s' \quad (14)$$

Lấy tích phân phương trình (14) theo chiều dài phần tử, ta được:

$$u_n = l_1 \int M dz + l_2 \int N dz + l_3 \int s' dz + D_3 \quad (15)$$

trong đó:

$$a_1 = -\frac{SE + y_0 AE}{AEIE - SE^2}; a_2 = \frac{y_0 SE + AE}{AEIE - SE^2};$$

$$a_3 = -\frac{SESE_2 + y_0(SE_2 AE_1 - SE_1 AE_2) - AE_2 IE}{AEIE - SE^2}$$

$$b_1 = \frac{AE}{AEIE - SE^2}; b_2 = -\frac{SE}{AEIE - SE^2}; b_3 = \frac{SE_1 AE_2 - SE_2 AE_1}{AEIE - SE^2}$$

$$l_1 = a_1 + y_0 b_1; l_2 = a_2 + y_0 b_2; l_3 = a_3 + y_0 b_3 + 1$$

2.2.3 Phương trình chuyển vị và biến dạng trượt s, s'

Xét phần tử 1 của dầm LH với trạng thái giải phóng liên kết tự do như hình 3.

Thay (8), (9) vào (5), ta được:

$$N_1 = q_1 M + q_2 N + q_3 s' \quad (16)$$

trong đó:

$$q_1 = \frac{SE_1 AE_2 - SE_2 AE_1}{AEIE - SE^2}; q_2 = \frac{AE_1 IE - SE_1 SE}{AEIE - SE^2}; q_3 = \frac{SE_1^2 AE_2 + SE_2 AE_1 - IE AE_1 AE_2}{AEIE - SE^2}$$

Phương trình cân bằng phần tử 1 như sau:

$$(N_1 + \frac{dN_1}{dz} \delta z + q \delta z) - N_1 = 0 \quad (17)$$

Từ (4), (16) và (17), ta được phương trình sau:

$$\alpha \frac{d^2 s}{dz^2} - ks = \alpha_1 \frac{dM}{dz} + \alpha_2 \frac{dN}{dz} \quad (18)$$

$$\alpha s'' - ks = \alpha_1 M' + \alpha_2 N' \quad (19)$$

Trong đó: $\alpha = -\frac{SE_1^2 AE_2 + SE_2^2 AE_1 - IE AE_1 AE_2}{AEIE - SE^2}; \alpha_1 = \frac{SE_1 AE_2 - SE_2 AE_1}{AEIE - SE^2}$

$$\alpha_2 = \frac{AE_1 IE - SE_1 BE}{AEIE - SE^2}$$

Giải phương trình (19), ta được nghiệm tổng quát như sau:

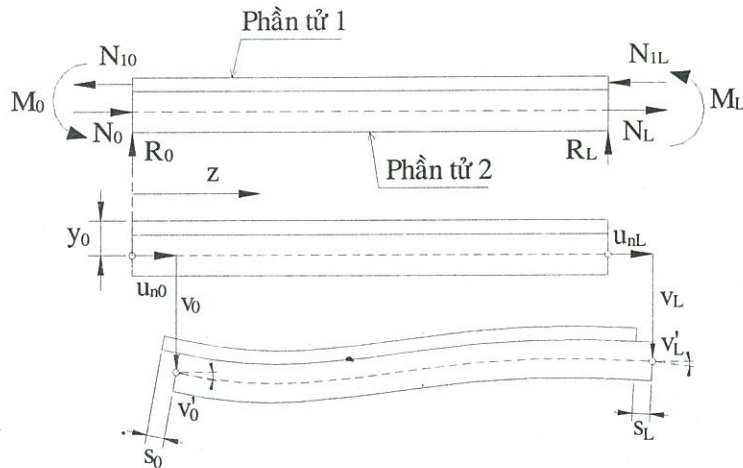
$$s = C_1 e^{\mu z} + C_2 e^{-\mu z} + s_{0,p} \quad (20)$$

Trong đó: $\mu^2 = \frac{k}{\alpha}$; $s_{0,p}$: là nghiệm riêng phụ thuộc vào tải tác dụng

2.3. Thiết lập ma trận độ cứng k – véc tơ tải tương đương

2.3.1 Phương trình cân bằng

Xét phần tử dầm LH chịu tác dụng của tải phân bố đều w . Véc tơ chuyển vị phần tử gồm có 8 bậc tự do, mỗi nút gồm 4 bậc tự do. Các thành phần chuyển vị nút phần tử gồm: chuyển vị đứng, góc xoay, chuyển vị trượt dọc mô tả như hình 4.



