

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG KHÁNG CHỌC THÙNG CỦA SÀN PHẪNG BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO CÁC TIÊU CHUẨN TCVN 5574:2012, EC-2 VÀ ACI-318

STUDY ON PUNCHING SHEAR RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE FLAT SLAB OF VIETNAMESE STANDARD 5574:2012, EUROPEAN STANDARD EC-2 AND AMERICAN CRITERIA ACI-318

Đinh Thị Như Thảo

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; dtnthao@dut.udn.vn

Tóm tắt - Sàn phẳng bê tông cốt thép (BTCT) có những ưu điểm vượt trội so với hệ sàn dầm [1] nên được sử dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng. Khi thiết kế sàn phẳng cần chú ý vấn đề chọc thủng. Chọc thủng là dạng phá hoại giòn, xảy ra bất ngờ và không có dấu hiệu báo trước, làm giảm khả năng chịu lực của sàn và có thể dẫn đến phá hoại toàn bộ kết cấu công trình. Khả năng kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT phụ thuộc vào nhiều yếu tố [2]: cường độ bê tông; hàm lượng cốt thép chịu uốn; tỷ số giữa lực cắt và mô-men trong liên kết; chu vi nén thủng, chiều dày sàn; thép chịu cắt. Tuy nhiên, các yếu tố này có được kể đến trong tính toán khả năng kháng chọc thủng hay không còn tùy thuộc vào hướng dẫn tính toán của từng tiêu chuẩn. Việc nghiên cứu khả năng kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT theo các tiêu chuẩn TCVN 5574:2012, EC-2 và quy phạm Hoa Kỳ ACI-318 để phân tích và so sánh là điều cần thiết.

Từ khóa - sàn phẳng BTCT; chọc thủng; phá hoại giòn; lực gây chọc thủng; khả năng kháng thủng.

1. Đặt vấn đề

Sàn phẳng là sàn không có dầm, bản sàn tựa trực tiếp lên cột. Sàn phẳng BTCT được sử dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng vì có những ưu điểm vượt trội hơn so với hệ sàn dầm [1] như: giảm chiều cao tầng dẫn đến giảm chiều cao của tòa nhà; tính thẩm mỹ cao; dễ dàng trang trí và tạo sự linh hoạt trong việc bố trí không gian sử dụng; công nghệ thi công cấp pha, cốt thép đơn giản; giảm thời gian thi công và giá thành xây dựng công trình. Khi thiết kế sàn phẳng cần chú ý đến vấn đề chọc thủng vì đây là dạng phá hoại giòn, xảy ra bất ngờ, hiện tượng xảy ra không có dấu hiệu báo trước dễ dẫn đến phá hoại toàn bộ kết cấu công trình. Trong thời gian qua, nhiều tai nạn thảm khốc đã xảy ra do dạng phá hoại chọc thủng của sàn phẳng BTCT được phân tích và mô tả trong các tài liệu [2, 3, 4] (Hình 1 [2]; Hình 2 [4]).

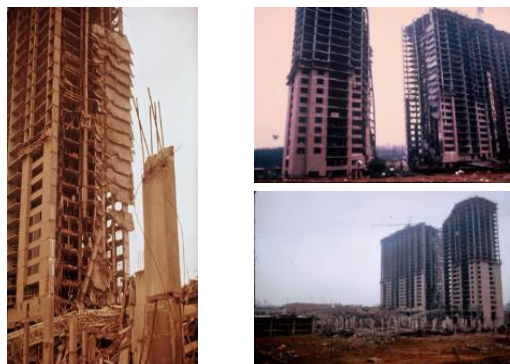


Hình 1. Sự sụp đổ của chung cư 2000 Commonwealth Avenue, Boston, Massachusetts, Hoa Kỳ do phá hoại nền thủng

