

# Khảo sát ảnh hưởng của đường kính bu lông lên độ đàn hồi liên kết chân cột với móng theo tiêu chuẩn Eurocode 3

Investigation influence of bolt diameter on bending stiffness of column base connection by Eurocode 3

Chu Thị Hoàng Anh

## Tóm tắt

Trong khung thép nhà công nghiệp thì liên kết chân cột với móng thường dùng liên kết với bản đế bằng bu lông neo. Khi tính toán thì liên kết này thường được giả định là ngàm cứng. Tuy nhiên thực tế liên kết có tính đàn hồi. Nó được gọi là liên kết nửa cứng và được đánh giá thông qua đặc trưng là độ đàn hồi. Độ đàn hồi liên kết chân cột với móng xác định theo phương pháp tổ hợp độ cứng thành phần tiêu chuẩn Eurocode 3 phụ thuộc nhiều yếu tố như độ cứng và khả năng chịu lực của bu lông neo, bản đế chịu uốn, bê tông nén và bu lông chịu cắt. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu mô hình làm việc và cách xác định độ đàn hồi của liên kết chân cột với móng theo phương pháp tổ hợp thành phần, cũng như cách phân loại liên kết theo độ đàn hồi này. Các ví dụ tính toán được đưa ra nhằm khảo sát ảnh hưởng của đường kính bu lông đến độ đàn hồi liên kết. Đây là cơ sở để giúp các kỹ sư thiết kế chọn lựa bu lông trong cấu tạo liên kết chân cột với móng.

**Từ khóa:** độ cứng, phương pháp tổ hợp thành phần, chiều dày bản đế, bu lông neo, uốn, kéo, nén

## Abstract

In the steel frame, column base connections are formed by the anchor bolts and the base plates. In calculation, these joints are often considered rigid joint. But they are elastic and work in stage between rigid and spring. They are called "semi-rigid connection" which have stiffness. Stiffness of column base connection by "component approach" Eurocode 3 (EC3) depends on the stiffness and resistance of the anchor bolt in tension, the base plate in bending, the concrete in compression and the anchor bolt in shear. In this paper, the component model and calculating of the stiffness of column base connection and the classification of column base connection are presented. Numerical examples are given to investigate the influence of bolt diameter on column base connection stiffness. The results help the civil engineers choose the optimal bolt diameter on the connection.

**Key words:** stiffness, component method, base plate thickness, anchor bolt, bending, tension, compression

TS. Chu Thị Hoàng Anh,

Bộ môn Kết cấu thép - gỗ, Khoa Xây dựng

Email: anhcth@hau.edu.vn

ĐT: 0962134911

Ngày nhận bài: 24/2/2021

Ngày sửa bài: 17/5/2021

Ngày duyệt đăng: 12/4/2023

## 1. Mở đầu

Độ đàn hồi của liên kết giữa cột và móng ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu khung thép, đến sự phân bố nội lực trong khung, nhưng hiện nay vẫn chưa được nghiên cứu một cách kỹ lưỡng. Khi thiết kế vẫn thường giả thiết chân cột liên kết khớp hoặc liên kết ngàm với móng, nhưng thực tế làm việc độ đàn hồi liên kết chân cột sẽ có giá trị trung gian giữa liên kết ngàm và liên kết khớp. Sử dụng phương pháp tổ hợp độ cứng thành phần theo tiêu chuẩn EC3 hoàn toàn có thể xác định được độ cứng chống uốn ban đầu (độ đàn hồi) của liên kết chân cột và móng một cách chính xác thay cho việc thiết kế theo cấu tạo hiện nay.

Sau khi xác định được hệ số đàn hồi của liên kết chân cột và móng, có thể phân tích được sự làm việc của khung thép với mô hình làm việc sát thực tế hơn so với cách tính toán truyền thống (giả thiết liên kết ngàm hoặc liên kết khớp). Phân tích khung thép có xét đến độ đàn hồi liên kết của chân cột với móng sẽ cho giá trị momen chân cột nhỏ hơn so với khi giả thiết là liên kết ngàm, do vậy chiều dày bản đế và cấu tạo móng sẽ nhỏ hơn, nhưng chuyển vị sẽ lớn hơn [4,5]. Do vậy khi thiết kế kết cấu khung, đặc biệt với nhà công nghiệp một tầng có cầu trục cần xét đến độ đàn hồi của liên kết giữa chân cột và móng để việc tính toán nội lực và chuyển vị được chính xác hơn.