Hình 4: Các thành phần chuyển vị và phản lực nút phần tử

Phương trình cân bằng tổng quát của phần tử dầm LH biểu diễn quan hệ giữa các thành phần chuyển vị nút và phản lực nút như sau:

$$\begin{bmatrix}
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & k_{17} & k_{18} \\
 & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} & k_{28} \\
 & & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} & k_{38} \\
 & & & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} & k_{48} \\
 & & & & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} \\
 & & & & & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\
 & & & & & & k_{77} & k_{78} \\
 SYM & & & & & & & k_{88}
 \end{bmatrix} \{q\} = \{g\} + \{g_{eq}\} \quad (21)$$

trong đó: $\{q\} = [u_{n0}, v_0, v_0', s_0, u_{nL}, v_L, v_L', s_{1L}]^T$

$\{g\} = [N_0, R_0, M_0, N_{10}, N_L, R_L, M_L, N_{1L}]^T$

$\{q\}, \{g\}$: véc tơ chuyển vị phần tử, véc tơ phản lực nút

$\{g_{eq}\}$: véc tơ phản lực nút tương đương do tải trọng phân bố đều gây ra

2.3.2 Xác định ma trận độ cứng K

Các hệ số của ma trận độ cứng K được thiết lập theo phương trình tổng quát của phần tử cơ bản, phần tử không chịu tác dụng của tải trọng ngoài, bằng cách lần lượt gán các chuyển vị đơn vị cho các thành phần của véc tơ chuyển vị phần tử.

Thành phần nội lực tại vị trí z và nghiệm của phương trình (20) của dầm cơ bản như sau:

$$M = -M_0 + R_0 z; N = -N_0; \tag{22}$$

$$s = C_1 e^{\mu z} + C_2 e^{-\mu z} - \frac{\alpha_1}{k} R_0 \tag{23}$$

2.3.2.1 Xác định hệ số cột thứ nhất của ma trận K

Gán chuyển vị đơn vị cho thành phần thứ nhất của q, khi đó ta có:

$$\{q\} = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]_{(1)}^T \tag{24}$$

Từ (21) và (24), ta có:

$$\left[\begin{array}{cccccccc} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & k_{17} & k_{18} \\ & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} & k_{28} \\ & & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} & k_{38} \\ & & & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} & k_{48} \\ & & & & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} \\ & & & & & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\ & & & & & & k_{77} & k_{78} \\ & & & & & & & k_{88} \end{array} \right] \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 \\ R_0 \\ M_0 \\ N_{10} \\ N_{10} \\ R_L \\ M_L \\ N_{1L} \end{bmatrix}_{(1)} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{21} \\ k_{31} \\ k_{41} \\ k_{51} \\ k_{61} \\ k_{71} \\ k_{81} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 \\ R_0 \\ M_0 \\ N_{10} \\ N_{10} \\ R_L \\ M_L \\ N_{1L} \end{bmatrix}_{(1)} \tag{25}$$

Các hệ số của cột thứ nhất của ma trận K được xác định theo (25). Các phân lực nút được xác định từ các phương trình (10), (11), (15), (16), (22) và (23). Sử dụng 5 điều kiện để xác định các hệ số C₁, C₂, D₁, D₂ và D₃ như sau:

$$s_0 = 0 \Leftrightarrow C_1 e^{\mu z} + C_2 e^{-\mu z} - \frac{\alpha_1}{k} R_0 \Big|_{z=0} = 0 \tag{26}$$

$$s_L = 0 \Leftrightarrow C_1 e^{\mu z} + C_2 e^{-\mu z} - \frac{\alpha_1}{k} R_0 \Big|_{z=L} = 0 \tag{27}$$