Abstract - Reinforced Concrete Flat Slab has several advantages compared to Conventional Slab-Beam System [1], hence, Reinforced Concrete flat slab system has currently been used popularly and widely in civil projects. When designing the flat slab, the punching shear capacity should be considered. The punching shear is a brittle fracture which occurs suddenly without any warning and as a consequence, reduces the load-carrying capacity of the floor and can lead to a destruction of the entire structure. The punching shear capacity of a flat slab depends on many factors [2]: concrete strength; longitudinal reinforcement ratio; the ratio of shear force to moment at slab-column connection; perimeter of the pyramid of rupture; shear reinforcement. However, whether these factors are used in calculating the punching shear capacity of reinforced concrete flat slab or not depends on the Design Provision of each standard. Thus, the study on punching capacity of reinforced concrete flat slab by using Vietnamese standard 5574:2012, European standard (EC-2) and American Standard (ACI-318) for analysis and comparison is a significant issue.

Key words - reinforced concrete flat slab; punching shear; brittle fracture; punching shear force; resistance capacity to punching shear force.

Hiện tượng phá hoại do chọc thủng cũng có thể xảy ra trong quá trình thi công khi trọng lượng của bê tông và hệ cột chống ván khuôn truyền vào những tầng kế tiếp bên dưới không được chống đỡ đầy đủ. Một trường hợp điển hình cho trường hợp này là căn hộ cao tầng Skyline Plaza ở Bailey's Crossroad, Virginia, Hoa Kỳ, năm 1973 bị sụp đổ khi đang thi công (Hình 2) [4].

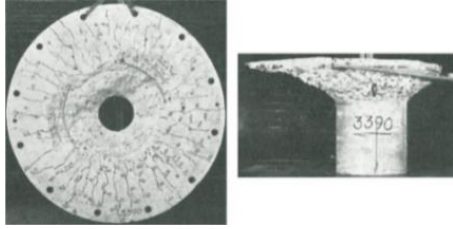


Hình 2. Sự sụp đổ của căn hộ cao tầng Skyline Plaza ở Bailey's Crossroad, Virginia, Hoa Kỳ do phá hoại nền thủng

Bài báo nghiên cứu khả năng kháng chọc thủng của liên kết cột vuông giữa – sàn phẳng BTCT theo Tiêu chuẩn Việt Nam 5574:2012; Tiêu chuẩn châu Âu EC-2 và Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318. Thông qua các tính toán thiết kế cụ thể khả năng chịu cắt cho liên kết cột vuông giữa – sàn phẳng BTCT khi không có và có cốt thép chịu cắt, từ đó sẽ đưa ra so sánh, kết luận về các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT theo 3 tiêu chuẩn nêu trên.

2. Sự hình thành tháp chọc thủng

Kinnuen và Nylander (1960) đã tiến hành các thí nghiệm nén thủng của liên kết cột giữa tròn – sàn tròn BTCT, kết quả thí nghiệm cho thấy có 2 dạng phá hoại, đó là phá hoại dẻo của cốt thép chịu uốn khi hàm lượng cốt thép chịu uốn nhỏ và phá hoại do hiện tượng nén thủng khi sàn phẳng không có cốt thép chịu cắt.



Hình 3. Dạng phá hoại của mẫu thí nghiệm của Kinnuen và Nylander (1960)

Thí nghiệm của Menétrey [6] có kết quả hình dạng tháp nén thủng với các góc nghiêng khác nhau là 60° , 45° và 30° .

