

Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu đến khả năng chịu cắt của sàn phẳng bê tông cốt thép

A study on the effects of material properties on the shear capacity of reinforced concrete slabs

> ĐÀO CÔNG BÌNH¹, NGUYỄN PHÙNG TÀI LONG^{2,*}, NGUYỄN THANH HÀ³,
DƯƠNG THANH QUỲNH³, NGUYỄN MẠNH CƯỜNG³

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

²Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật

³Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: longtailongtai@gmail.com

TÓM TẮT

Khi tính toán thiết kế sàn phẳng không dầm bê tông cốt thép (BTCT), do chiều dày kết cấu sàn cần hạn chế để giảm tải trọng và tăng khả năng vượt nhịp nên một trong những vấn đề thiết kế cần quan tâm là làm thế nào để tăng khả năng chống chịu lại lực cắt do tải trọng ngoài gây ra để đảm bảo sàn không bị phá hoại do lực cắt đặc biệt là tại các vị trí bản sàn được kê trực tiếp lên đầu cột.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm ABAQUS để xây dựng mô hình mô phỏng và phân tích khả năng chịu cắt của sàn bê tông cốt thép chịu tải trọng tập trung cũng như so sánh khả năng chịu cắt của sàn khi tính theo TCVN 5574:2018 và một số tiêu chuẩn Quốc tế làm cơ sở để xuất giải pháp tăng khả năng chịu cắt cho sàn phẳng không dầm BTCT trong thực tế.

Từ khóa: Sàn phẳng không dầm; chịu cắt; chọc thủng.

ABSTRACT

In the design of reinforced concrete flat slabs, the slab thickness is generally limited to reduce self-weight and enhance span capacity. Consequently, improving shear capacity, particularly punching shear resistance at slab-column connections where the slab is directly supported by columns, is a critical design consideration.

In this study, a numerical model is developed using ABAQUS to investigate the punching shear capacity of reinforced concrete flat slabs subjected to concentrated loading. The numerical results are compared with the shear capacities predicted by TCVN 5574:2018 and selected international design standards. Based on these comparisons, practical measures are proposed to enhance the punching shear capacity of reinforced concrete flat slabs.

Keywords: Flat slab; shear capacity; punching shear.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu sàn phẳng BTCT là loại kết cấu sàn thường được lựa chọn sử dụng trong các công trình nhà nhiều tầng như văn phòng, chung cư, khách sạn,... do đáp ứng được các yêu cầu về giải pháp kiến trúc, giảm chiều cao tầng, tăng số lượng sàn sử dụng, thuận tiện trong thi công đạt hiệu quả kinh tế cao. Để đạt được hiệu quả cao trong tính toán thiết kế kết cấu công trình sử dụng sàn phẳng, giải pháp yêu cầu thương là phải giảm tối đa chiều dày sàn để giảm trọng lượng công trình. Do đó khi tính toán kết cấu sàn BTCT, một trong những nội dung thường được quan tâm đó là tính toán khả năng chịu cắt của sàn, đảm bảo sàn không bị cắt thủng dưới tác dụng của tải trọng đặc biệt quan tâm tại vị trí bản sàn được kê trực tiếp lên đầu cột.

Trong tính toán kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn, có thể thấy rằng tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [3] và tiêu chuẩn ACI 318-2014 [9] chưa kể đến sự tham gia chịu lực của cốt thép (hàm lượng cốt thép dọc). Trong khi đó, tiêu chuẩn EC2-2004 [12] đã có xét đến vấn đề này.

Để có cơ sở để xuất áp dụng tiêu chuẩn thiết kế nào trong tính toán cũng như để xuất giải pháp tăng cường khả năng chịu cắt của sàn phẳng bê tông cốt thép, nhóm tác giả sử dụng phần mềm

ABAQUS để xây dựng mô hình mô phỏng và nghiên cứu, phân tích khả năng chịu cắt của sàn phẳng BTCT chịu tải trọng tập trung, trong đó tập trung so sánh kết quả tính toán khả năng chịu cắt của sàn phẳng bê tông cốt thép với TCVN 5574-2018 và tiêu chuẩn ACI 318-2014, EC2-2004.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH KHẢO SÁT, TÍNH TOÁN

