

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH DẠNG - KÍCH THƯỚC MŨ CỘT ĐẾN SỰ LÀM VIỆC VÀ KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA SÀN PHẪNG BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC

## RESEARCH ON INFLUENCE OF FORMS – DIMENSIONS OF HEAD COLUMNS ON THE WORK AND BEARING CAPACITY OF PRESTRESSED CONCRETE FLAT SLABS

Trương Hoài Chính

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; thchinh@dut.udn.vn

**Tóm tắt** - Sàn bê tông ứng lực trước căng sau là giải pháp kết cấu được ứng dụng phổ biến trong các công trình xây dựng. Tuy nhiên với giải pháp sàn phẳng, các vị trí liên kết giữa cột và bản sàn với kích thước bề dày của bản sàn khá nhỏ dẫn đến sàn sẽ dễ bị phá hoại do chọc thủng. Để tăng cường khả năng chống chọc thủng sàn, có thể tạo ra mũ cột hoặc tạo bản đầu cột (tăng chiều dày cục bộ tại vị trí các đầu cột). Các hình dạng mũ cột đều có những ưu nhược, tính toán tiết diện tháp chọc thủng cũng khác nhau, ảnh hưởng đến độ võng và khả năng chịu lực của bản sàn. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng các loại mũ cột, cụ thể là mũ cột dạng chóp cắt và dạng bản đầu cột, dùng Tiêu chuẩn ACI 318-2008 tính toán sàn phẳng ứng lực trước và xem xét, so sánh khả năng chống chọc thủng với việc chọn cố định bề dày sàn đảm bảo độ võng và khả năng chống cắt, mang lại hiệu quả sử dụng cao cho kết cấu.

**Từ khóa** - sàn phẳng bê tông ứng lực trước; lực chọc thủng; độ võng; mũ cột; bản đầu cột.

### 1. Đặt vấn đề

Sàn bê tông ứng lực trước căng sau là một trong những giải pháp kết cấu được ứng dụng ngày càng phổ biến trong các công trình xây dựng. Để thỏa mãn được các yêu cầu về công năng và thẩm mỹ của không gian kiến trúc thì các yêu cầu về cấu tạo trong kết cấu cũng phải được quan tâm. Tuy nhiên với giải pháp sàn phẳng, tại các vị trí liên kết giữa cột và bản sàn, kích thước bề dày của bản sàn khá nhỏ dẫn đến sàn sẽ dễ bị phá hoại do chọc thủng.

Có nhiều giải pháp kết cấu để tăng cường khả năng chống cắt của sàn, trong đó việc sử dụng các dạng cấu tạo mũ cột khác nhau (cột có mũ cột, bản đầu cột...) sẽ làm thay đổi các giá trị kích thước của sàn phẳng, đặc biệt là bề dày sàn. Do vậy, vấn đề cần đặt ra đối với các kỹ sư kết cấu công trình xây dựng là chọn giải pháp cấu tạo mũ cột (ngoài việc thỏa mãn yêu cầu kiến trúc hợp lý về giải pháp kết cấu trong thực tế thiết kế), đặc biệt với những công trình xây dựng có nhịp lớn sử dụng phương án sàn phẳng bê tông ứng lực trước.

### 2. Cơ sở tính toán khả năng chống chọc thủng bản sàn bê tông ứng lực trước

#### 2.1. Xác định tiết diện tới hạn [1, 3, 5]

Theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008, khi tính toán thiết kế sàn phẳng cần chú ý kiểm tra khả năng chịu cắt tại hai vị trí:

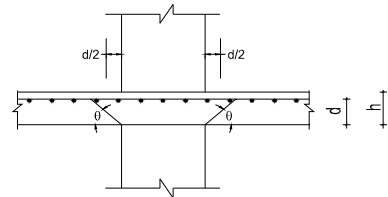
- Sàn một phương (Wide-beam action): Diện tích sàn làm việc như dầm rộng (bệt), hay truyền lực cắt theo 1 phương.
- Sàn hai phương (Two-way action): Diện tích sàn làm việc theo hai phương.