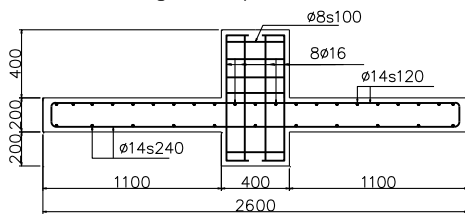


Hình 4. Tháp nén thủng dạng hình nón với những góc 60° , 45° và 30° theo thí nghiệm của Menétrey

3. Tính toán thiết kế khả năng kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT theo các tiêu chuẩn

3.1. Tính toán tải trọng

Thiết kế khả năng kháng thủng cho liên kết cột giữa vuông có cạnh $c = 400$ mm; nhịp theo phương x, y của sàn là $l_1 = l_2 = 6,6$ m; sử dụng bê tông cấp độ bền B30; tải trọng tác dụng lên sàn trình bày ở Bảng 4. Chiều dày sàn chọn theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318 lấy không nhỏ hơn $l_n/36$; chọn chiều dày sàn $h = 200$ mm. Cốt thép lớp trên theo hai phương là $\phi 14/s120$ mm, lớp dưới theo hai phương là $\phi 14/s240$ mm. Cốt thép cột 8 $\phi 16$.



Hình 5. Cấu tạo liên kết cột vuông giữa – sàn phẳng BTCT

Bảng 1. Thông số các lớp vật liệu và hệ số vượt tải

Các lớp vật liệu sàn	Chiều dày (m)	Trọng lượng riêng (kG/m^3)	Hệ số vượt tải		
			TCVN-5574: 2012	EC-2	ACI-318
Gạch lát 600x600	0,015	2200	1,1	1,35	1,4
Vữa lót	0,035	1600	1,3	1,35	1,4
Bản sàn BTCT	0,20	2500	1,1	1,35	1,4
Vữa trát trần	0,015	1600	1,3	1,35	1,4
Tường 220	0,25	1800	1,1	1,35	1,4
Tường 110	0,15	1800	1,1	1,35	1,4

Bảng 2. Tình tài do các lớp vật liệu cấu tạo (1)

	TCVN-5574:2012	EC-2	ACI-318
Các lớp vật liệu sàn (kG/m^2)	(kG/m^2)	(kG/m^2)	(kG/m^2)
Gạch lát 600x600	36,30	44,55	46,20
Vữa lót	72,80	75,60	78,40
Bản sàn BTCT	550,00	675,00	700,00
Vữa trát trần	31,20	32,40	33,60
Tường 220	224,02	274,94	285,12
Tường 110	103,15	107,12	111,09
Tổng tình tài	1017,47	1209,61	1254,41

Bảng 3. Hoạt tải (2)

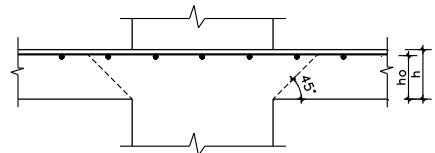
Phòng làm việc	Hệ số vượt tải			TCVN-5574:2012	EC-2	ACI-318
(kG/m^2)	TC VN	EC-2	ACI 318	(kG/m^2)	(kG/m^2)	(kG/m^2)
200	1,3	1,5	1,7	260	300	340

Bảng 4. Tổng tải trọng tác dụng lên sàn (1)+(2)

Tải trọng	TCVN-5574:2012	EC-2	ACI-318
(kN/m^2)	(kN/m^2)	(kN/m^2)	(kN/m^2)
Tổng tải trọng (p)	12,7747	15,0961	15,9441

3.2. Tính toán khả năng kháng chọc thủng của liên kết

3.2.1. Tính toán theo Tiêu chuẩn Việt Nam 5574-2012



Hình 6. Hình dạng tháp chọc thủng TCVN 5574:2012

Tính toán chống chọc thủng theo điều kiện [7]:

$$F \leq \alpha R_{bt} u_m h_0 \quad (1)$$

Trong đó, F là lực gây nén thủng sàn.