2.1. Xác minh độ tin cậy của mô hình mô phỏng

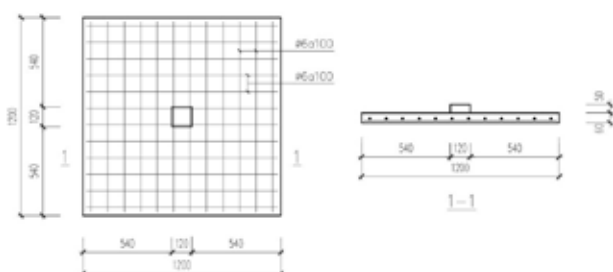
2.1.1. Lựa chọn thí nghiệm để kiểm chứng

Thí nghiệm được lựa chọn so sánh dựa trên nghiên cứu về khả năng chống cắt của sàn BTCT do A.K.M. Jahangir Alam thực hiện năm 1997 [4].

Trong thí nghiệm này A.K.M. Jahangir Alam khảo sát ảnh hưởng của bề rộng của dầm bo xung quanh và hàm lượng cốt thép tới khả năng chống cắt của sàn phẳng BTCT.

2.1.2. Thiết lập mô hình số

Mô hình nghiên cứu có kích thước hình học và cấu tạo cốt thép được trình bày trên Hình 1. Trong mô phỏng thí nghiệm của nhóm tác giả tương đương với trường hợp bề rộng dầm bằng 0 trong thí nghiệm của tác giả A.K.M. Jahangir Alam.



Hình 1. Chi tiết về thí nghiệm chống cắt của sàn BTCT [4]

a. Mô hình vật liệu

Trong nghiên cứu này, mô hình độ dẻo hư hỏng của bê tông (CDP model) được lựa chọn để mô phỏng sàn và cột bê tông

b. Mô hình phần tử

Kiểu phần tử dạng khối (solid) C3D8R với 8 điểm nút được lựa chọn để mô hình hóa cho bê tông. Theo ABAQUS thì kiểu phần tử này có thể sử dụng trong phân tích phi tuyến bao gồm tương tác giữa bê tông và cốt thép, biến dạng lớn, biến dạng chảy dẻo và phá hủy.

c. Liên kết giữa các phần tử trong mô phỏng

Trong mô hình mô phỏng, phần tử cốt thép T3D2 được nhúng trong bê tông bằng liên kết embedded. Cột và bản sàn bê tông được liên kết với nhau thông qua liên kết ngàm cứng (Tie interaction).

Kiểu phần tử dạng trục (truss) T3D2 với 2 điểm nút được sử dụng để mô tả các thanh thép gia cường D6. Phần tử T3D2 chỉ chịu lực tác dụng theo phương dọc trục.

d. Mô hình tải trọng và điều kiện biên

Tải trọng tác dụng được gán dưới dạng áp lực thông qua bề mặt phần cột nhô lên có kích thước (120 x 120) mm. Giá trị tải trọng này tăng theo thời gian. Tải trọng được gia tăng liên tục cho đến khi mô hình bị phá hoại.

Các liên kết được đặt vào vị trí cách mép bản sàn 2 cm, các nút này được ngăn cản chuyển vị theo phương đứng tương ứng với $U_Y=0$.

e. Chia lưới phần tử

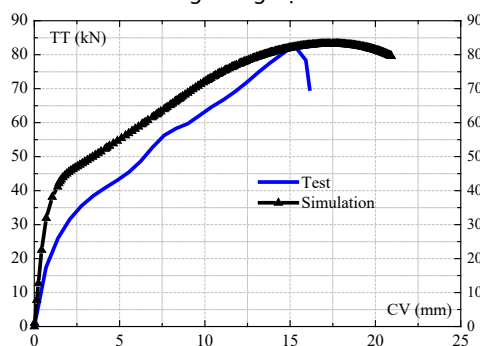
Lưới kích thước 2 cm cho các phần tử thống nhất trong cả mô hình đảm bảo độ chính xác của kết quả cũng như tiết kiệm thời gian tính toán.