$$v_0 = 0 \Leftrightarrow b_1 \iint M dz dz + b_2 \iint N dz dz + b_3 \iint s' dz dz + D_1 z + D_2 \Big|_{z=0} = 0 \tag{28}$$

$$v_L = 0 \Leftrightarrow b_1 \iint M dz dz + b_2 \iint N dz dz + b_3 \iint s' dz dz + D_1 z + D_2 \Big|_{z=L} = 0 \tag{29}$$

$$u_{n0} = 1 \Leftrightarrow l_1 \int M dz + l_2 \int N dz + l_3 \int s' dz + D_3 \Big|_{z=0} = 1 \tag{30}$$

Sử dụng 3 điều kiện tiếp theo xác định các thành phần phân lực nút N₀, R₀, M₀ như sau:

$$v'_0 = 0 \Leftrightarrow b_1 \iint M dz dz + b_2 \iint N dz dz + b_3 \iint s' dz dz + D_1 \Big|_{z=0} = 0 \tag{31}$$

$$v'_L = 0 \Leftrightarrow b_1 \iint M dz dz + b_2 \iint N dz dz + b_3 \iint s' dz dz + D_1 \Big|_{z=L} = 0 \tag{32}$$

$$u_{nL} = 0 \Leftrightarrow l_1 \int M dz + l_2 \int N dz + l_3 \int s' dz + D_3 \Big|_{z=L} = 0 \tag{33}$$

Các thành phần phản lực nút N_L, R_L, M_L xác định theo điều kiện cân bằng của phần tử cơ bản và phương trình (22). Các thành phần phản lực nút $N_{10}; N_{1L}$ được xác định theo phương trình cân bằng của phần tử 1 từ phương trình (16) như sau:

$$N_{10} = N_1|_{z=0}; N_{1L} = -N_1|_{z=L} \tag{34}$$

Vậy các hệ số của cột thứ 1 được xác định

Tương tự, các hệ số của cột thứ 2 đến 8 của ma trận K cũng được xác định như trên.

2.3.2.2 Xác định véc tơ tải phản lực nút tương đương do tải phân bố đều w gây ra

Thành phần nội lực của phần tử chịu tác dụng của tải w tại z và nghiệm của (20) như sau:

$$M = -M_0 + R_0z - \frac{wz^2}{2}; N = -N_0 \tag{35}$$

$$s = C_1e^{\mu z} + C_2e^{-\mu z} - \frac{\alpha_1}{k}R_0 + \frac{\alpha_1 w}{k}z \tag{36}$$

Gán các thành phần chuyển vị của véc tơ tải phần tử bằng không, ta có:

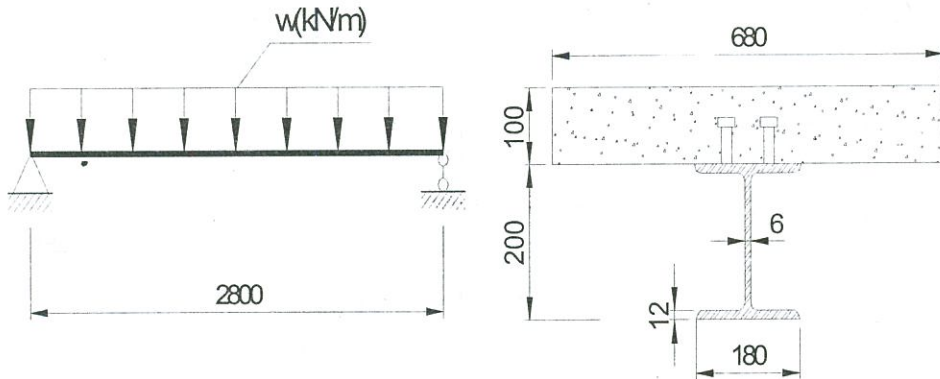
$$\{d\} = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]_{(q)}^T \tag{37}$$

Tương tự như 2.3.2.1, ta xác định được hệ số của véc tơ tải tương đương do w gây ra.