Lưới cột là $l_1 \times l_2$ và p là tổng tải trọng phân bố đều trên bản sàn (kể cả trọng lượng bản thân), kích thước cột vuông có cạnh c , với cột giữa của sàn phẳng ta có:

$$F = q [l_1 l_2 - (c + 2h_0)^2] \quad (2)$$

α : hệ số, đối với bê tông nặng lấy $\alpha = 1,0$;

R_{bt} : cường độ chịu kéo tính toán dọc trục của bê tông ứng với TTGH I;

h_0 : chiều cao làm việc của sàn phẳng;

u_m : giá trị trung bình của chu vi đáy trên và đáy dưới tháp chọc thủng hình thành khi sàn bị chọc thủng, trong phạm vi chiều cao làm việc của tiết diện.

$$u_m = 4(c + h_0) \quad (3)$$

Khi trong phạm vi tháp nén thủng có đặt các cốt thép đai sàn thẳng góc với mặt bản sàn, tính toán cần được tiến hành theo điều kiện: $F \leq F_b + 0,8 F_{sw}$ (4)

Nhưng không lớn hơn $2F_b$; nội lực F_b lấy bằng về phải của biểu thức (1); F_{sw} là tổng lực cắt do cốt thép đai sàn chịu (thép này cắt các mặt bên của khối tháp chọc thủng), được tính theo công thức: $F_{sw} = \sum R_{sw} \cdot A_{sw}$ (5)

R_{sw} : cường độ chịu cắt tính toán của cốt thép, không được

vượt quá giá trị ứng với cốt thép CI, A-I.

Khi kê đến cốt thép ngang, F_{sw} lấy không nhỏ hơn $0,5F_b$.

Với cấp độ bền bê tông B30 ta có $R_{bt} = 1,2 \text{ Mpa}$.

Sử dụng các công thức (1) đến (5) cho liên kết Hình 5, ta có các kết quả sau:

Bảng 5. Kết quả tính toán theo TCVN 5574:2012

c	h	h _o	u _m	F _b	p	F
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN/m ²)	(kN)
400	200	166	2264	451	12,775	549,62

Do $F_b < F$ phải tính cốt thép tham gia chịu chọc thủng cho liên kết với $F_{sw} = \sum R_{sw} \cdot A_{sw}$. Lấy $R_{sw} = 17,5 \text{ kN/cm}^2$ và F_{sw} không lấy nhỏ hơn $0,5F_b$.

Ta có: $F - F_b = 98,6 \text{ kN} < 0,5F_b = 225,5 \text{ kN}$. Lấy $F_{sw} = 225,5 \text{ kN}$.

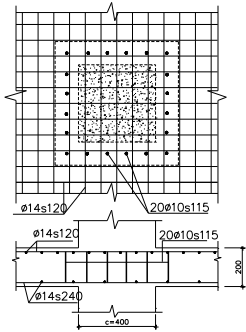
Diện tích cốt thép tính toán chịu cắt thủng cho liên kết:

$$A_{sw}^{tt} = \frac{F_{sw}}{R_{sw}} = 1288,539 \text{ mm}^2$$

Chọn 20 $\phi 10$ /s115mm bố trí cho liên kết.

Diện tích cốt thép bố trí chịu cắt thủng cho liên kết:

$$A_{sw}^{BT} = 1570,796 \text{ mm}^2$$



Hình 7. Bố trí thép chống chọc thủng theo TCVN 5574:2012

3.2.2. Tính toán theo Tiêu chuẩn châu Âu EC-2

Tính toán chống chọc thủng theo điều kiện [8]:

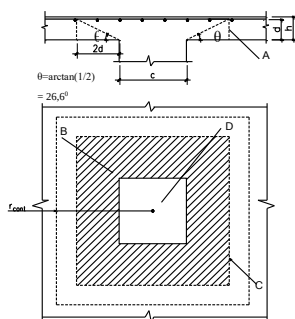
$$V_{Rd,c} = u_1 \bar{d} (V_{Rd,c}) \quad (6)$$

Trong đó:

$V_{Rd,c}$: khả năng kháng chọc thủng của bê tông.

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

$\bar{d} = \frac{d_x + d_y}{2}$: chiều cao làm việc trung bình của sàn.



A: Tiết diện kiểm tra cơ sở.