2.1.3. Kết quả phân tích mô hình mô phỏng

Phân tích bài toán mô phỏng cho đến khi sàn bị phá hoại cắt ta thu được kết quả như sau:

a. Đường cong tải trọng - chuyển vị (TT-CV)

Mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị: là yếu tố quan trọng để đánh giá khả năng chịu lực và sự làm việc của kết cấu. Dưới đây là biểu đồ thể hiện mối quan hệ **tải trọng - chuyển vị** của điểm giữa phía dưới của tấm trong thí nghiệm:



Hình 2. Đường cong tải trọng - chuyển vị theo thí nghiệm (Test) và mô phỏng (Simulation) tại điểm giữa sàn

Từ biểu đồ này ta thấy tại thời điểm tải trọng khoảng từ 0 đến $P_1=19,5$ kN mối quan hệ giữa tải trọng - chuyển vị là quan hệ tuyến tính. Trong thời điểm này kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi, bê tông chưa bị nứt. Khoảng tải trọng từ $P_1=19,75$ kN đến $P_2=81,75$ kN bê tông bị nứt và cốt thép bắt đầu tham gia làm việc, mối quan hệ tải trọng - chuyển vị không còn tuyến tính nữa. Khi tải trọng tác dụng lên sàn tiếp tục tăng đến giá trị 81,75 kN thì chuyển vị tại điểm giữa sàn tăng đột ngột, mẫu sàn bị phá hoại cắt.

Dựa vào biểu đồ mối quan hệ tải trọng - chuyển vị có thể thấy tại thời điểm lực tác dụng đạt giá trị 81,75 kN chuyển vị tại điểm giữa sàn đột ngột tăng. Thời điểm này cũng là lúc sàn bị phá hoại do lực cắt, từ đó ta xác định được khả năng chịu cắt bằng $P_{ph}=81,75$ kN.

Có thể nhận thấy kết quả đạt được từ mô phỏng về cơ bản cho thấy sự đồng nhất với thí nghiệm. Lực phá hoại trong mô hình mô phỏng là 82,8 kN tương ứng với chuyển vị là 17 mm trong khi kết quả đạt được từ thí nghiệm là 81,75 kN tương ứng với chuyển vị 15,2 mm.

Từ đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị thu được bằng mô phỏng số và bằng thực nghiệm cho thấy có sự khá tương đồng về hình dạng.

Lực phá hoại cắt: Ta có bảng so sánh giá trị lực phá hoại cắt giữa thí nghiệm của Alam và giá trị lực phá hoại cắt khi phân tích bằng phần mềm ABAQUS:

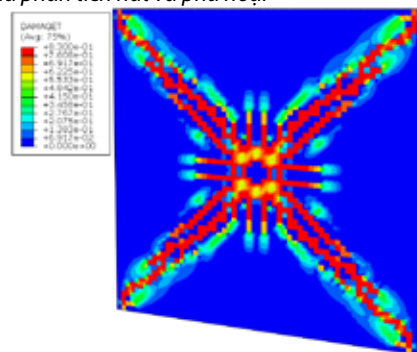
Bảng 1. So sánh giá trị lực cắt lớn nhất trong bài toán mô phỏng

Mô hình phân tích	Pph (kN)	ΔP_{ph} (%)
Alam (1)	81,75	0
ABAQUS (2)	82,80	1,3

Xét về lực phá hoại cắt, giữa thí nghiệm của Alam và mô hình ABAQUS chênh nhau 1,3%, giá trị sai số nằm trong giới hạn cho phép là 5%.

Những điểm khác biệt này có thể được giải thích là trong mô phỏng, vật liệu và các điều kiện khác trong mô hình (điều kiện biên, tải trọng...) là lý tưởng hơn so với thực tế thí nghiệm.

b. Kết quả phân tích nứt và phá hoại



Hình 3. Trạng thái phá hoại của bản sàn



Hình 4. Phá hoại do cắt trong thí nghiệm của Genikomsou 2014

Hình 3 thể hiện quá trình phát triển vết nứt và sự phá hoại do nứt trong mô hình mô phỏng. Hình 4 thể hiện trạng thái phá hoại của tấm sàn khi bị cắt trong thí nghiệm của Genikomsou 2014. Dạng phá hoại giữa mô hình mô phỏng và kết quả thí nghiệm cho thấy sự tương đồng. Kết quả này một lần nữa khẳng định tính hợp lệ của mô phỏng số.

2.2. Khảo sát khả năng chịu cắt của sàn BTCT khi thay đổi vật liệu bê tông và cốt thép

2.2.1. Quy đổi cường độ vật liệu giữa các tiêu chuẩn thiết kế

Công thức gần đúng quy đổi từ cường độ chịu nén của bê tông R_b (theo tiêu chuẩn TCVN) sang giới hạn chịu nén f'_c (theo tiêu chuẩn ACI) và quy đổi từ cường độ tính toán chịu kéo R_s (theo tiêu chuẩn TCVN) sang giới hạn chảy f_y (theo tiêu chuẩn ACI).