Hình 1 mô tả các phân tử tạo thành chân cột và sự làm việc của nó theo phương pháp tổ hợp độ cứng thành phần và sử dụng để tính hệ số đàn hồi của liên kết chân cột. Đặc tính của mỗi phân tử được nghiên cứu, các đặc trưng cơ học có liên quan được xác định như cường độ, độ cứng và khả năng biến dạng. Độ đàn hồi của liên kết chân cột và móng phụ thuộc vào độ cứng và khả năng chịu lực của các phân tử cấu tạo nên chân cột như: bu lông neo chịu kéo và bản đế chịu uốn; bê tông chịu nén và bản đế chịu uốn; bu lông neo chịu kéo, bu lông neo chịu cắt [2]. Khi ghép các phân tử cấu tạo nên liên kết, đặc tính cơ học của các phân tử được kết hợp để xác định khả năng chịu lực, cũng như góc xoay của liên kết.

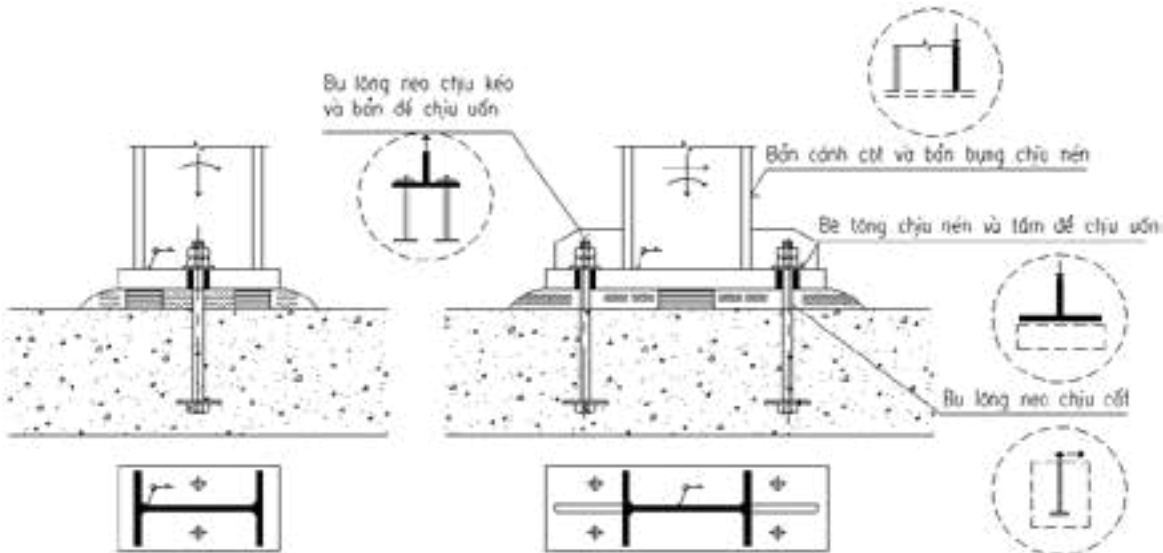
Giá trị momen tác dụng lên liên kết là  $M_{Sd}$  và giá trị của lực dọc tác dụng lên liên kết là  $N_{Sd}$ . Lực kéo  $F_t, R_d$  tác dụng lên bu lông và lực nén được giả thiết tác dụng tại tâm của vùng bản đế chịu nén  $F_c, R_d$  (Hình 2).