B: Diện tích kiểm tra cơ bản A_{cont} .

C: Chu vi kiểm tra cơ bản u_1 .

D: Diện tích chất tải A_{load} .

r_{cont} : Kích thước tính chu vi kiểm tra mở rộng.

Hình 8. Tháp chọc thủng theo Tiêu chuẩn châu Âu EC-2

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \quad (7)$$

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

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/mm^2);

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

Lực gây chọc thủng:

$$V_{Ed} = p \left[l_1 l_2 - (c + 4\bar{d})^2 \right] \quad (8)$$

Trường hợp $V_{Rd,c} < V_{Ed} < 2V_{Rd,c}$ phải bố trí cốt thép chịu chọc thủng. Diện tích cốt thép cần bố trí chịu chọc thủng:

$$A_{sw} \geq \frac{v_{Rd,cs} - 0,75v_{Rd,c}}{1,5 \frac{f_{ywd,ef}}{s_r \cdot u_1}} \quad (9)$$

Trong đó:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25\bar{d}; \quad v_{Rd,cs} = \frac{V_{Ed}}{u_1 \bar{d}}; \quad s_r = 0,75\bar{d}.$$

Với cường độ nén đặc trưng của bê tông C25/30 có $f_{ck} = 25 \text{ (N/mm}^2\text{)}$.

Sử dụng các công thức (6) đến (9) cho liên kết Hình 5 ta có kết quả sau:

Bảng 6. Thông số tính toán theo Tiêu chuẩn châu Âu EC2

c (mm)	h (mm)	d (mm)	ρ_x	ρ_y	ρ	k	γ_c
400	200	166	0,0071	0,0077	0,0074	2	1,5

Bảng 7. Kết quả tính toán theo Tiêu chuẩn châu Âu EC2

u_1 (mm)	$C_{Rd,c}$	$v_{Rd,c}$ (kN/m ²)	$V_{Rd,c}$ (kN)	p (kN/m ²)	V_{Ed} (kN)
4256	0,12	0,6354	448,88	15,096	640,496

Kiểm tra khả năng kháng thủng của liên kết, do: $V_{Rd,c} = 448,9 \text{ kN} < V_{Ed} = 640,496 \text{ kN} < 2V_{Rd,c} = 897,76 \text{ kN}$

Phải tính cốt thép chịu chọc thủng cho liên kết.

Xác định chu vi ngoài không cần bố trí cốt thép chịu chọc thủng: $u_{out,ef} = \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \bar{d}} = 6072,75 \text{ mm}$.

Xác định khoảng cách từ mặt cột đến mặt ngoài chu vi không cần bố trí cốt thép chịu chọc thủng:

$$u_{out,ef} = 4(c + 2\bar{d}x) = 4(400 + 2(166x)) = 6072,75$$

$$\Leftrightarrow x = 3,368 > 3,0$$

Diện tích cốt thép tối thiểu của một thanh cần bố trí

$$\text{kháng thủng: } a_{sw,min} = \frac{0,053 \sqrt{f_{ck}} (s_r \cdot s_t)}{f_{yk}} = 16,43 \text{ mm}^2.$$

Trong đó:

$$s_r = 0,75\bar{d} = 124,5 \text{ mm}; s_t = 1,5\bar{d} = 249,0 \text{ mm}; f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Chọn cốt thép bố trí $\phi 8$ có $a_{sw} = 50,23 \text{ mm}^2$.