Xuất phát từ việc đồng bộ hai công thức tính diện tích cốt dọc A_s của cầu kiện chịu uốn (đặt cốt đơn)

Theo tiêu chuẩn ACI

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \quad (1)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |M_u|}{0,85 f'_c \phi b}} \quad (2)$$

Theo tiêu chuẩn TCVN

$$A_s = \frac{M_{gh}}{R_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)} \quad (3)$$

$$x = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{2 |M_{gh}|}{R_b b}} \quad (4)$$

Ở đây có: $M_u = M_{gh}$, $d = h_0$ và $\phi = 0,9$ là hệ số giảm cường độ, lấy theo tiêu chuẩn ACI-318.

Từ đây rút ra được:

$$R_s = \phi f_y = 0,9 f_y \quad R_s = \phi f_y = 0,9 f_y \quad (5)$$

$$R_b = 0,85 f'_c \phi = 0,85 \cdot 0,9 \cdot f'_c = 0,765 f'_c \quad (6)$$

2.2.2. Bê tông

Trong nghiên cứu sử dụng bê tông thường có các thông số lấy theo TCVN 5574-2018 [3], bê tông làm việc trong giới hạn đàn hồi.

Bảng 2. Các thông số vật liệu khai báo cho bê tông

Cấp bền bê tông	f_t (MPa)	f_t (MPa)	E_c (MPa)	ν	γ (kg/m ³)
B20	11,5	0,9	27500	0,2	2350
B25	14,5	1,05	30000	0,2	2350
B30	17	1,15	32500	0,2	2350

Bảng 3 quy đổi cường độ tính toán của vật liệu bê tông theo TCVN 5574-2018 sang tiêu chuẩn EC2.

Bảng 3. Quy đổi cường độ bê tông

Cấp bền bê tông theo TCVN 5574-2018	B20	B25	B30
Cường độ tính toán chịu nén f_c theo EC2 (MPa)	14,95	18,85	22,1
Cường độ tính toán chịu kéo f_t theo EC2 (MPa)	1,2	1,3	1,5

2.2.3. Cốt thép

Các thông số lấy theo [3] như sau:

Bảng 4. Thông số về vật liệu thép

Loại thép	f_y (MPa)	E_s (MPa)	ν	γ (kg/m ³)
CB240-T	210	200000	0,3	7850
CB300-T	260	200000	0,3	7850

Bảng 5. Quy đổi thông số tính toán của vật liệu thép

Loại thép	CB240-T	CB300-T
Cường độ tính toán theo TCVN 5574-2018 (MPa)	210	260
Cường độ tính toán theo EC-2 (MPa)	231	286
Mô đun đàn hồi (MPa)	2e5	2e5

2.2.4. Tải trọng tác dụng: Tải tập trung

2.3. Các bài toán khảo sát

2.3.1. Mục đích

Xác định tải trọng phá hoại (chuyển vị) của sàn bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng tập trung khi xét đến sự thay đổi của các tham số:

- Thay đổi cấp độ bền của bê tông: B20, B25, B30.

- Thay đổi chủng loại cốt thép: CB240-T và CB300-T.

Việc xác định các ứng xử của kết cấu được mô phỏng bằng phần mềm Abaqus với:

- Điểm khảo sát là điểm ở tâm mặt dưới của của tấm.

- Lưới chia có kích thước bước lưới lớn nhất là 20 mm.

2.3.2. Các bài toán

Bảng 6. Các bài toán khảo sát

Bài toán	Vật liệu bê tông	Vật liệu thép
1	B20	CB240-T
2	B25	CB240-T
3	B30	CB240-T
4	B20	CB300-T
5	B25	CB300-T
6	B30	CB300-T

2.3.2.1. Bài toán 1

a. Thông số bài toán

+ Kích thước sàn bê tông cốt thép: (1200x1200x60) mm.

+ Bê tông có cấp độ bền B20, thông số vật liệu như Bảng 2

+ Các lớp thép ngang và dọc đường kính D6 sử dụng thép CB240-T được bố trí ở mặt dưới của tấm sàn với khoảng cách 100 mm.

