

Khảo sát số ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc tới khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước

Numerical investigation of the effect of longitudinal reinforcement ratio on shear resistance of prestressed concrete beams

> TS TRẦN VIỆT TÂM¹, KS TRẦN ĐÌNH KHẢI², KS NGUYỄN VŨ TRUNG NGHĨA³

¹ Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

² Công ty CP công nghệ và tư vấn thiết kế xây dựng RD

³ Công ty TNHH VSL Việt Nam

TÓM TẮT

Phá hoại do lực cắt trong kết cấu bê tông cốt thép ứng lực trước là dạng phá hoại giòn xảy ra đột ngột và nguy hiểm. Bài báo trình bày nghiên cứu khảo sát số ảnh hưởng hàm lượng cốt thép dọc chịu uốn (μ_s) tới khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước chịu tải trọng tập trung không bố trí cốt thép đai. Phương pháp khảo sát số bằng phần mềm mô phỏng Ansys cho kết quả chính xác cao, tiết kiệm chi phí làm thí nghiệm.

Từ khóa: Khảo sát số; khả năng chịu cắt; dầm bê tông cốt thép ứng lực trước; phần mềm Ansys.

ABSTRACT:

Shear failure in prestressed reinforced concrete structures is a brittle, sudden happen and hazardous. This paper presents a study to numerical investigate the influence of reinforcing ratio (μ_s) on shear resistance of prestressed concrete beams without stirrups and subjected to concentrated loads. The numerical investigate method by Ansys simulation software gives high accuracy results, saving the cost of doing experiments.

Keywords: Numerical simulation, investigate; shear resistance; prestressed reinforced concrete beams; Ansys software.

1. GIỚI THIỆU

Bài toán cường độ trên tiết diện nghiêng của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước (BTCT ÚLT) là một bài toán phức tạp do việc tính toán phụ thuộc vào nhiều tham số giống bài toán bê tông cốt thép (BTCT) thường, còn phụ thuộc vào ứng suất nén trước trong bê tông.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của Việt Nam TCVN 5574-2018[1] chưa xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc đến khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước. Bài báo trình bày các nghiên cứu khảo sát số ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc chịu uốn (HLCT) theo ứng suất nén trước trong bê tông (σ_p) đến khả năng chịu cắt (KNCC) của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước (BTCT ÚLT).

2. DỰ BÁO KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC THEO CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ

2.1. Tiêu chuẩn châu Âu EC2[5]

Kiểm tra điều kiện đảm bảo khả năng chịu cắt khi không bố trí cốt đai:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} + V_{Rd,s} \quad (1)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \leq V_{min} \quad (2)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2; \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02 \quad (3)$$

$$V_{min} = 0,035 (k)^{2/3} f_{ck}^{1/2} b_w d; C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma \quad (3a)$$

$$V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) z f_{ywd} \cot \theta \quad (4)$$

Trong đó:

- V_{Ed} , $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$: lực cắt lớn nhất, khả năng chịu cắt của bê tông, khả năng chịu cắt của cốt đai.
- f_{ck} , f_{yd} : cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông, cường độ chịu kéo của cốt thép đai khi tính toán khả năng chịu cắt.
- b_w , d , z : bề rộng, chiều cao và chiều cao làm việc của tiết diện.
- A_{sl} diện tích cốt thép dọc chịu uốn, σ_{cp} ứng suất nén trong bê tông.
- A_{sw} , s là diện tích cốt thép đai chịu cắt và khoảng cách cốt thép đai.
- θ , γ_c : Góc nghiêng phá hoại và hệ số độ tin cậy của bê tông.

2.2. Tiêu chuẩn Mỹ ACI-318-2019[6]

Kiểm tra điều kiện cường độ đảm bảo khả năng chịu cắt:

$$V_u \leq \phi V_n \quad V_n = V_c + V_s \quad (5)$$

Với cấu kiện bê tông cốt thép thường :

Khi $A_v \geq A_{v,min}$:

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(0,17\lambda\sqrt{f'_c} + N_u / 6A_g \right) b_w d \\ \left(0,66\lambda\rho_w^{1/3}\sqrt{f'_c} + N_u / 6A_g \right) b_w d \end{array} \right\} \quad (6a)$$

Khi $A_v < A_{v,min}$:

$$V_c = \left[0,66\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + N_u / 6A_g \right] b_w d \quad (6b)$$

Cấu kiện bê tông có ứng lực trước :