Hai tham số ảnh hưởng nhiều nhất đến độ cứng chống uốn ban đầu của liên kết chân cột và móng là kích thước bản đế và đường kính bu lông [6], trong đó bề dày bản đế đã được khảo sát có ảnh hưởng trong một giới hạn nhất định đến độ cứng chống uốn này. Trong bài báo này tác giả tiến hành khảo sát ảnh hưởng của đường kính bu lông đến độ cứng chống uốn ban đầu của liên kết cũng như khả năng chịu mô men của chân cột.

## 2. Trình tự tính toán xác định độ cứng liên kết chân cột và móng

**Bước 1:** Xác định khả năng chịu lực của các thành phần

Dạng 1: Bản đế bị chảy dẻo Hình 4b



Hình 1a) Cấu tạo chân cột hai bu lông Hình 1b) Cấu tạo chân cột bốn bu lông

**Hình 1. Cấu tạo chân cột và mô hình sự làm việc của các phân tử [1]**

$$F_{Rd,1} = \frac{4l_{eff} m_{pl,Rd}}{m} \quad (1)$$

trong đó:  $m_{pl,Rd}$  - mô men dẻo của chân bản cánh chữ T như Hình 4 theo đơn vị chiều dài

$$m_{pl,Rd} = \frac{1}{4} t^2 f_y / \gamma_{M_0}$$

với  $t$  là chiều dày cánh,  $f_y$  là ứng suất chảy của bản cánh,  $\gamma_{M_0}$  là hệ số an toàn,  $m$  và  $e_a, e_b, p$  là các đặc trưng hình học, xem Hình 3;

$$l_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m + 1,25e_a \\ 4\pi m \\ 0,5b \\ 2m + 0,625e_a + 0,5p \\ 2m + 0,625e_a + e_b \\ 2\pi m + 4e_b \\ 2\pi m + 2p \end{array} \right.$$

Dạng 2: Kết hợp 2 dạng trên Hình 4c:

$$F_{Rd,2} = \frac{2l_{eff} m_{pl,Rd} + \sum B_{t,Rd} \cdot n}{m + n} \quad (2)$$

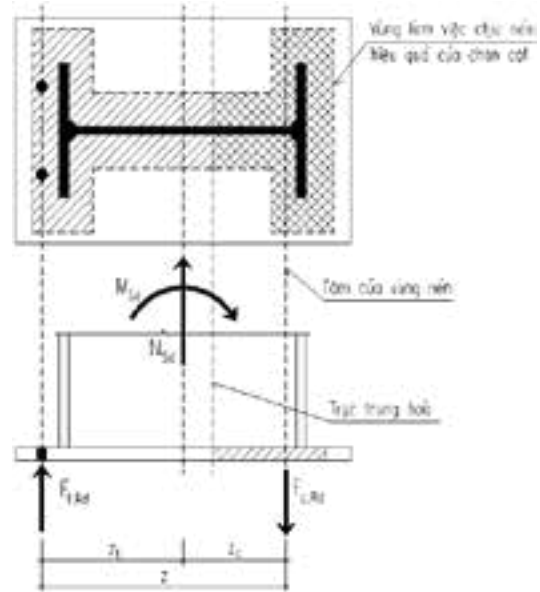
trong đó:  $\sum B_{t,Rd}$  là tổng khả năng chịu lực thiết kế  $B_{t,Rd}$  của các bu lông liên kết vào bản đế.  $B_{t,Rd} = 0,9A_s f_{ub} / \gamma_{M_b}$  với  $A_s$  là diện tích chịu kéo của bu lông,  $f_{ub}$  là ứng suất tới hạn của bu lông và  $\gamma_{M_b}$  là hệ số an toàn,  $n$  được xác định là khoảng cách giữa lực Q đến vị trí của bu lông (xem Hình 4), ( $n$  được lấy bằng  $e$  nhưng không lớn hơn 1,25m)  $l_{eff}$  được xác định như Hình 3.