+ Một cột ngắn kích thước (120x120x50) mm đặt giữa tấm sàn.

Tải trọng tác dụng được đặt lên bề mặt của cột.

+ Tấm được kê trên các liên kết ở vị trí cách mép bản sàn 2cm, các nút này được ngăn cản chuyển vị theo phương đứng tương ứng với $U_Y=0$.

- Tải trọng tác dụng: tải trọng tập trung. Giá trị tải trọng này tăng theo thời gian. Tải trọng được gia tăng liên tục cho đến khi mô hình bị phá hoại.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Tính toán theo điều kiện: $F \leq F_{b,u}$

Trong đó:

F là lực tập trung do ngoại lực;

$F_{b,u}$ là lực tập trung giới hạn mà bê tông có thể chịu được.

Lực giới hạn $F_{b,u} = R_{bt} A_b$

$A_b = u h_0$. A_b là diện tích tiết diện ngang tính toán nằm ở khoảng cách $0,5h_0$, tính từ biên của diện truyền lực tập trung F , với chiều cao làm việc của tiết diện h_0 theo [3].

u là chu vi đường bao của tiết diện ngang tính toán;

h_0 là chiều cao làm việc quy đổi của tiết diện, $h_0 = 0,5(h_{0x} + h_{0y})$, với h_{0x} và h_{0y} là chiều cao làm việc của tiết diện đối với cốt thép dọc nằm theo phương các trục X và Y .

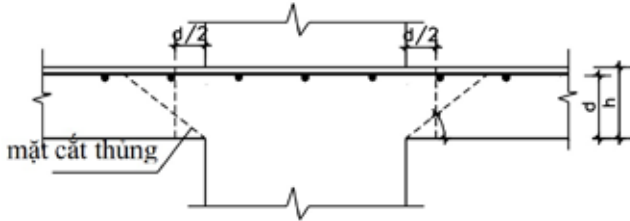
Với thông số của bài toán 1, cấp độ bền bê tông B20, ta có
 $R_{bt} = 0,9 \text{ Mpa}$

Theo [3], ta có kết quả sau:

Bảng 7. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a ₀	h ₀	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3060

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318



Hình 5. Tiết diện phá hoại theo tiêu chuẩn ACI-318

Tính toán khả năng chịu cắt thủng theo công thức (6) và (7)

$$V_u \leq \phi V_{uo} \quad (7)$$

Trong đó: V_u là lực gây cắt (cắt thủng) sàn:

$$V_u = \rho [l_1 l_2 - 4(c + \bar{d})^2] \quad (8)$$

Với $\phi = 0,75$: Hệ số giảm cường độ khi bê tông chịu cắt theo tiêu chuẩn ACI-318.

V_{uo} : Giá trị khả năng chịu cắt (cắt thủng) cực hạn của sàn phẳng:

$$V_{uo} = u\bar{d}(v_n) \quad (9)$$

Trong đó:

$u = 4(c + \bar{d})$: Chu vi tháp cắt thủng;

$\bar{d} = \frac{\bar{d}_x + \bar{d}_y}{2}$: Chiều cao làm việc trung bình của sàn;

v_n : Cường độ chịu cắt trên một đơn vị diện tích, đơn vị là N/mm², được tính là giá trị nhỏ nhất trong 3 giá trị sau:

$$\min \left\{ v_n = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6}; v_n = \left(\frac{\alpha_s d}{u} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{12}; v_n = \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right\} \quad (10)$$

Trong đó:

$\alpha_s = 40$ đối với cột giữa liên kết với sàn phẳng;

$\beta_c \beta_e$ tỷ số cạnh dài/cạnh ngắn của ô bản;

f'_c Cường độ nén đặc trưng của bê tông (N/mm²).

Với thông số của bài toán 1, từ cấp độ bền bê tông B20, ta có
 $f'_c = 14,95 \text{ Mpa}$. Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có kết quả sau:

Bảng 8. Khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

c	h	a ₀	d	b ₀ /4	b ₀	b ₀ *d	ϕV_{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3287

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo tiêu chuẩn EC-2

$$V_{Rd,c} = u_1 \bar{d} (v_{Rd,c}) \quad (11)$$

Trong đó:

$V_{Rd,c}$: Khả năng chịu cắt của bê tông.

$u_1 = 4(c + 4\bar{d})$: Chu vi tháp cắt thủng.