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(0,05\lambda\sqrt{f'_c} + 4,8V_u d_p / M_u \right) b_w d \\ \left(0,05\lambda\sqrt{f'_c} + 4,8 \right) b_w d \\ 0,42\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \end{array} \right\} \quad (7a)$$

$$V_c < \min(V_{ci}, V_{cw})$$

$$V_c < \left\{ \begin{array}{l} 0,05\lambda\sqrt{f'_c} b_w d_p + V_d + V_i M_{cre} / M_{max} \\ \left(0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc} \right) b_w d_p + V_p \end{array} \right\} \quad (7b)$$

Nếu cấu kiện có $A_{ps}f_{se} < 0,4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$ thì:

$$V_{ci} = 0,14\lambda\sqrt{f'_c} b_w d_p \quad (7c)$$

Cấu kiện có $A_{ps}f_{se} \geq 0,4(A_{ps}f_{pu} + A_s f_y)$ thì:

$$V_{ci} = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} b_w d_p \quad (7d)$$

$$V_s = A_v f_y d / s \quad (8)$$

Trong đó :

- V_u, N_u : lực cắt lớn nhất và lực dọc (nếu có) tác dụng, V_n là khả năng chịu cắt của tiết diện.

- V_c : khả năng chịu cắt của bê tông được lấy nhỏ nhất trong 2 giá trị V_{ci} và V_{cw} .

- V_{ci}, V_{cw} : khả năng chịu cắt của bê tông tại vị trí vết nứt nghiêng do tác dụng đồng thời lực cắt và mô men, khả năng chịu cắt của bê tông tại vị trí vết nứt nghiêng trên bụng dầm do ứng suất kéo lớn nhất gây ra.

- V_s : khả năng chịu cắt của cốt thép đai.

- f_c, f_y : cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông, cường độ chịu kéo khi cắt của cốt đai

- λ, ϕ : hệ số phụ thuộc loại bê tông, hệ số giảm khả năng chịu lực của tiết diện khi chịu cắt.

- b_w, d, d_p : bề rộng, chiều cao làm việc (tính đến trọng tâm bố trí cốt thép thường) và chiều cao làm việc tính đến trọng tâm thép ứng lực trước.

- A_g diện tích tiết diện bê tông, ρ_w hàm lượng cốt thép dọc.

- V_d, V_i : lực cắt do tính tải và lực cắt tương ứng cùng tổ hợp với M_{max} .

- M_{cre}, M_{max} mô men tạo ra vết nứt uốn và mô men lớn nhất tiết diện.

2.3. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2018 [1]

Điều kiện về cường độ là:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (9)$$

trong đó Q_b và Q_{sw} là khả năng chịu cắt của bê tông và cốt đai trên tiết diện nghiêng C:

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}bh_o^2}{C} \quad (10)$$

Giá trị của Q_b được khống chế trong khoảng:

$$Q_{b,min} = 0,5R_{bt}bh_o \leq Q_b \leq Q_{b,max} = 2,5R_{bt}bh_o \quad (11)$$

Tức là giá trị C , chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng, được khống chế trong khoảng: $0,6h_o \leq C \leq 3h_o$.

Trong các biểu thức (10) và điều kiện (11), R_{bt} là cường độ chịu kéo tính toán của bê tông.

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}C \quad (12)$$

với C được khống chế trong khoảng ($h_o; 2h_o$) với mọi tiết diện nghiêng dọc cấu kiện và q_{sw} là khả năng chịu cắt của cốt đai trên đơn vị chiều dài:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} \quad (13)$$

trong đó R_{sw}, A_{sw}, s lần lượt là cường độ chịu cắt tính toán của cốt thép đai, diện tích 1 lớp cốt đai và khoảng cách giữa các lớp cốt đai. Cốt đai được coi là tính toán nếu thỏa mãn điều kiện:

$$q_{sw} \geq q_{sw,min} = 0,25R_{bt}b \quad (14)$$

Ảnh hưởng của ứng suất nén và kéo khi tính toán dải bê tông giữa các tiết diện nghiêng và khi tính toán các tiết diện nghiêng cần được kể đến bằng hệ số ϕ_n mà về phải các điều kiện (9) phải nhân vào:

$$1 + \frac{\sigma_m}{R_b} \text{ khi } 0 \leq \sigma_m \leq 0,25R_b \quad (15a)$$

$$1,25 \text{ khi } 0,25R_b \leq \sigma_m \leq 0,75R_b \quad (15b)$$

$$5 \text{ khi } 0,75R_b \leq \sigma_m \leq R_b \quad (15c)$$

$$1 - \frac{\sigma_t}{2R_{bt}} \text{ khi } 0 \leq \sigma_t \leq R_{bt} \quad (15d)$$

Trong đó:

- σ_m : ứng suất nén trung bình trong bê tông do tác dụng của lực dọc, lấy dấu "dương".

- σ_t : ứng suất kéo trung bình trong bê tông do tác dụng của lực dọc, lấy dấu "dương".