Dạng 3: Bu lông neo bị kéo đứt Hình 4a:

$$F_{Rd,3} = \sum B_{t,Rd} \quad (3)$$

Cường độ thiết kế  $F_{Rd}$  được xác định theo công thức:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd,1}; F_{Rd,2}; F_{Rd,3}) \quad (4)$$



**Hình 2. Sơ đồ cân bằng lực của bản đế chân cột**

Dạng trung gian giữa 1 và 2 gọi là dạng 1\* xuất hiện khi không có lực ép của mép bản đế lên bê tông móng khi bu lông chịu kéo gây ra và bản đế hình thành hai khớp xảy ra khi chiều dày bản đế  $t$  lớn hơn giới hạn

$$t_p = 2,07m_3 \sqrt{\frac{A_s}{L_{bef} \cdot l_{eff}}}$$

Trong đó  $L_{bef} = 8d + t_g + t + t_n / 2$  là chiều dài hiệu dụng của bu lông,  $t_g$  - bề dày lớp vữa lót,  $t_n$  - chiều dài đoạn neo cong,  $l_{eff}$  xác định theo công thức đã cho.

Khả năng chịu lực theo dạng này là:

$$F_{Rd,1^*} = \frac{2l_{eff} m_{pl,Rd}}{m} \quad (5)$$

Khi đó cường độ thiết kế  $F_{Rd}$  được xác định theo công thức:  $F_{Rd} = \min(F_{Rd,1^*}; F_{Rd,3})$  (6)

**Bước 2:** Xác định diện tích hữu hiệu của vùng bê tông chịu nén dưới đáy bản đế

Từ phương trình cân bằng của lực theo phương đứng có được:

$$F_{Sd} = A_{eff} f_j - F_{Rd}$$

từ đó có được:

$$A_{eff} = \frac{F_{Sd} + F_{Rd}}{f_j} \quad (7)$$

trong đó:  $F_{Sd} = N_{Sd}$  - lực dọc tác dụng lên liên kết;

$$f_j = \frac{2 k_j f_{ck}}{3 \gamma_c} \text{ với } k_j = \sqrt{\frac{a_1^{eff} b_1^{eff}}{ab}}$$
 là hệ số tập trung;

với:  $f_{kc}$  - cường độ chịu nén của bê tông móng;  $f_j$  là cường độ chịu ép mặt tính toán của bê tông;  $a, b$  là chiều dài và rộng bản đế, giá trị của  $a_1^{eff}$  và  $b_1^{eff}$  được xác định như sau:

$$a_1^{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} a + 2a_r \\ 5a \\ a + h \\ 5b_1 \end{array} \right\} \text{ và } a_1^{eff} \geq a$$

$$\text{và } b_1^{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 2b_r \\ 5b \\ b + h \\ 5a_1 \end{array} \right\} \text{ và } b_1^{eff} \geq b,$$

với  $h$  là chiều sâu hiệu dụng của bê tông móng, các kích thước  $a, b, a_1, b_1, a_r, b_r$  xem trên Hình 3.

**Bước 3:** Xác định bề rộng dải bản đế xung quanh bản cánh và bản bụng cột:

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_j \gamma_{M0}}} \quad (8)$$

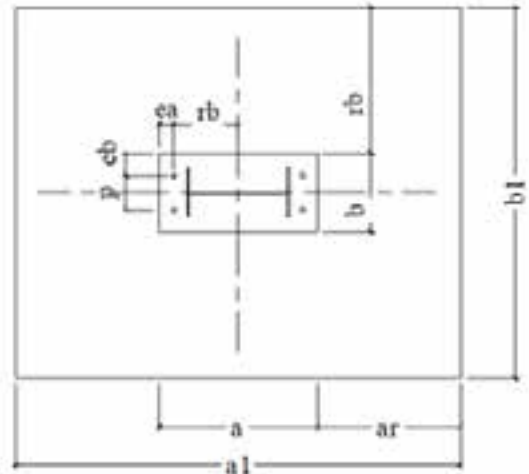
$f_y$  - ứng suất chảy của thép làm bản đế,  $t$  là chiều dày bản đế.