3. VÍ DỤ MINH HỌA

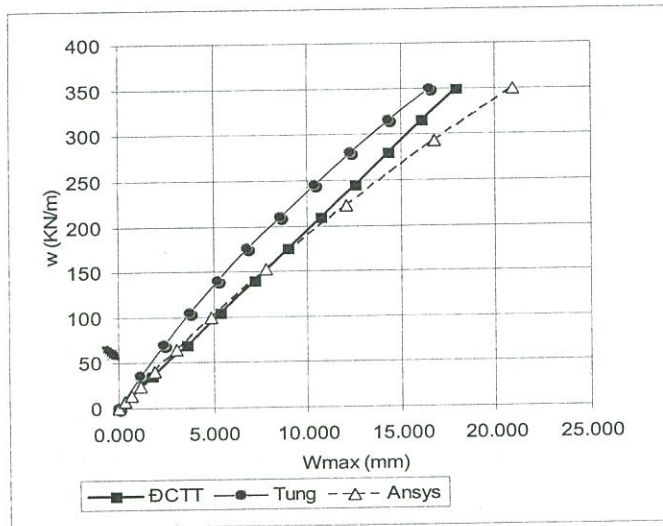
3.1 Dầm liên hợp đơn giản chịu tác dụng của tải phân bố đều w

Xét dầm đơn giản có sơ đồ tính và đặc trưng mặt cắt tiết diện như hình 5. Mô đun đàn hồi vật liệu của bê tông, thép lần lượt là: $E_c=2.1e7KPa, E_s=2.1e8KPa$; độ cứng liên kết cắt $k=122.24e3KPa$. Phương pháp ma trận độ cứng trực tiếp áp dụng cho bài toán với mô hình một phần tử. Xét ứng xử của dầm với các cấp tải khác nhau.



Hình 5: Sơ đồ tính và mặt cắt tiết diện của dầm LH

Khảo sát giá trị chuyển vị đứng ở giữa nhịp của dầm. So sánh kết quả tính toán với kết quả của các phương pháp khác: nhóm tác giả Hoàng Tùng, Faella với lời giải phương trình vi phân cơ bản của mô hình Newmark; phần mềm PTHH Ansys [6]. Kết quả cho thấy với cấp tải nhỏ hơn 300KN/m phương pháp ĐCTT có sai số so với Ansys từ 0,5% đến 10%, trong khi đó phương pháp của tác giả Hoàng Tùng, Faella có sai số với Ansys từ 22% đến 30%. Kết quả so sánh cho thấy phương pháp ĐCTT có sai số với Ansys ít hơn, có độ tin cậy cao khi sử dụng. Kết quả so sánh thể hiện ở bảng 1 và hình 6.



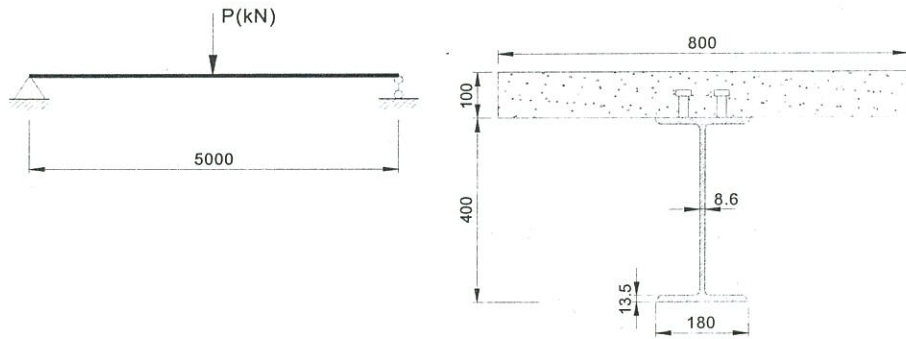
Hình 6: Biểu đồ so sánh w_{max} các phương pháp