Cho phép xác định các đại lượng σ_m và σ_t mà không kể đến cốt thép khi hàm lượng cốt thép dọc không quá 3%.

3. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

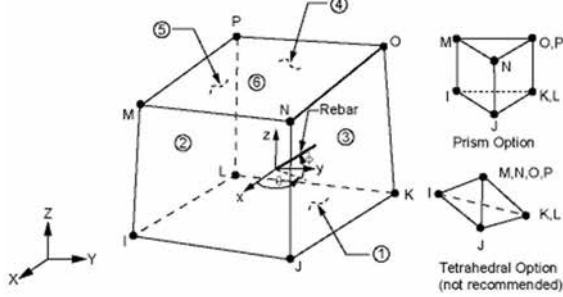
Mô phỏng số (FTA) sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) dựa trên cơ sở tính toán với vật liệu bê tông đàn dẻo thật, nên là công cụ rất tốt trong phân tích tìm dạng phá hoại do chọc thủng. Phương pháp PTHH đã khắc phục được những hạn chế của thực nghiệm như: không bao quát được các trường hợp thực tế; điều chỉnh trực tiếp các đặc tính cơ bản của bê tông như cường độ chịu kéo, năng lượng khi nứt; quan sát vết nứt ở bên trong; kinh phí làm thí nghiệm. Nghiên cứu sử dụng phần mềm mô phỏng Ansys[7] phiên bản 16 để khảo sát.

3.1. Phân tử trong mô hình

Các mẫu thí nghiệm được rời rạc hóa bởi các phần tử khối SOLID65, LINK180 và SOLID45.

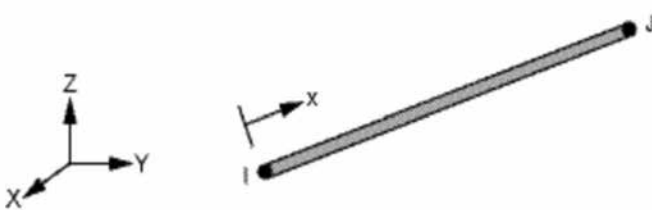
Phần tử SOLID65: được dùng để mô hình hóa cho bê tông. Phần tử gồm tám nút với ba bậc tự do tại mỗi nút theo phương x, y, z. Tính chất quan trọng của phần tử này là cho phép định nghĩa vật liệu phi

tuyến, xét được nút (theo ba phương), nén vỡ, biến dạng dẻo và từ biến, dùng để mô tả vật liệu bê tông có chứa hàm lượng cốt thép.



Hình 1. Dạng hình học của SOLID65

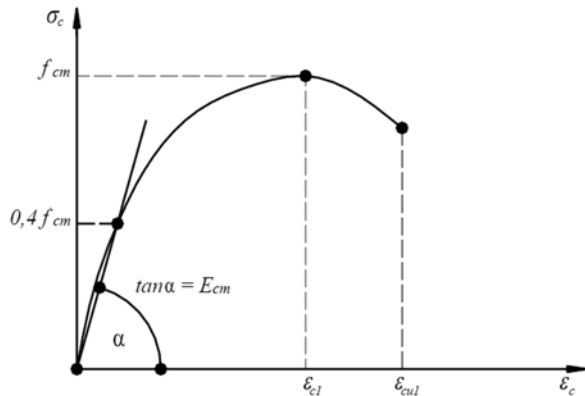
Phần tử LINK180: Được dùng để mô hình hóa cho cốt thép và cốt thép ứng lực. Phần tử gồm hai nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo các phương x, y, z. Phần tử chịu kéo, nén một trục, và có khả năng biến dạng dẻo, dùng để mô phỏng cốt thép đặt bên trong bê tông. Dạng hình học, vị trí các nút và hệ tọa độ của phần tử cho ở hình 2:



Hình 2. Dạng hình học của phần tử LINK180

3.2. Mô hình vật liệu

• Bê tông



Hình 3. Mô hình quan hệ ứng suất- biến dạng của bê tông theo EC2

Theo tiêu chuẩn EC2 thì bê tông thường chịu nén một trục theo phương trình (16), hình 3:

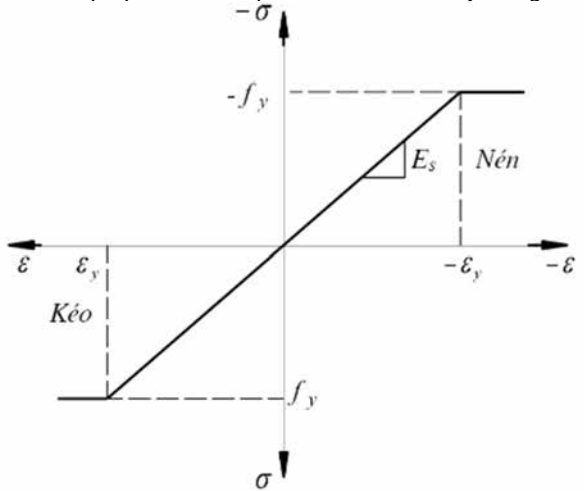
$$\frac{\sigma}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \tag{16}$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \quad k = 1,05 E_{cm} \frac{|\epsilon_{c1}|}{f_{cm}} \tag{17}$$

Trong đó ϵ_{c1} là biến dạng nén của bê tông tại ứng suất lớn nhất.