$\bar{d} = \frac{\bar{d}_x + \bar{d}_y}{2}$: Chiều cao làm việc trung bình của sàn.

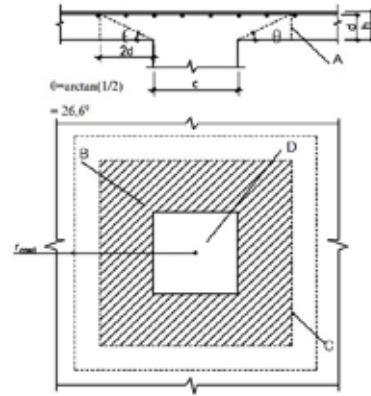
$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \quad (12)$$

$$\text{Với: } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0; \rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \leq 0,02$$

ρ_x, ρ_y : hàm lượng cốt thép chịu kéo theo 2 phương vuông góc x và y;

f_{ck} : Cường độ nén đặc trưng của bê tông (N/mm²);

$\gamma_c = 1,5$ đối với bài toán thiết kế.



A. Tiết diện kiểm tra cơ sở; B. Diện tích kiểm tra cơ bản A_{cont}

C. Chu vi kiểm tra cơ bản u_i ; D. Diện tích chất tải A_{load}

R_{cont} Kích thước tính chu vi kiểm tra mở rộng

Hình 6. Tháp cắt thủng theo tiêu chuẩn EC-2

Bảng 9. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c	$C_{Rd,c}$	$V_{Rd,c}$
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	4,75

Bảng 10. Khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

c	h	a ₀	d	$u_1/4$	u_1	u_1*d	$V_{Rd,c}$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3043

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 11. Khả năng chịu cắt (Bê tông B20, thép CB240-T)

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI-318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	30,6	32,87	30,43	55,4
Chênh lệch (%)	0	7%	1%	81%

2.3.2.2. Bài toán 2

a. Thông số bài toán

Sử dụng bê tông có cấp độ bền B25, thông số vật liệu như Bảng 2. Các thông số khác của mô hình lấy giống Bài toán 1.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Với thông số của bài toán 2, cấp độ bền bê tông B25, ta có
 $R_{bt} = 1,05 \text{ Mpa}$

Theo [3], ta có:

Bảng 12. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a ₀	h ₀	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3570

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

Với thông số của bài toán 2, từ cấp độ bền bê tông B25, ta có

$$f'_c = 18,85 \text{ Mpa} \quad f'_c = 18,85 \text{ Mpa}$$

Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có:

Bảng 13. Khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

c	h	a ₀	d	b ₀ /4	b ₀	b ₀ *d	ϕV_{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3690

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

Bảng 14. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c	$C_{Rd,c}$	$V_{Rd,c}$
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	5,14

Bảng 15. Khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

c	h	a_0	d	$u_1/4$	u_1	u_1*d	$V_{Rd,c}$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3287

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 16. Khả năng chịu cắt với Bê tông B25, thép CB240-T

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI - 318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	35,70	36,90	32,87	62,4
Chênh lệch (%)	0	3%	8%	75%

2.3.2.3. Bài toán 3

a. Thông số bài toán

Sử dụng bê tông B30, thông số vật liệu như Bảng 2. Các thông số khác của mô hình lấy giống Bài toán 1.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Với thông số của bài toán 3, cấp độ bền bê tông B30, ta có

$$R_{bt} = 1,15 \text{ Mpa.}$$

Theo [3], ta có:

Bảng 17. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a_0	h_0	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3910

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

Với thông số của bài toán 3, từ cấp độ bền bê tông B30, ta có $f'_c = 22,1 \text{ Mpa.}$

Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có:

Bảng 18. Khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

c	h	a_0	d	$b_0/4$	b_0	b_0*d	ϕV_{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3996

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

Bảng 19. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c	$C_{Rd,c}$	$V_{Rd,c}$
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	5,42

Bảng 20. Khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

c	h	a_0	d	$u_1/4$	u_1	u_1*d	$V_{Rd,c}$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3466

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 21. Khả năng chịu cắt (Bê tông B30, thép CB240-T)

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI - 318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	39,10	39,96	34,66	67,9
Chênh lệch (%)	0	2%	11%	74%