Bảng 1: Kết quả tính toán của các phương pháp

ĐCTT (1)		Tung, Faella (2)		Ansys (3)		Sai số (2)&(3) (%)	Sai số (1)&(3) (%)
Cấp tải	w_{max} (mm)	Cấp tải	w_{max} (mm)	Cấp tải	w_{max} (mm)	Giá trị xét theo cấp tải của ĐCTT	
0	0.000	0	0.000	0	0.000		
35	1.794	35	1.139	7	0.326	-30.52	9.38
70	3.588	70	2.379	14	0.652	-28.96	7.12
105	5.381	105	3.738	24.5	1.142	-28.13	3.47
140	7.175	140	5.220	40.3	1.895	-26.92	0.45
175	8.969	175	6.823	63.9	3.056	-25.85	-2.53
210	10.763	210	8.544	99.3	4.883	-24.59	-5.01
245	12.557	245	10.378	152.5	7.830	-23.75	-7.74
280	14.350	280	12.320	222.5	12.070	-22.66	-9.92
315	16.114	315	14.365	292.5	16.791	-22.10	-12.61
350	17.938	350	16.508	350	20.956	-21.23	-14.40

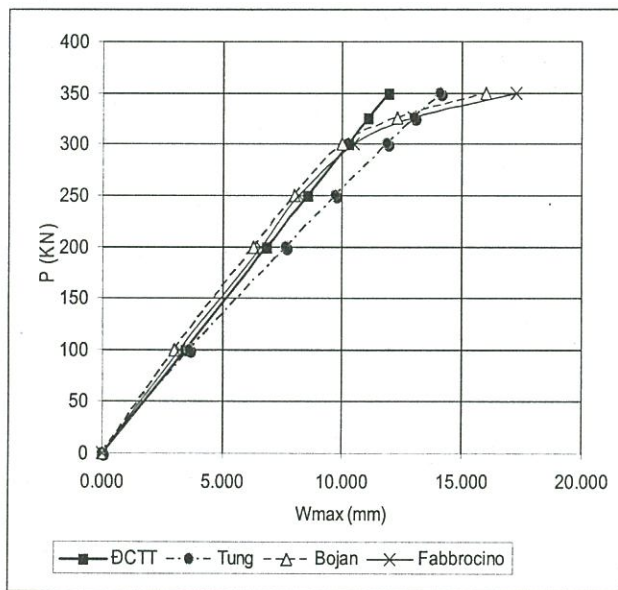
3.2 Dầm liên hợp đơn giản chịu tác dụng của lực tập trung P ở giữa nhịp

Xét dầm đơn giản có sơ đồ tính và đặc trưng mặt cắt tiết diện như hình 7. Mô đun đàn hồi vật liệu của bê tông, thép lần lượt là: $E_c=2.1e7KPa$, $E_s=2.1e8KPa$; độ cứng liên kết cắt $k=184.85e3KPa$. Phương pháp ĐCTT áp dụng cho bài toán với mô hình hai phần tử. Xét ứng xử của dầm với các cấp tải khác nhau.



Hình 7: Sơ đồ tính và mặt cắt tiết diện của dầm LH

Khảo sát chuyển vị ở vị trí giữa nhịp của dầm. So sánh kết quả tính toán với kết quả của phương pháp khác: các kết quả tính toán và số liệu thực nghiệm của nhóm Bojam Cas (2004); nhóm Fabbrocino.(1999) [6]; kết quả tính toán của Hoàng Tùng. Kết quả cho thấy với cấp tải nhỏ hơn 300KN, phương pháp ĐCTT có sai số so với nhóm Bojan Cas từ 2,5% đến 14%; với nhóm Fabbrocino từ 2,3% đến 6,8%; trong khi phương pháp của Hoàng Tùng có sai số khá cao so với kết quả thực nghiệm. Kết quả so sánh thể hiện ở bảng 2 và hình 8.