**Abstract** - Pre-stressed concrete floor is one of the structural solutions which are increasingly popular in the construction of buildings. However with flat slabs, at the connection between the column and the floor, the small thickness of slabs will lead to their being easily destroyed by punching shear. To strengthen floor puncture resistance floor, we can make a head column or drop panel (to the larger thickness at the location of the head column). The form structure of head columns has its different strengths and limitations; calculations of section of tower punche are also various, which affects the deflection and the bearing capacity of the floor. This article studies and compares the influence of head column forms. The ACI 318-2008 standard is used to calculate a pre-stressed flat slab structure, consider, and compare puncture resistance corresponding to the fixed selection of floor thickness to ensure deflection and cutting resistance of the floor, providing high efficiency of the structure.

**Key words** - pre-stressed concrete flat slab; punching shear; deflection; head column; drop panels.

Với loại “wide-beam action” thì coi sàn làm việc như một dầm rộng có bề rộng là khoảng giữa các cột. Tiết diện tới hạn kéo dài trong một mặt phẳng ngang qua toàn bộ bề rộng của sàn và cách bề mặt gối tựa một đoạn là  $d$ , với  $d$  là chiều cao hiệu dụng của sàn.

Với loại “two-way shear” (lực cắt chọc thủng) nói chung là nguy hiểm hơn “wide-beam action”. Tùy thuộc vào vị trí của cột, tải trọng tập trung, phản lực mà phá hoại có thể xảy ra theo 2, 3 hoặc 4 phía của hình nón cắt hoặc tháp cắt. Mặt phá hoại kéo dài từ phía dưới sàn chỗ biên gối tựa cột đến mặt trên với góc nghiêng so với phương mặt phẳng sàn là  $\theta$ ,  $\theta$  phụ thuộc vào bản chất và số lượng cốt thép trong bản sàn và nằm trong khoảng  $\theta = 20^\circ \div 45^\circ$ .



Hình 1. Tháp chọc thủng theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008

#### 2.2. Cường độ chịu cắt yêu cầu khi tính toán chọc thủng (two-way action) [1, 4, 5]

Theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008 sàn phẳng cần được tính toán chống nén thủng theo điều kiện:

$$\phi V_c \geq V_u$$

Trong đó:

- $V_u$ : là lực cắt đã nhân hệ số tại tiết diện được xét

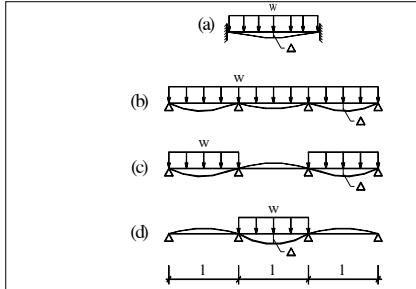
do tải trọng ngoài tác dụng.

-  $\phi$ : hệ số giảm cường độ.  $\phi = 0,75$ ; giá trị này được quy định trong mục 9.3.2.3 của Tiêu chuẩn ACI 318-2008.

### 2.3. Kiểm tra độ võng sàn [1, 5]

#### 2.3.1. Độ võng ngắn hạn

Đối với sàn hai phương, độ võng tại điểm giữa của tấm có thể được tính toán tổng cộng độ võng của hai dải dầm trực giao. Để tính toán độ võng ngắn hạn của dải dầm này, có thể sử dụng các công thức như trong Hình 2. a, b, c, d.



Hình 2. Sơ đồ xác định độ võng

$$\begin{aligned} (a) \quad \Delta &= \frac{1}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} & (b) \quad \Delta &= \frac{2,65}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} \\ (c) \quad \Delta &= \frac{3,8}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} & (d) \quad \Delta &= \frac{2,6}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} \end{aligned}$$

Trong đó:

- $\Delta$  là độ võng;
- $w$  là tải trọng tác dụng;
- $l$  là nhịp dầm;
- $EI$  là độ cứng dầm.