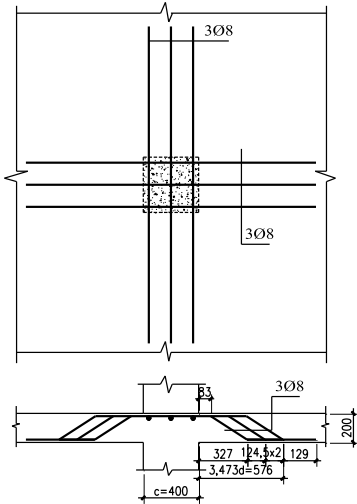
Diện tích cốt thép tính toán chịu cắt thủng cho liên kết:

$$A_{sw} \geq \frac{v_{Rd,cs} - 0,75v_{Rd,c}}{1,5 \frac{f_{ywd,ef}}{s_r \cdot u_1}} = 521,16 \text{ mm}^2$$

Với: $f_{ywd,ef} = 250 + 0,25\bar{d} = 291,5 \text{ N/mm}^2$

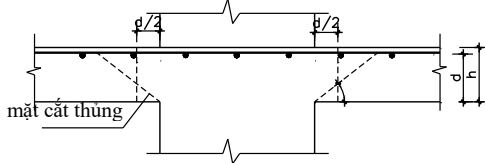
Và: $v_{Rd,cs} = \frac{V_{Ed}}{u_1 \bar{d}} = 906,581 \text{ N/mm}^2$

Chọn 12 $\phi 8$ bố trí cho liên kết. Diện tích cốt thép bố trí chịu cắt thùng cho liên kết: $A_{SW}^{BT} = 603,18 \text{ mm}^2$



Hình 9. Bố trí thép chống chọc thùng theo Tiêu chuẩn châu Âu EC-2

3.2.3. Tính toán theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318



Hình 10. Tiết diện phá hoại theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318

Tính toán chống chọc thùng theo điều kiện [9, 10]:

$$V_u \leq \phi V_{uo} \quad (10)$$

Trong đó: V_u là lực gây chọc thùng trong sàn:

$$V_u = p \left[l_1 l_2 - 4(c + \bar{d})^2 \right] \quad (11)$$

Với $\Phi = 0,75$: hệ số giảm cường độ khi bê tông chịu cắt theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318-2002.

V_{uo} : Giá trị chọc thùng cực hạn của sàn phẳng:

$$V_{uo} = u\bar{d}(v_n) \quad (12)$$

Trong đó, $u = 4(c + \bar{d})$: chu vi tháp chọc thùng;

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

v_n : cường độ kháng cắt trên một đơn vị diện tích, đơn vị là N/mm^2 , được tính là giá trị nhỏ nhất trong 3 giá trị sau:

$$\min \left\{ v_n = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f_c}}{6}; v_n = \left(\frac{\alpha_s d}{u} + 2 \right) \frac{\sqrt{f_c}}{12}; v_n = \frac{\sqrt{f_c}}{3} \right\} \quad (13)$$

Trong đó: $\alpha_s = 40$ đối với cột giữa liên kết với sàn phẳng; β_c : tỷ số cạnh dài/cạnh ngắn của ô bản; f_c' : cường độ nén đặc trưng của bê tông (N/mm^2).

Trường hợp $V_u > \phi V_c$ phải bố trí cốt thép chịu chọc thùng có $f_y = 3500 \text{ kG/cm}^2$.

Phản lực cắt V_s do cốt thép phải chịu:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (14)$$

Diện tích cốt thép dạng cốt xiên chịu cắt trong sàn:

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y \sin \alpha} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y \sin 45^\circ} \quad (15)$$

Cường độ nén đặc trưng của bê tông C25/30 có

$$f_c' = 25 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Sử dụng các công thức (10) đến (15) cho liên kết Hình 5 ta có kết quả sau:

Bảng 8. Kết quả tính toán theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318

c	h	d	u	β_c	a_s	p
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			(kN/mm ²)
400	200	166	2264	1	40	15,944

Bảng 9. Cường độ kháng cắt, lực kháng chọc thùng thiết kế và lực gây chọc thùng theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318

v_n^1	v_n^2	v_n^3	$v_n^{\min}$	ϕV_c	V_u
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN)	(kN)
2,5	2,107	1,6667	1,6667	469,8	689,41

Do $V_u > \phi V_c$ cần kiểm tra khả năng kháng thùng của liên kết, phải tính cốt thép chịu chọc thùng cho liên kết có $f_y = 3500 \text{ kG/cm}^2$.