2.3.2.4. Bài toán 4

a. Thông số bài toán

Các lớp thép ngang và dọc đường kính D6 sử dụng thép CB300-T được bố trí ở mặt dưới của tấm sàn với khoảng cách 100 mm. Các thông số khác của mô hình lấy giống Bài toán 1.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Với thông số của bài toán 4, bê tông B20, ta có $R_{bt} = 0,9 \text{ Mpa.}$

Theo [3], ta có:

Bảng 22. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a_0	h_0	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3060

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI - 318

Với thông số của bài toán 4, bê tông B20, có $f'_c = 14,95 \text{ Mpa.}$

Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có:

Bảng 23. Khả năng chịu cắt của sàn theo tiêu chuẩn ACI-318

c	h	a_0	d	$b_0/4$	b_0	b_0*d	ϕV_{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3287

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo tiêu chuẩn EC-2

Bảng 24. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c	$C_{Rd,c}$	$V_{Rd,c}$
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	4,75

Bảng 25. Khả năng chịu cắt của sàn tiêu chuẩn EC-2

c	h	a_0	d	$u_1/4$	u_1	u_1*d	$V_{Rd,c}$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3043

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 26. Khả năng chịu cắt (Bê tông B20, thép CB300-T)

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI - 318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	30,6	32,87	30,43	57,5
Chênh lệch (%)	0	7%	1%	88%

2.3.2.5. Bài toán 5

a. Thông số bài toán

Các lớp thép ngang và dọc đường kính D6 sử dụng thép CB300-T được bố trí ở mặt dưới của tấm sàn với khoảng cách 100 mm. Các thông số khác của mô hình lấy giống Bài toán 2.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Với thông số của bài toán 5, cấp độ bền bê tông B25, ta có

$$R_{bt} = 1,05 \text{ Mpa.}$$

Theo [3], ta có:

Bảng 27. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a_0	h_0	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3570

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI- 318

Với thông số của bài toán 5, từ cấp độ bền bê tông B25, ta có

$$f'_c = 18,85 \text{ Mpa.}$$

Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có kết quả sau:

Bảng 28. Khả năng chịu cắt của sàn theo tiêu chuẩn ACI-318

c	h	a_0	d	$b_0/4$	b_0	b_0*d	ϕV_{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3690

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

Bảng 29. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c	$C_{Rd,c}$	$V_{Rd,c}$
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	5,14

Bảng 30. Khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

c	h	a_0	d	$u_1/4$	u_1	u_1*d	$V_{Rd,c}$
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3287

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 31. Khả năng chịu cắt (Bê tông B25, thép CB300-T)

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI - 318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	35,7	36,9	32,87	64,6
Chênh lệch (%)	0	3%	8%	81%

2.3.2.6. Bài toán 6

a. Thông số bài toán

Các lớp thép ngang và dọc đường kính D6 sử dụng thép CB300-T được bố trí ở mặt dưới của tấm sàn với khoảng cách 100mm. Các thông số khác của mô hình lấy giống Bài toán 3.

b. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo TCVN 5574:2018

Với thông số của bài toán 6, cấp độ bền bê tông B30, ta có

$$R_{bt} = 1,15 \text{ Mpa.}$$

Theo [3], ta có:

Bảng 32. Khả năng chịu cắt của sàn theo [3]

c	h	a ₀	h ₀	a	u	Ab	Fb,u
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3910

c. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo ACI - 318

Với thông số của bài toán 6, từ cấp độ bền bê tông B30, ta có

$$f'_c = 22,1 \text{ Mpa.}$$

Sử dụng các công thức từ (7) đến (10), ta có kết quả sau:

Bảng 33. Khả năng chịu cắt của sàn theo ACI-318

c	h	a ₀	d	b ₀ /4	b ₀	b ₀ *d	φV _{uo}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3996

d. Tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

Bảng 34. Thông số tính toán khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

ρ _x	ρ _y	ρ	k	γ _c	C _{Rd,c}	V _{Rd,c}
0,0052	0,0052	0,0052	2	1,5	0,12	5,42

Bảng 35. Khả năng chịu cắt của sàn theo EC-2

c	h	a ₀	d	u ₁ /4	u ₁	u ₁ *d	V _{Rd,c}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(daN)
12	6	1	5	17	68	340	3466

e. Kết quả khảo sát số

Bảng 36. Khả năng chịu cắt (Bê tông B30, thép CB300-T)