#### 2.3.2. Độ võng dài hạn

Độ võng do tải trọng dài hạn gây ra được tính toán bằng cách nhân độ võng ngắn hạn do tải trọng này gây ra với hệ số từ biến  $C_c$ .

$$C_c = \frac{\xi}{1 + 50 \rho}$$

trong đó:

$\xi$  là hệ số phụ thuộc vào thời gian tác dụng của tải trọng và được tra bảng.

-  $\rho$  là hàm lượng cốt thép chịu nén.

#### 2.3.3. Độ võng tổng cộng

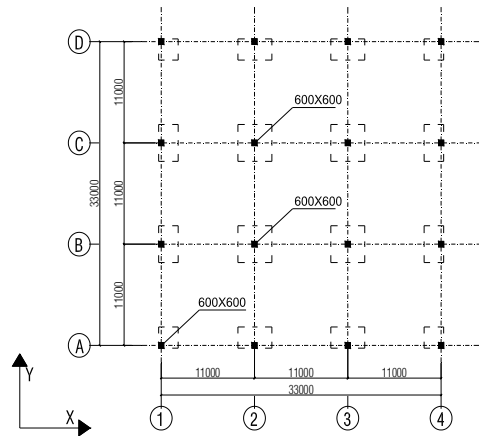
$$\Delta_t = \Delta_e + c_c \Delta_{e,sus} \quad (2.28)$$

Trong đó:

- $\Delta_e$  là độ võng ngắn hạn do toàn bộ tải trọng dài hạn gây ra.
- $\Delta_{e,sus}$  là độ võng ngắn hạn do tải trọng dài hạn gây ra.

### 3. Ví dụ tính toán

Xét một mặt bằng sàn như Hình 3. Theo phương X gồm 3 nhịp, mỗi nhịp 11m. Phương Y gồm 3 nhịp, mỗi nhịp 11m. Chiều cao tầng  $h_c = 3,3m$ . Tiêu chuẩn áp dụng để tính toán: Tiêu chuẩn Mỹ ACI 318-2008.



Hình 3. Sơ đồ mặt bằng

#### 3.1. Các thông số đầu vào

- Bê tông có  $f'_c = 26MPa$ .
- Cường độ bê tông tại thời điểm căng cáp tạo ứng lực trước:  $f'_{ci} = 0,75f'_c = 19,5MPa$ .
- Cáp T15 không dính kết có các đặc trưng sau:
  - + Diện tích danh định  $A_{ps} = 140mm^2 = 1,4cm^2$
  - + Giới hạn bền của thép  $f_{pu} = 1860MPa$
  - + Giới hạn chảy  $f_{py} = 1690MPa$
  - + Mô đun đàn hồi của thép:  $E_{ps} = 2,0 \cdot 10^5 MPa$
- Thiết bị tạo ứng lực trước với độ chuyển dịch neo cho phép là 6mm.
- Chọn ứng suất căng trước  $f_{pi} = 0,75f_{pu} = 1395MPa$ .
- Thỏa mãn theo yêu cầu của Tiêu chuẩn ACI là không được lớn hơn  $0,94f_{py}$  và  $0,8f_{pu}$
- Thép thường có cường độ:  $f_y = 400MPa$ .

#### 3.2. Chọn bề dày bản

Đối với bản sàn phẳng có cốt thép chịu ứng lực trước có bản đầu cột được tính theo công thức:

$$\frac{l_2}{h_b} \leq 65 \left[ \frac{\frac{l_2}{l_1} \cdot 1}{qk_1} \right]^{1/3}$$

Tính toán  $h_b = 0,23m$ , Chọn  $h_b = 0,24m$ .