• Cốt thép

Mô hình vật liệu cho cốt thép là mô hình đàn dẻo lý tưởng, hình 4:



Hình 4. Mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép

3.3. Tiêu chuẩn phá hoại

Tiêu chuẩn phá hoại của William và Warnke trong ANSYS được sử dụng cho mô phỏng này. bê tông sẽ bị nứt hoặc bị nén vỡ nếu thỏa mãn điều kiện ở phương trình (18):

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \tag{18}$$

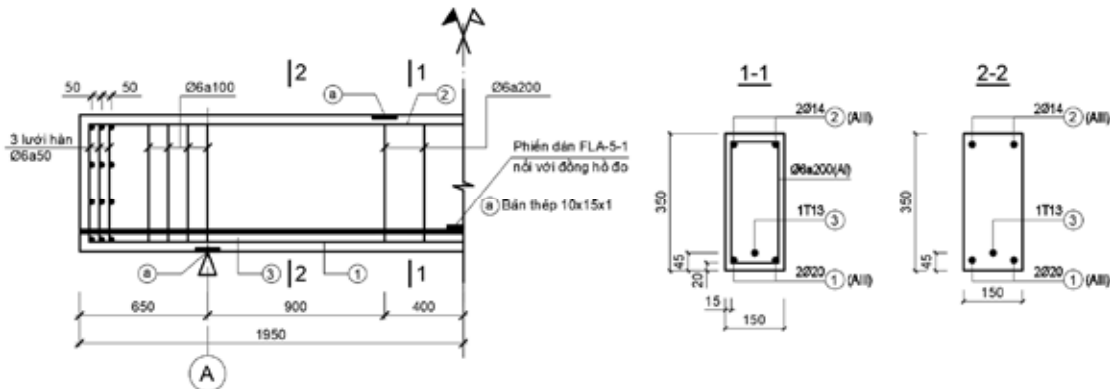
Trong đó:

- F: hàm của trạng thái ứng suất chính: $(\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp})$.
- $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$: ứng suất chính theo các phương chính x, y, z.
- S: mặt phá hoại được biểu diễn bởi những giá trị ứng suất chính và năm thông số $f_t, f_c, f_{cb}, f_1, f_2$.
- f_t, f_c : cường độ chịu kéo và nén một trục của bê tông.

Bê tông bị nén vỡ khi ứng suất nén đạt giá trị cường độ f_c , bê tông khi bị nứt khi có một thành phần ứng suất chính vượt quá giá trị cường độ chịu kéo f_t .

3.4. Kiểm chứng mô hình

Sử dụng mô hình thí nghiệm của tác giả Nguyễn Ngọc Phương [4] theo hình 5:



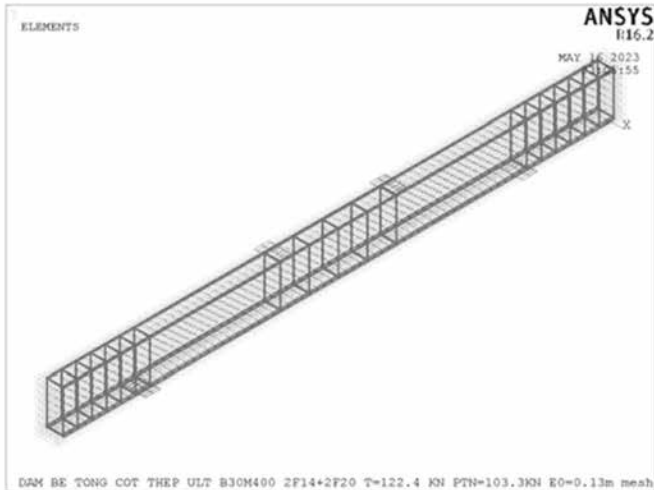
Hình 5. Mô hình thí nghiệm của tác giả Nguyễn Ngọc Phương [4]

- Tiết diện dầm $b \times h \times l = 150 \times 350 \times 3900$ mm, có nhịp chịu cắt $a = 900$ mm và lớn hơn $2,5h_0 = 800$ mm.