**Bước 4:** Xác định khả năng chịu mô men của chân cột:

$$M_{Rd} = F_{Rd,rb} + A_{eff} f_j r_c \quad (9)$$

trong đó:

$$r_c = \frac{h_c}{2} + c - \frac{b_{eff}}{2}; r_b = \frac{h_c}{2} + e_c; b_{eff} = \frac{A_{eff}}{b_c + 2c}$$



Hình 3. Đặc trưng hình học của bản đế chân cột

với  $h_c, b_c$ , là chiều cao tiết diện cột, bề rộng bản cánh cột.

**Bước 5:** Xác định khả năng chịu mô men của cột bị giảm do lực kéo:

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1 - F_{Sd} / N_{pl,Rd}}{1 - 0,5(A - 2b_c t_f) / A} \quad (10)$$

trong đó  $A$  là diện tích tiết diện cột,  $t_f$  bề dày bản cánh cột,  $b_c$  bề rộng bản cánh cột,  $M_{pl,Rd}$  là khả năng chịu mô men của cột

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,fy} / \gamma_{M0} \quad (11)$$

với  $W_{pl} = 2S$  là mô men kháng uốn của tiết diện, với  $S$  là mô men tĩnh của nửa tiết diện so với trục trung hòa.

$N_{pl,Rd}$  là khả năng chịu lực dọc của cột

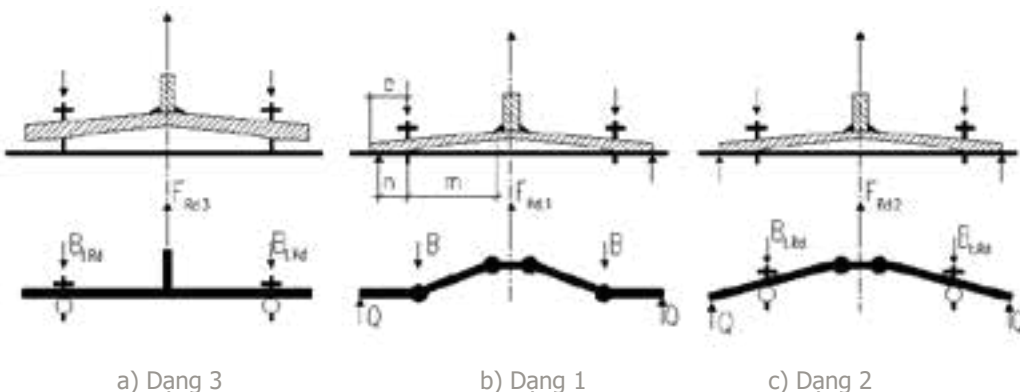
$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\alpha_{M0}} \quad (12)$$

**Bước 6:** Xác định độ cứng của các thành phần

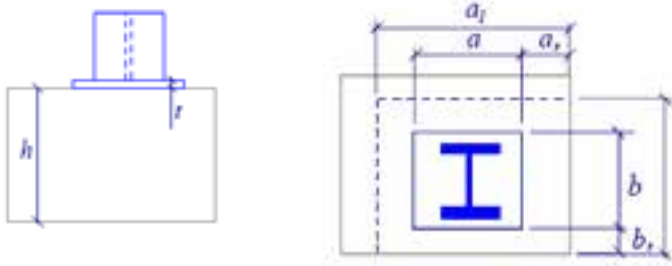
$$\text{Bu lông: } k_b = 2,0 \frac{A_s}{L_{bef}} \quad (13)$$

trong đó:  $A_s$  là diện tích chịu kéo của bu lông.

$$\text{Bản đế: } k_p = 0,425 \frac{l_{eff} t^3}{m^3} \quad (14)$$



Hình 4. Các dạng phá hoại của bản đế chân cột [2]