Nội dung khảo sát	TCVN 5574-2018	ACI - 318	EC-2	Abaqus
Khả năng chịu cắt (KN)	39,1	39,96	34,66	70
Chênh lệch (%)	0	2%	11%	79%

2.3.3. Ảnh hưởng của cường độ bê tông đến khả năng chịu cắt của sàn

Bảng 37. Khả năng chịu cắt của sàn khi thay đổi cường độ bê tông

Nội dung khảo sát	B20, CB240-T	B25, CB240-T	B30, CB240-T
Khả năng chịu cắt (KN)	55,4	62,4	67,9
Gia tăng (%)	0	13%	23%

Bảng 38. Khả năng chịu cắt của sàn khi thay đổi cường độ bê tông

Nội dung khảo sát	B20, CB300-T	B25, CB300-T	B30, CB300-T
Khả năng chịu cắt (KN)	57,5	64,6	70
Gia tăng (%)	0	12%	22%

Bảng 39. Khả năng chịu cắt của sàn khi thay đổi cường độ thép

Nội dung khảo sát	B20, CB240-T	B20, CB300-T
Khả năng chịu cắt (KN)	55,4	57,5
Gia tăng (%)	0	3,8%

Bảng 40. Khả năng chịu cắt của sàn khi thay đổi cường độ thép

Nội dung khảo sát	B25, B240-T	B25, CB300-T
Khả năng chịu cắt (KN)	62,4	64,6
Gia tăng (%)	0	3,2%

Bảng 41. Khả năng chịu cắt của sàn khi thay đổi cường độ thép

Nội dung khảo sát	B30, CB240-T	B30, CB300-T
Khả năng chịu cắt (KN)	67,9	70
Gia tăng (%)	0	3%

Có thể thấy, khi tăng cường thép, khả năng chịu cắt của sàn BTCT tăng từ 3% đến 3,8%.

Từ các kết quả trên có thể rút ra nhận xét: khả năng chịu cắt của sàn tăng đáng kể khi tăng cường độ của bê tông so với việc tăng cường độ của cốt thép.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày việc nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu BTCT đến khả năng chịu cắt của sàn phẳng bê tông cốt thép theo một số tiêu chuẩn hiện hành và so sánh với kết quả khảo sát số trên phần mềm ABAQUS. Thông qua các kết quả khảo sát trên, ta nhận thấy:

Khả năng chịu cắt của sàn tăng khi tăng cường độ của bê tông. Khi tăng cường độ của cốt thép khả năng chịu cắt của sàn có tăng nhưng không đáng kể. Kết quả này phù hợp với việc xác định khả năng chịu cắt của sàn theo các tiêu chuẩn thiết kế đã trình bày ở trên do các tiêu chuẩn TCVN 5574-2018, tiêu chuẩn ACI-318 chủ yếu chỉ xét đến ảnh hưởng của bê tông, tiêu chuẩn EC-2 cũng đã xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép trong bê tông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 3118:1993, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén.
- [2] TCVN 5726:1993, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ lăng trụ và modul đàn hồi khi nén tĩnh.
- [3] TCVN 5574:2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
- [4] Alam, A.K.M Jahangir, Punching Shear Behavior of Reinforcement Concrete Slabs, 1997.
- [5] Aikaterini S. Genikomsou and Maria Anna Polak, Finite Element Analysis of a Reinforced Concrete Slab-Column Connection using Abaqus, Proceedings of Structures Congress 2014, pp. 813–823, 2014. doi: 10.1061/9780784413357.072.
- [6] Aikaterini S. Genikomsou and Maria Anna Polak, Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS, Engineering Structures, vol. 98, pp. 38–48, 2015. doi: 10.1016/j.engstruct.2015.04.016.
- [7] ABAQUS, Version, "6.13, Analysis User's Manual", Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI. 2013.
- [8] ABAQUS, Version, "6.13, Theory Guide", Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI. 2013.
- [9] Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-14). ACI Committee 318, 2014.
- [10] Carreira, Domingo JChu, Kuang-Han, "Stress-strain relationship for reinforced concrete in tension", Journal Proceedings, vol. 83, no. 1, pp. 21–28, 1986.
- [11] CEB-FIP, CEBFIP, "Model code 1990", Comite Euro-International Du Beton, Paris, 1991.
- [12] Eurocode 2, Design of concrete structures.CEN on 8 July 2004.