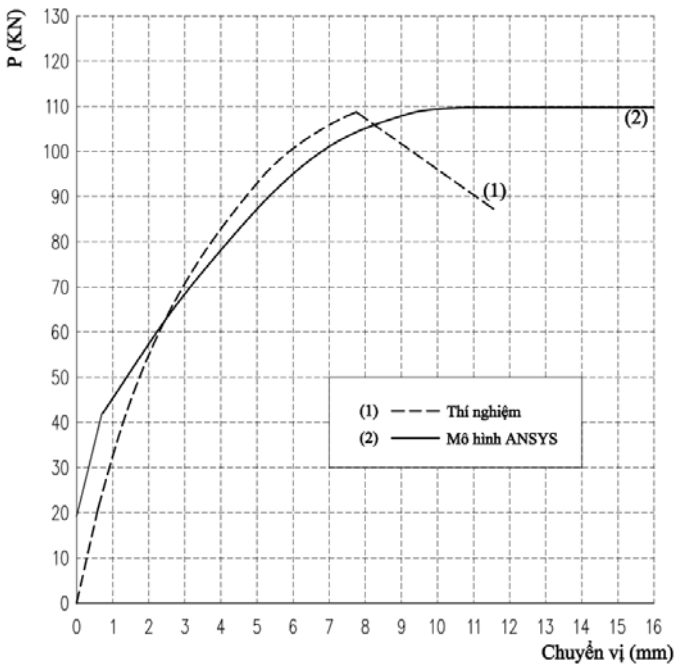
- Bê tông có cường độ mẫu thử lập phương trung bình $R_m=49,5$ MPa.

- Cốt thép phía dưới bố trí 2 ϕ 20, thép phía trên 2 ϕ 14. Sử dụng thép CB400-V có $R_{sm}=400$ MPa.

- Thép ứng lực trước 1 thanh T13 có đường kính danh nghĩa 12,7 mm, giới hạn chảy $f_{pu}=1860$ MPa. Cáp được đặt cách trọng tâm tiết diện 130 mm (Hình 5), cáp được kéo để tạo ra ứng suất nén trung bình là 2,33 MPa.



Hình 6. Mô hình dầm BTCT ULT trong phần mềm Ansys



Hình 7. Biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị điểm giữa dầm

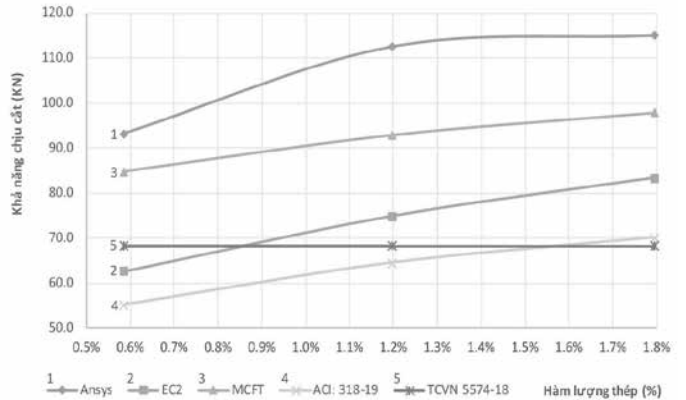
Bảng 1. So sánh kết quả thí nghiệm và mô hình Ansys

Mô hình	P_{ph} (kN)	Độ võng (mm)
Thí nghiệm	107,3	6,8
ANSYS	103,5	7,7
Sai số (%)	3,5	13,2

Kết quả cho thấy sai số giữa lực phá hoại tính từ Ansys (P_{ans}) và lực phá hoại từ thí nghiệm (P_{tn}) nhỏ và $P_{tn} > P_{ans}$ nên mô hình số bằng Ansys có độ tin cậy cao, có thể sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến khả năng chịu cắt của dầm BTCT ULT.

4. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG CỐT THÉP

4.1. Trường hợp ứng suất nén trước $\sigma_b = 2,33$ MPa

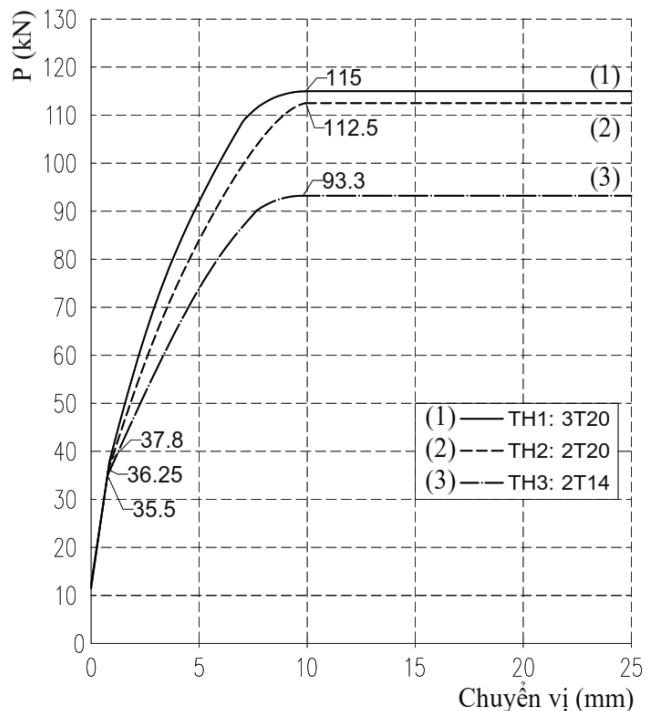


Hình 8. Biểu đồ KNCC của dầm BTCT ULT có $\sigma_b=2,33$ MPa theo hàm lượng thép

Bảng 2. Bảng KNCC của dầm BTCT ULT có $\sigma_b=2,33$ MPa theo một số phương pháp

μ (%)	Q_{Ansys} (kN)	Q_{EC2} (kN)	Q_{ACI} (kN)	Q_{TCVN} (kN)	Q_{MCFT}^* (kN)
0,59	93,25	62,7	55,2	68,2	84,8
1,20	112,5	74,8	64,5	68,2	92,9
1,79	115,0	83,3	70,1	68,2	97,9

* MCFT: Phương pháp miền nén cải tiến tính bằng Response 2000



Hình 9. Biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị điểm giữa dầm BTCT ULT có $\sigma_b=2,33$ MPa

Bảng 3. Bảng các giai đoạn hình thành vết nứt *dầm BTCT ULT có*

$\sigma_b=2,33 \text{ MPa}$

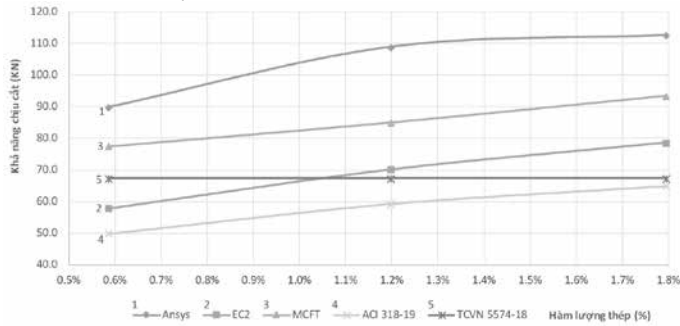
Giai đoạn	Trạng thái	Tải trọng P (kN)		
		2Ø14	2Ø20	3Ø20
1	Xuất hiện nứt giữa dầm	35,5	36,25	37,8
2	Xuất hiện vết nứt xiên mép gối	76,0	80,0	82,3
3	Dầm bị phá hoại	93,3	112,5	115,0



Hình 10. Hình dạng vết nứt dầm tại thời điểm $P_{449} = 112,5 \text{ kN}$ *dầm BTCT ULT có*

$\sigma_b=2,33 \text{ MPa}$

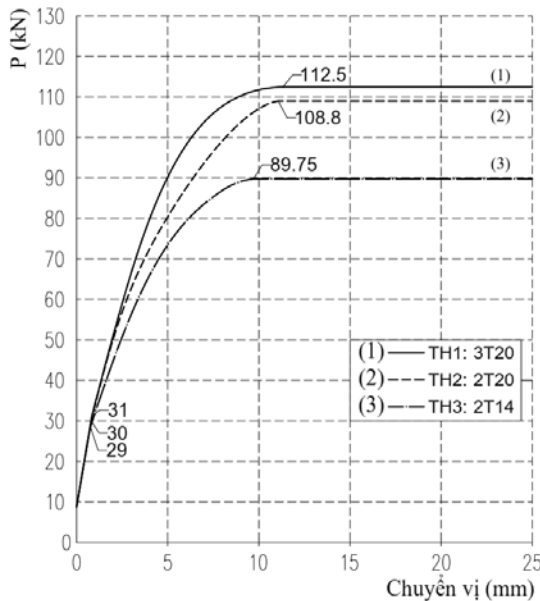
4.2. Trường hợp ứng suất nén trước $\sigma_p=1,67 \text{ MPa}$



Hình 11. Biểu đồ KNCC của dầm BTCT ULT có $\sigma_b=1,67 \text{ MPa}$ theo hàm lượng thép