Hình 5. Sơ đồ dùng để xác định các thông số để tính hệ số  $k_j$

$$\text{Bê tông: } k_c = \frac{E_c}{1,275E_s} \sqrt{a_{eq} b_c} \quad (15)$$

Với  $a_{eq} = t_f + 2,5t$

**Bước 7:** Xác định tổng độ cứng:

$$k_t = \frac{1}{1/k_b + 1/k_p} \quad (16)$$

**Bước 8:** Xác định độ cứng ban đầu của chân cột:

$$S_{j,ini} = \frac{e}{e+a} \frac{E_s z^2}{\sum_{i=1}^n 1/k_i} \quad (17)$$

trong đó:

$$e = \frac{M_{Rd}}{F_{Sd}}, \quad a = \frac{k_c z_c - k_t z_t}{k_c + k_t}$$

$$\text{và } \mu = (1,5\gamma)^{2,7}, \quad \gamma = \frac{1 + \frac{z/2}{M_{Sd}/N_{Sd}}}{M_{Rd}/N_{Sd} + \frac{z/2}{M_{Sd}/N_{Sd}}}$$

trong đó:  $z_c$  là cánh tay đòn của trọng tâm vùng nén đến trục trung hòa;  $z_t$  là cánh tay đòn của trọng tâm vùng kéo đến trục trung hòa;  $z$  là khoảng cách từ trọng tâm vùng nén đến trọng tâm vùng kéo.

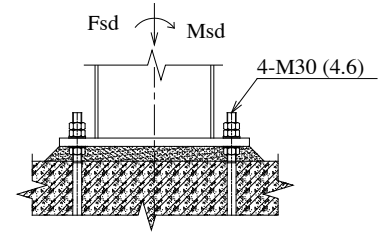
### 3. Khảo sát ảnh hưởng của đường kính bu lông

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ cứng của liên kết chân cột với móng trong đó các tham số chiều dày bản đế và đường kính bu lông đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng nhiều nhất. Vì vậy bài báo khảo sát ảnh hưởng của đường kính bu lông đến độ cứng chân cột.

Nội lực chân cột ảnh hưởng đến diện tích hữu hiệu của vùng bê tông chịu nén dưới đáy bản đế  $A_{eff}$  và khả năng chịu mô men của chân cột  $M_{Rd}$  cũng như khả năng chịu mô men của cột bị giảm do lực kéo  $M_{Ny,Rd}$ , các hệ số  $e, \gamma$  và ảnh hưởng đến độ cứng liên kết chân cột bản đế.

Khảo sát độ cứng liên kết chân cột với móng với chân cột  $C_1$  và  $C_2$ . Bê tông móng có  $E_c=23000\text{MPa}$ ,  $f_{ck}=8,5\text{MPa}$ , kích thước móng  $1500 \times 1800\text{mm}$ , lấy  $h=900\text{mm}$  vật liệu thép có  $f_y=210\text{MPa}$ ,  $E_s=21000\text{MPa}$ , chiều dày bản đế  $t=28\text{mm}$ . Chiều cao các đường hàn  $a_{wf}=6\text{mm}$ . Đường kính bu lông lấy lần lượt là 20, 22, 24, 27, 30, 36 và 42mm. Cấu tạo chân cột  $C_1$  được thể hiện trong hình vẽ 6.

Các hệ số  $\gamma_c=1,5$ ;  $\gamma_{Mo}=1,1$ ;  $\gamma_{Mb}=1,25$ , có bề dày lớp vữa lót  $t_g=50\text{mm}$ , đoạn neo cong của bu lông lấy  $t_n=20\text{mm}$ . Nội lực chân cột lấy  $F_{Sd}=224,8\text{ kN}$ ;  $M_{Sd}=126,1\text{ kNm}$ .



Hình 6. Cấu tạo chân cột khảo sát  $C_1$

Kích thước (mm)	$h_c$	$t_w$	$b_c$	$t_f$	$a$	$b$
$C_1$	400	6	200	10	640	320
$C_2$	550	8	250	10	780	320

Tính toán cụ thể với trường hợp chân cột  $C_1$   $d=30\text{ mm}$ .

**Bước 1:** Xác định khả năng chịu lực của các thành phần:

$$m = e_a - 0,8a_{wf}\sqrt{2} = 60 - 0,8 \times 6\sqrt{2} = 53,2\text{mm}$$

Chiều dài chân bản cánh chữ T khi không có lực ép của mép bản đế lên bê tông móng do bu lông chịu kéo gây ra:  $l_{eff}=160\text{mm}$ . Chiều dài hữu hiệu của bu lông neo:  $L_{bef}=328\text{mm}$ . Chiều dày bản đế giới hạn:  $t_p=24,2\text{mm}$ .