Phản lực cắt V_s do cốt thép phải chịu:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 292,844 \text{ kN}$$

Diện tích cốt thép dạng cốt xiên chịu cắt trong sàn:

$$A_v = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y \sin \alpha} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y \sin 45^\circ} = 9,83 \text{ cm}^2$$

Chọn bố trí 8 thanh thép cho liên kết, diện tích mỗi thanh thép là: $A_s = \frac{A_v}{8} = 0,8194 \text{ cm}^2$

Chọn thanh thép số No.4 có đường kính 12,7 mm và diện tích là 1,29 cm^2 .

Diện tích cốt thép bố trí chịu cắt thùng cho liên kết:

$$A_{SW}^{BT} = 10,32 \text{ cm}^2 = 1032 \text{ mm}^2$$

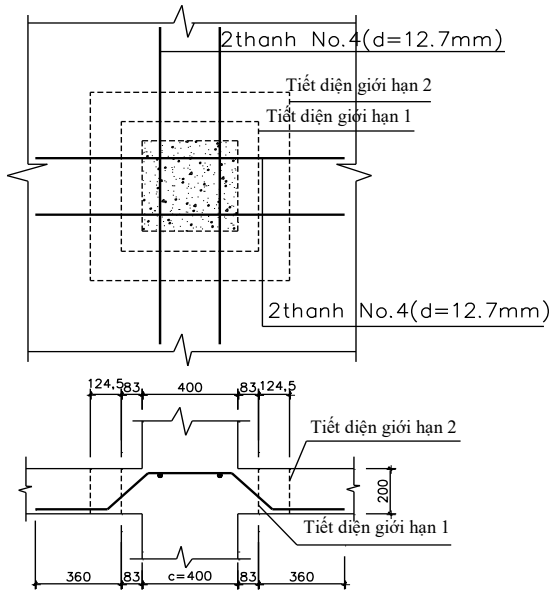
Kiểm tra khả năng chịu cắt của bản sàn ngoài điểm $\frac{3}{4}$ chiều dài đoạn nghiêng của thép xiên, lấy gần đúng bằng $(\frac{3}{4})\bar{d} = 124,5 \text{ mm}$. Tiết diện tới hạn thứ 2 có chu vi bằng:

$$u_o = 4(c + \bar{d} + 124,5) = 2762 \text{ mm}$$

Lực cắt tính toán tại tiết diện tới hạn thứ 2 bằng:

$$\phi.V_c = \phi.u_0.d.v_n = 698,536\text{kN}$$

Do $V_u < \phi V_c$ nên không cần bố trí thêm cốt thép xiên.



Hình 11. Bố trí thép chống chọc thủng theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318

4. Kết quả

4.1. Tổng hợp kết quả

Bảng 10. Kết quả tính toán thể khả năng kháng chọc thủng

Các thông số	Đơn vị	TCVN 5572: 2012	EC-2	ACI-318
Tổng tải trọng	kN/m ²	12,77	15,09	15,94
Lực gây chọc thủng	kN	549,62	640,49	689,4
Lực kháng chọc thủng thiết kế	kN	451,00	448,88	532,4
Bố trí cốt thép chịu cắt		20 ϕ 10 s115	12 ϕ 8	8No.4 (12,7mm)
Diện tích thép tính toán	mm ²	1288,5	521,16	938,0
Diện tích thép bố trí	mm ²	1570,8	603,18	1032,0

4.2. Hệ số so sánh

Bảng 11. Tỉ số của lực gây chọc thủng và lực kháng chọc thủng thiết kế

TCVN 5574:2012	EC-2	ACI-318
$n_1 = \frac{F}{F_b} = 1,2187$	$n_2 = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} = 1,426$	$n_3 = \frac{V_u}{\phi V_c} = 1,468$

Đối với từng tiêu chuẩn, lực kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT có kết quả tính toán khác nhau. Trường hợp không kể đến sự chịu chọc thủng của cốt thép nếu thiết kế theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318 có kết quả tính toán an toàn nhất, bởi hệ số n_3 cao nhất và thiết kế theo Tiêu chuẩn Việt Nam 5574:2012 là tiết kiệm nhất vì chỉ số n_1 nhỏ nhất.