Bảng 4. Bảng KNCC của dầm có $\sigma_b=1,67 \text{ MPa}$ theo một số phương pháp

μ (%)	Q_{Ansys} (kN)	Q_{EC2} (kN)	Q_{ACI} (kN)	Q_{TCVN} (kN)	Q_{MCFT} (kN)
0,59	89,8	57,9	49,9	67,4	64,4
1,20	108,8	70,1	59,3	67,4	79,3
1,79	112,5	78,6	64,9	67,4	87,6

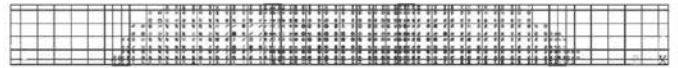


Hình 12. Biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị điểm giữa dầm BTCT ULT có $\sigma_b=1,67 \text{ MPa}$

Bảng 5. Bảng các giai đoạn hình thành vết nứt *dầm BTCT ULT có*

$\sigma_b=1,67 \text{ MPa}$

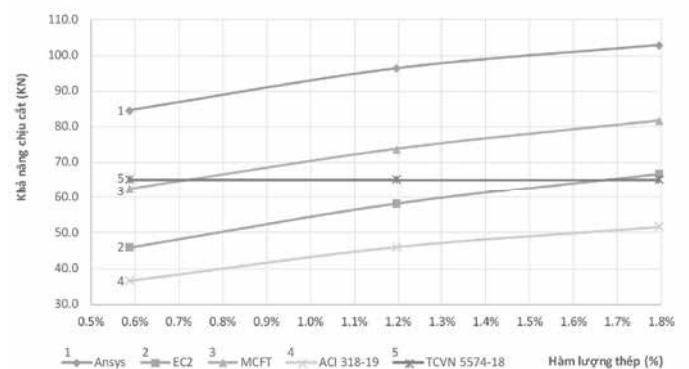
Giai đoạn	Trạng thái	Tải trọng P (kN)		
		2Ø14	2Ø20	3Ø20
1	Xuất hiện nứt giữa dầm	29,0	30,0	31,0
2	Xuất hiện vết nứt xiên mép gối	72,3	73,5	74,8
3	Dầm bị phá hoại	89,75	108,8	112,5



Hình 13. Hình dạng vết nứt dầm tại thời điểm $P_{436} = 108,8 \text{ kN}$ *dầm BTCT ULT có*

$\sigma_b=1,67 \text{ MPa}$

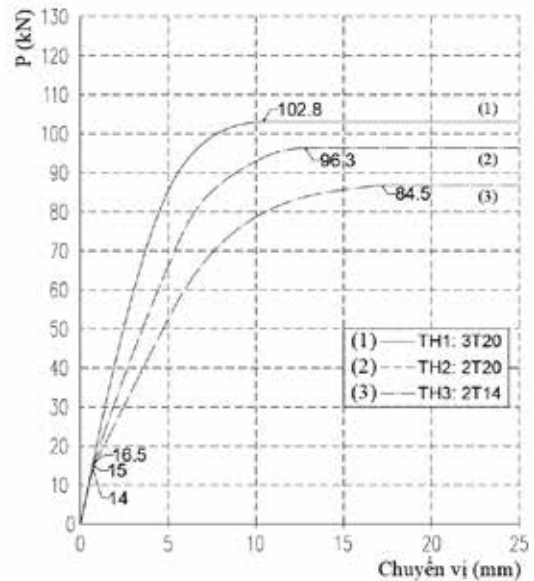
4.3. Trường hợp không ứng lực trước ($\sigma_b=0$)



Hình 14. Biểu đồ KNCC của dầm BTCT ($\sigma_b=0$) theo hàm lượng thép

Bảng 6. Bảng KNCC của dầm BTCT ($\sigma_b=0$) theo một số phương pháp

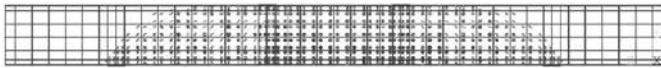
μ (%)	Q_{Ansys} (kN)	Q_{EC2} (kN)	Q_{ACI} (kN)	Q_{TCVN} (kN)	Q_{MCFT} (kN)
0,59	84,5	45,9	36,6	65,2	62,4
1,20	96,3	58,3	46,1	65,2	73,7
1,79	102,5	66,7	51,7	65,2	81,6



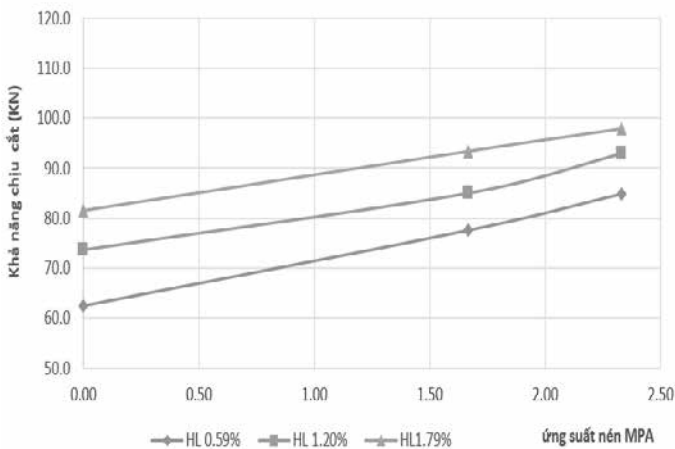
Hình 15. Biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị điểm giữa dầm BTCT ($\sigma_b=0$)