#### 3.3. Kiểm tra khả năng chịu cắt và độ võng theo Tiêu chuẩn Mỹ ACI 318-2008 [5]

##### 3.3.1. Đối với mũ cột dạng bản đầu cột

- Bề dày của bản đầu cột  $d_2$  được tăng thêm ít nhất bằng  $\frac{1}{4}$  chiều dài bản ở giữa ô được xác định theo công thức:

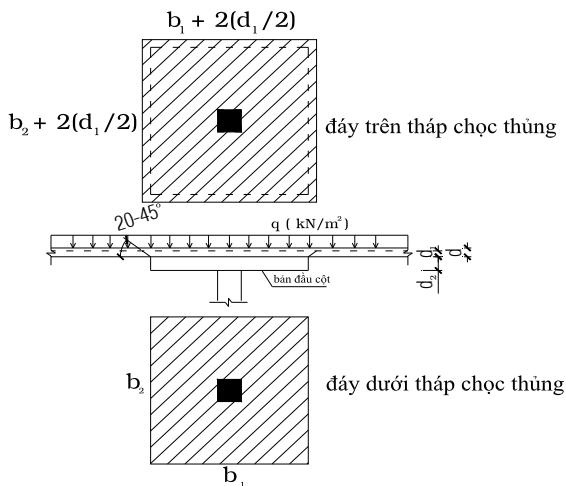
$$d_2 \geq d + \frac{d}{4} = 24 + \frac{24}{4} = 30cm$$

1. Chọn  $d_2 = 30cm$ .

- Kích thước của bản đầu cột theo Tiêu chuẩn không nhỏ hơn  $\frac{1}{3}$  cạnh nhỏ của ô bản, sơ bộ chọn:

$$b_1 = b_2 \geq \frac{1}{3}L = \frac{11}{3} = 3,7m$$

2. Chọn  $b_1 \times b_2 = 3,7 \times 3,7m$ .



Hình 4. Mặt cắt 2 dây của tháp chọc thủng theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008

#### a. Tính toán chống nén thủng

Theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008 sàn phẳng cần được tính toán chống nén thủng theo điều kiện:

$$V_u \leq \Phi V_c$$

Kết quả tính toán với:  $V_u = 1516,45 \text{ KN}$ ;

$V_c = \min (V_{c1}, V_{c2}, V_{c3}) = 3668,35 \text{ KN}$ ;

$V_u = 1516,450 < \Phi V_c = 0,75.3668,35 = 2751,26 \text{ KN}$ ;

Vậy điều kiện chống nén thủng được đảm bảo.

#### b. Tính toán độ võng sàn

Độ võng tổng cộng được tính theo công thức:

$$\Delta_t = \Delta_e + c_c \Delta_{e,sus}$$

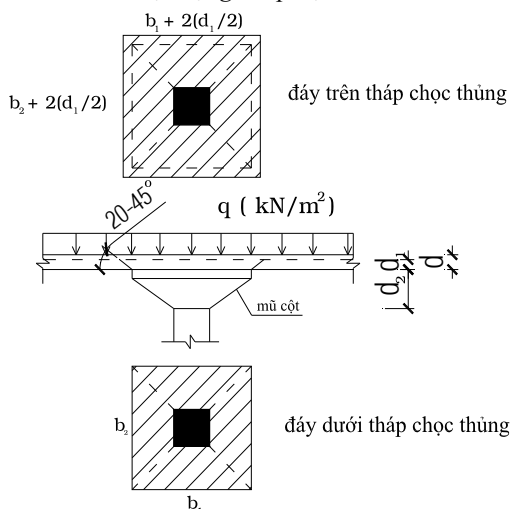
1. Độ võng tổng cộng tại giữa ô bản là:

$$\Delta_t = \Delta_e + c_c \Delta_{e,sus} = (2,91 + 4,66).10^{-3} = 7,57.10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{\Delta_t}{L} = \frac{4,47.10^{-4}}{11} = 4,06.10^{-5} < \left[ \frac{\Delta}{L} \right] = \frac{1}{480}$$