Hình 8: Biểu đồ so sánh w_{max} các trường hợp

Bảng 2: Kết quả tính toán của các phương pháp

Cấp tải	Giá trị w_{max} của các phương pháp w_{max} (mm)				So sánh (%)		
	ĐCTT (1)	Tung (2)	Bojan Cas (3)	Fabbrocino (4)	(1)&(2)	(1)&(3)	(1)&(4)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
100	3.418	3.635	3.000	3.200	-6.0	13.9	6.8

200	6.836	7.638	6.300	6.600	-10.5	8.5	3.6
250	8.545	9.738	8.000	8.200	-12.3	6.8	4.2
300	10.254	11.900	10.000	10.500	-13.8	2.5	-2.3
325	11.108	13.011	12.300	13.000	-14.6	-9.7	-14.6
350	11.962	14.122	16.000	17.300	-15.3	-25.2	-30.9

Như vậy, qua hai ví dụ chứng tỏ phương pháp ĐCTT có kết quả khá tốt so với Ansys và kết quả thực nghiệm. Với cấp tải nhỏ hơn 300KN thì sai số nhỏ hơn 10%. Khi cấp tải lớn hơn 300KN thì sai số từ 12% đến 25%. Ứng xử của dầm LH là hoàn toàn phi tuyến, tuy nhiên với cấp tải nhỏ hơn 60% khả năng chịu lực cực hạn thì có thể xem là tuyến tính. Đồng thời nếu xét theo tiêu chuẩn Eurocode 4: ENV 1994 và tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Việt Nam TCXDVN 338:2005 để so sánh thì khi tải trọng lớn hơn 350KN thì độ võng của dầm đã vượt quá giới hạn cho phép $L/250$. Điều này chứng tỏ phương pháp ĐCTT có độ chính xác khá cao để khảo sát dầm LH trong giai đoạn đàn hồi.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo tác giả giới thiệu phương pháp ĐCTT để phân tích dầm thép-bê tông liên hợp có xét đến biến dạng trượt do tương tác không toàn phần của liên kết chịu cắt. Phương pháp có ưu điểm là không sử dụng hàm xấp xỉ cho các hàm chuyển vị.

Kết quả thu được của phương pháp ĐCTT khá tin cậy so với kết quả tính toán của Ansys và các kết quả tính toán thực nghiệm. Mô hình tính toán đơn giản, phương pháp ĐCTT cần được nghiên cứu để ứng dụng phân tích ứng xử của kết cấu thép-bê tông liên hợp đa dạng hơn như dầm LH chịu tác dụng của các loại tải trọng khác nhau, dầm liên tục...

Bài báo này thực hiện trong khuôn khổ "Đề tài nghiên cứu cấp trường mã số T-KTXD-2007-31", Trường Đại Học Bách khoa, ĐHQG TP.HCM.

THE ANALYSIS OF CONCRETE - STEEL COMPOSITE BEAMS WITH PARTIAL INTERACTION OF SHEAR CONNECTORS USING DIRECT STIFFNESS METHOD

Nguyen Van Chung ⁽¹⁾, Bui Cong Thanh ⁽²⁾

(1) University of Technology, VNU-HCM

(2) Department of Strength and Structure, Faculty of Civil Engineering

ABSTRACT: *This paper presents a method for the analysis of concrete-steel composite beams using the direct stiffness method. In this method, no displacement approximation is needed. The stiffness matrix K is obtained directly by taking into account the partial interaction of the shearing connector by restraining all freedoms except the one related to the column consider, for which a unit displacement is imposed. A program using the direct stiffness method which is written in Matlab is applied to some simple illustrative examples. The results obtained are compared to those of the other methods.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Newmark NM, Siess CP, Vies IM. *Test and analysis of composite beams with incomplete interaction*. Proc Soc Exp Stress Anal, (1951).
- [2]. Yasunori Arizumi and Sumio Hamada. *Elastic-plastic analysis of composite beams with incomplete interaction by element method*. Computer & Structures; (1981).
- [3]. Faella C, Martinell E, Nigro E. *Steel and concrete composite beams with flexible shear connection: "exact" analytical expression of the stiffness matrix and application*. Computer & Struct, (2002).
- [4]. Ranzi G, Bradford MA. *Analytical solutions of time-dependent behaviour of composite beams with partial interaction*. Int J Solids Struct; (2006).
- [5]. Ranzi G, Bradford MA, *Direct stiffness of a composite beam-column element with partial interaction*. Computer & Structures; (2007).
- [6]. Đặng Hoàng Tùng, *Phân tích ảnh hưởng của lực cắt trong dầm thép-bê tông cốt thép liên hợp*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa Tp Hồ Chí Minh, (2006).