Bảng 7. Bảng các giai đoạn hình thành vết nứt dầm BTCT ÚLT có $\sigma_b=0$

Giai đoạn	Trạng thái	Tải trọng P (kN)		
		2Ø14	2Ø20	3Ø20
1	Xuất hiện nứt giữa dầm	14,0	15,0	16,5
2	Xuất hiện vết nứt xiên mép gối	48,5	50,0	60,0
3	Dầm bị phá hoại	84,5	96,3	102,8

**Hình 16.** Hình dạng vết nứt dầm tại thời điểm $P_{386} = 96,3\text{kN}$ dầm BTCT ($\sigma_b=0$)

4.4. Quan hệ giữa khả năng chịu cắt của dầm BTULT theo ứng suất nén trước trong bê tông

**Hình 17.** Quan hệ giữa ứng suất nén trước trong bê tông và khả năng chịu cắt của dầm BTCT ÚLT

4.5. Một số nhận xét từ kết quả khảo sát

- Các kết quả khảo sát với các ứng suất nén trước khác nhau đều cho thấy khả năng chịu cắt của dầm ứng lực trước phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép dọc bố trí trong dầm. Theo kết quả khảo sát số bằng phần mềm Ansys thì từ các bảng 2, bảng 4 và bảng 6 thì khi bố trí thép dọc tăng từ 2f14 ($\mu_s=0,59\%$) lên 2f20 ($\mu_s=1,20\%$) thì khả năng chịu cắt của dầm tăng 19,5%, từ 2f14 lên 3f20 ($\mu_s=1,79\%$) thì khả năng chịu cắt tăng 23,3%.

- Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép tính theo các phương pháp khác nhau đến khả năng chịu cắt của dầm bê tông ứng lực trước như phương pháp miền nén cải tiến (MCFT), theo tiêu chuẩn EC2, ACI 318-2019 cho các trị số tăng khác nhau, trung bình chung của các phương pháp tăng 25,0% khi tăng cốt thép dọc từ 2φ14 ($\mu_s=0,59\%$) lên 3φ20 ($\mu_s=1,79\%$).

- Từ bảng 3, bảng 5 và bảng 7, khi tăng hàm lượng cốt thép dọc thì tải trọng gây vết nứt thẳng góc ban đầu tăng không đáng kể, nhưng tải trọng gây ra vết nứt xiên theo phương từ điểm đặt lực tập trung đến gối kê thì tăng đáng kể. Dầm bị phá hoại sau khi xuất hiện các vết nứt xiên này.

- Từ hình 9, hình 12, hình 15 thì khi tăng hàm lượng cốt thép dọc thì độ cứng của dầm tăng lên, độ võng tại lực phá hoại sẽ giảm đi.

- Việc tạo ứng lực trước tạo ra ứng suất nén trước trong bê tông làm tăng khả năng chịu cắt của Dầm. Khả năng chịu cắt của dầm bê tông ứng lực trước tăng gần như tuyến tính khi tăng ứng suất nén trước trong dầm (Hình 17).

V. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát số bằng phần mềm Ansys theo phương pháp phần tử hữu hạn, phần mềm Response 2000 theo phương pháp MCFT đều cho thấy khả năng chịu cắt của dầm BTCT ÚLT phụ thuộc rõ rệt vào hàm lượng cốt thép dọc chịu uốn. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc đã được kể đến trong các tiêu chuẩn tiên tiến như EC2, ACI 318-2019..., cần được bổ sung vào tiêu chuẩn thiết kế hiện hành của Việt Nam TCVN 5574-2018.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 5574:2018. Thiết kế bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [2] Minh, P. Q., Phong, N. T., Thăng, N. T., Tùng, V. M. (2021). Kết cấu bê tông cốt thép (phần cấu kiện cơ bản) TCVN 5574:2018. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [3] Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng (2021). Hướng dẫn tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [4] Minh, P. Q., Phuong, N. N. (2008). Khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước. Luận án tiến sỹ kỹ thuật.
- [5] EN 1992-1-1:2004 (2004). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [6] ACI 318-2019 (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
- [7] ANSYS (2013). *Documentation for ANSYS*. Inc Theory reference.