2. Thỏa mãn yêu cầu về độ võng.

#### 3.3.2. Đối với mũ cột dạng chóp cắt



Hình 5. Mặt cắt 2 dây của tháp chọc thủng theo Tiêu chuẩn ACI 318-2008

- Bề dày của mũ cột  $d_2$  được tăng thêm ít nhất bằng  $\frac{1}{4}$  chiều dài bản ở giữa ô được xác định theo công thức:

$$d_2 \geq d + \frac{d}{4} = 24 + \frac{24}{4} = 30 \text{ cm}$$

1. Chọn  $d_2 = 30 \text{ cm}$

- Kích thước của mũ cột sơ bộ chọn dựa trên góc nghiêng  $45^\circ$  so với phương ngang (Hình 5):

$$b_1 = b_2 = 600 + 2.300 = 1200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$$

2. Chọn  $b_1 \times b_2 = 1,2 \times 1,2 \text{ m}$

#### a. Tính toán chống nén thủng

Kết quả tính toán tương tự:

$V_u = 1583,45 \text{ KN}$

$V_c = \min (V_{c1}, V_{c2}, V_{c3}) = 1832,10 \text{ KN}$

$V_u = 1583,450 > \Phi V_c = 0,75.1832,10 = 1374,32 \text{ KN}$

Vậy điều kiện chống nén thủng không được đảm bảo.

#### b. Tính toán độ võng sàn

➤ Độ võng tổng cộng tại giữa ô bản là:

$$\Delta_t = \Delta_e + c_c \Delta_{e,sus} = (9,46 + 151).10^{-3} = 2,46.10^{-2} \text{ m}$$

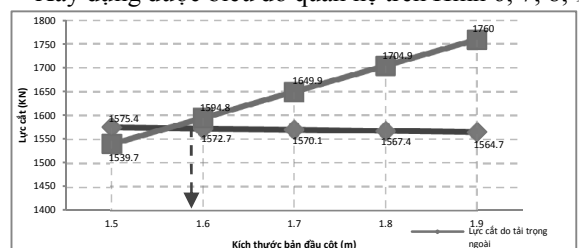
$$\frac{\Delta_t}{L} = \frac{2,46.10^{-2}}{11} = 2,23.10^{-3} > \left[ \frac{\Delta}{L} \right] = \frac{1}{480}$$

1. Điều kiện về độ võng không được thỏa mãn.

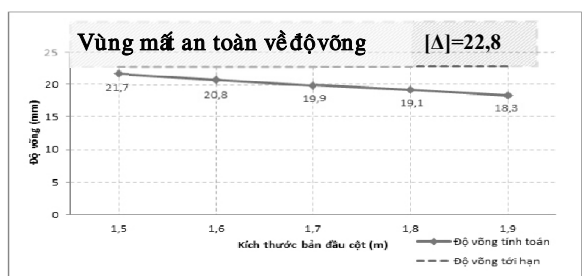
#### 3.4. So sánh kết quả tính toán và nhận xét

Trong bài báo này, tác giả tập trung nghiên cứu sự ảnh hưởng hình dáng, kích thước của mũ cột đến khả năng chịu lực và làm việc của sàn phẳng bê tông ứng lực trước, qua kết quả của ví dụ tính toán xây dựng các biểu đồ quan hệ giữa các đại lượng như bề dày bản mũ cột, kích thước mũ cột với độ võng và lực cắt tới hạn nhằm đảm bảo sự làm việc và khả năng chịu lực của bản sàn phẳng bê tông ứng lực trước có mũ cột. Ví dụ chỉ xét đến sự thay đổi kích thước của bản đầu cột và của mũ cột.

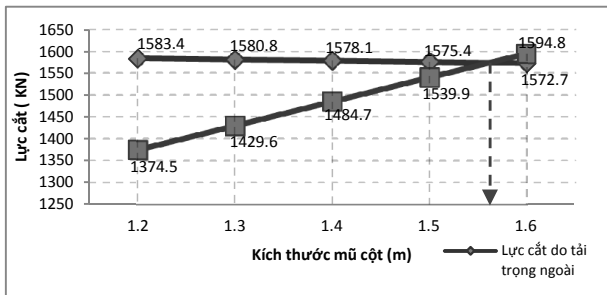
- Xây dựng được biểu đồ quan hệ trên Hình 6; 7; 8; 9.