Vì  $t = 28 > t_p = 24,2$  nên không có lực ép của mép bản đế lên bê tông móng do bu lông chịu kéo gây ra. Vậy khả năng chịu lực của vùng nén T với 2 bu lông neo được xác định:

$$F_{Rd,3} = 2F_{tb,Rd} = 322,6 \times 10^3\text{ N}$$

Khả năng chịu lực của 2 bu lông M30 là:

$$F_{Rd,3} = 2F_{tb,Rd} = 322,6 \times 10^3\text{ N}$$

Vậy

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd,1^*}; F_{Rd,3}) = \min(225 \times 10^3; 322,6 \times 10^3) = 225 \times 10^3\text{ N}$$

**Bước 2:** Xác định diện tích hữu hiệu của vùng bê tông chịu nén dưới đáy bản đế

$$a_1^{eff} = 1540 > a = 640\text{mm};$$

$$b_1^{eff} = 1220 > b = 320\text{mm}; \quad k_j = 3,03$$

Lớp vữa chèn không ảnh hưởng đến khả năng chịu ép mặt của bê tông vì  $0,2 \cdot \min(a; b) = 64\text{mm} > t = 28\text{ mm}$ .

Khả năng chịu ép mặt của bê tông:  $f_j = 11,4\text{MPa}$ .

Lấy tổng các lực theo phương thẳng đứng ta có:

$$F_{Sd} = A_{eff.f_j} - F_{Rd} \rightarrow A_{eff} = 39312,3mm^2$$

**Bước 3:** Xác định bề rộng dải bản để xung quanh bản cánh và bản bụng cột:

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_j \gamma_{Mo}}} = 66mm$$

**Bước 4:** Xác định khả năng chịu mô men của chân cột:

$$b_{eff} = 118,4 \text{ mm} < t_f + 2c = 142mm$$

Cánh tay đòn của vùng bê tông chịu nén:  $r_c=206,8mm$ .  
Cánh tay đòn của bu lông:  $r_b=252mm$ .

Khả năng chịu mô men của chân cột:

$$M_{Rd} = 149,7 \times 10^6 \text{ N.mm} = 149,7 \text{ kN.m}$$

Dưới tác dụng của lực nén  $N_{Sd} = 224,8 \text{ kN}$  thì khả năng chịu mô men là  $M_{Rd} = 149,7 \text{ kN.m} > M_{Sd} = 126,1 \text{ kN.m}$ .

**Bước 5:** Xác định khả năng chịu mô men của chân cột bị giảm do lực kéo:

Khả năng chịu nén thiết kế là:

$$N_{pl.Rd} = A.f_y / \gamma_{Mo} = 1199 \times 10^3 \text{ N}$$

Khả năng chịu uốn thiết kế:

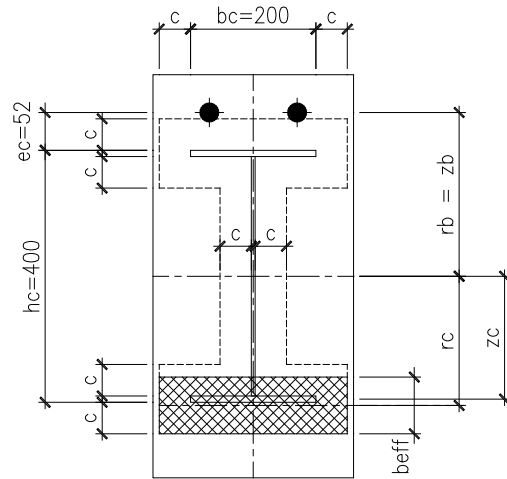
$$M_{pl.Rd} = W_{pl}.f_y / \gamma_{Mo} = 171,4 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\text{Trong đó: } W_{pl} = 897680 \text{ mm}^3$$