Trường hợp kể đến sự tham gia chịu cắt thủng của cốt thép thì Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012 cho kết

quả diện tích cốt thép chịu cắt lớn nhất vì theo hướng dẫn khi kể đến cốt thép ngang, F_{sw} lấy không nhỏ hơn $0,5F_b$.

5. Kết luận

Bài báo sử dụng các công thức tính toán khả năng kháng chọc thủng cho liên kết cột vuông giữa - sàn phẳng BTCT theo 3 tiêu chuẩn là Tiêu chuẩn Việt Nam 5574:2012, Tiêu chuẩn châu Âu EC-2 và Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318, từ đó thiết kế khả năng kháng chọc thủng của liên kết cột vuông giữa - sàn phẳng BTCT (Hình 5).

Kết quả tính toán cho thấy rằng:

- Cả 3 tiêu chuẩn đều đưa cường độ bê tông vào công thức tính toán khả năng chọc thủng của sàn phẳng BTCT.

- Hàm lượng cốt thép dọc chịu uốn của sàn theo Tiêu chuẩn EC-2 có ảnh hưởng đến khả năng kháng chọc thủng của sàn phẳng BTCT.

- Tỉ số cạnh dài/cạnh ngắn của diện truyền tải và vị trí của liên kết (giữa, góc) đã ảnh hưởng đến khả năng kháng thủng của sàn phẳng BTCT theo Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318.

- Trường hợp không sử dụng cốt thép chịu cắt nếu sử dụng TCVN 5574:2012 thiết kế kháng chọc thủng cho liên kết cột vuông giữa – sàn phẳng BTCT là tiết kiệm nhất và theo Quy phạm ACI-318 là an toàn nhất.

- Trường hợp cần bố trí cốt thép kháng chọc thủng nên sử dụng Tiêu chuẩn châu Âu EC-2 và Quy phạm Hoa Kỳ ACI-318, kết quả tính toán sẽ tiết kiệm và việc bố trí cốt thép chịu cắt sẽ đơn giản hơn tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công Nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài mã số B2016-ĐN02-14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Erberik, M. A. and A. S. Elnashai, *Seismic Vulnerability of Flat-slab Structures*, Mid-America Earthquake Center CD Release 03-06. 2003.
- [2] Gardner N., Huh J., Chung L., “Lessons from the Sampoong Department Store Collapse”, *Cement and Concrete Composites*, 24(6), 2002, pp. 523-529.
- [3] King S., Delatte N.J., “Collapse of 2000 Commonwealth Avenue: Punching Shear Case Study”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 18(1), 2004, pp. 54-61.
- [4] Schellhammer J., Delatte N., “Bosela P.A., Another Look at the Collapse of Skyline Plaza at Bailey’s Crossroads, Virginia”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 27(3), 2013, pp. 354-361.
- [5] King, S. and N. Delatte, “Collapse of 2000 Commonwealth Avenue: Punching Shear Case Study”, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 18(1), 2004, pp. 54-61.
- [6] Kinnunen, S. and H. Nylander, *Punching of Concrete Slabs without Shear Reinforcement*, Elander, 1960.
- [7] Bộ Xây dựng, *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5574:2012 - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 2012.
- [8] Eurocode, *EN 1992-1-1 (English): Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
- [9] Standard, A. A., *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11)*, 2011.
- [10] Nguyễn Trung Hòa, *Kết cấu bê tông cốt thép theo Quy phạm Hoa Kỳ*, NXB Xây dựng, 2011.