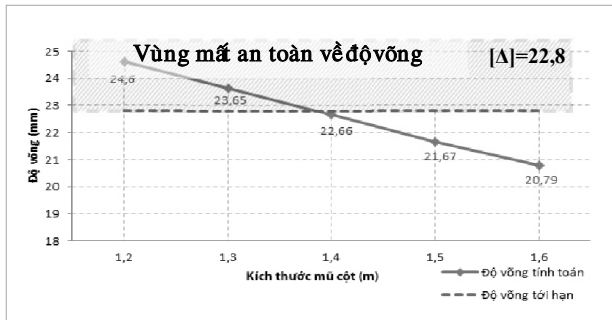
Hình 6. Biểu đồ quan hệ giữa lực cắt với kích thước mũ cột dạng bán đầu cột



Hình 7. Biểu đồ quan hệ giữa độ võng với kích thước mũ cột dạng bán đầu cột



**Hình 8.** Biểu đồ quan hệ giữa lực cắt với kích thước mũ cột dạng chóp cụt



**Hình 9.** Biểu đồ quan hệ giữa độ võng với kích thước mũ cột dạng chóp cụt

#### 4. Kết luận

Dựa vào các nghiên cứu trên, có thể kết luận như sau:

- Cùng một mặt bằng sàn với số nhịp giống nhau, khi sử dụng các dạng mũ cột khác nhau sẽ ảnh hưởng đến khả năng chọc thủng khác nhau, tiết diện tính toán tháp chọc thủng cũng khác nhau, dẫn đến sự làm việc và khả năng chịu lực của mỗi dạng sẽ khác nhau.

- Căn cứ vào giá trị trên các biểu đồ, với cùng bề dày sàn và tải trọng tác dụng, mũ cột dạng bản đầu cột đảm bảo về khả năng chống chọc thủng và có độ võng nhỏ hơn so với mũ cột dạng chóp cụt.

- Như vậy có thể kết luận trong phạm vi bài toán đang xét (cùng hệ lưới cột, bề dày sàn và tải trọng tác dụng), với sự khảo sát trên biểu đồ có thể tìm ra giá trị kích thước mũ cột hợp lý để đảm bảo khả năng chống chọc thủng và thỏa mãn yêu cầu về độ võng, dễ dàng nhận thấy khi kích thước của bản mũ cột  $b \geq 1,56$  m thì khả năng chịu lực được đảm bảo. Từ đó tìm ra quan hệ giữa kích thước  $b$  của bản đầu cột và mũ cột với nhịp sàn  $L$ , sao cho đảm bảo khả năng chống chọc thủng và thỏa mãn yêu cầu về độ võng, như vậy cạnh nhỏ của mũ cột phải không nhỏ hơn  $1/5$  lần cạnh lớn của ô bản.

Trong sàn phẳng BT U<sup>l</sup>T có sử dụng mũ cột, mũ cột dạng bản đầu cột đảm bảo khả năng chống chọc thủng và độ võng bé hơn so với mũ cột dạng chóp cụt khi có cùng bề dày sàn và tải trọng tác dụng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS. TS. Phan Quang Minh (2010), *Sàn phẳng bê tông ứng lực trước căng sau*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Tiêu chuẩn Xây dựng Việt Nam (TCVN 5574: 2012), *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – tiêu chuẩn thiết kế*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [3] Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 2737 – 1995), *Tải trọng và tác động tiêu chuẩn thiết kế*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [4] PGS. TS. Lê Thanh Huân, TS. Nguyễn Hữu Việt, ThS. Nguyễn Tất Tâm (2010), *Kết cấu bê tông ứng lực trước căng sau trong nhà nhiều tầng*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [5] ACI Committee 318. *Building Code Requirement for Structural Concrete* (ACI 318-2008) and *Commentary* (ACI 318R-02), American Concrete Institute, Farmington Hills.

(BBT nhận bài: 20/10/2015, phản biện xong: 30/11/2015)