Vậy:

$$\begin{aligned} M_{Ny.Rd} &= M_{pl.Rd} \frac{1 - N_{Sd} / N_{pl.Rd}}{1 - 0,5(A - 2b_c t_f) / A} \\ &= 171,4 \frac{1 - 224,8 / 1199}{1 - 0,5(6280 - 2 \times 200 \times 10) / 6280} \\ &= 170,1 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

**Bước 6:** Xác định độ cứng của các thành phần:



**Hình 7. Diện tích hữu hiệu tương đương dưới bản đế**

$$k_b = 2,0 \frac{A_s}{L_{bef}} = 3,4mm; k_p = 0,425 \frac{l_{eff} t_p^3}{m^3} = 9,9mm;$$

$$a_{eq} = t_f + 2,5t_p = 80mm; k_c = \frac{E_c}{1,275E_s} \sqrt{a_{eq} b} = 10,9mm$$

**Bước 7:** Xác định tổng độ cứng:

$$z_t = r_c = 252mm; z_c = h_c / 2 - t_f / 2 = 195mm$$

$$\text{Vậy: } k_t = 2,54mm$$

**Bước 8:** Xác định độ cứng chống xoay ban đầu của chân cột:

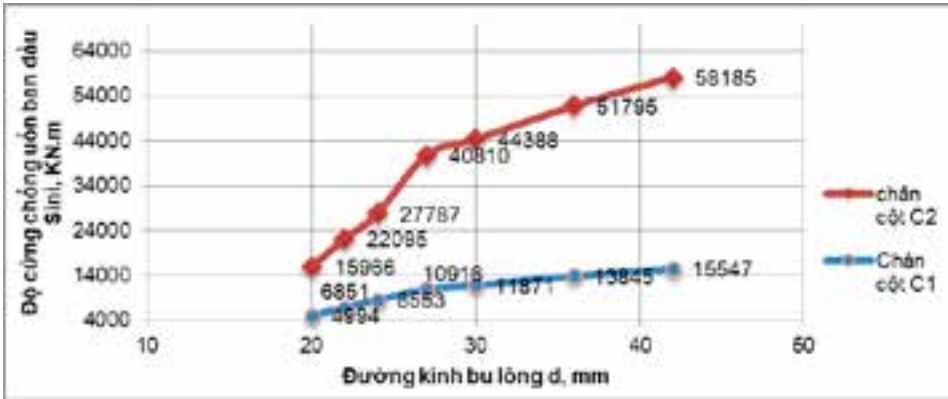
$$z = z_t + z_c = 447mm; a = 110,3mm;$$

$$e = M_{Rd} / N_{Sd} = 666,13mm;$$

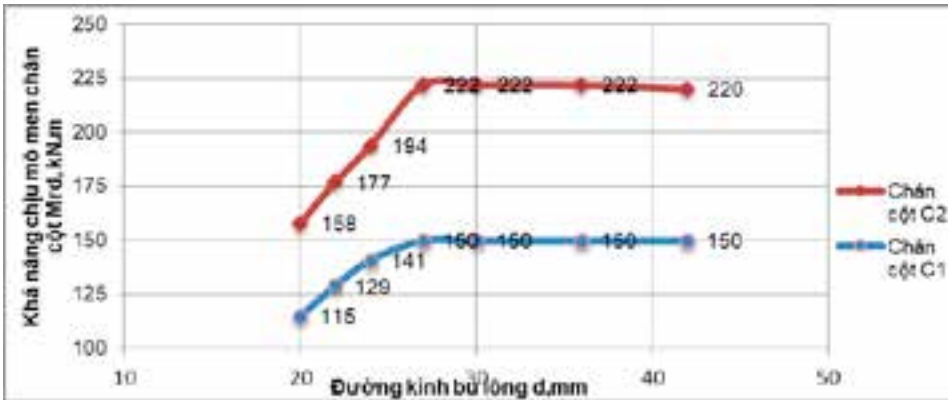
$$\gamma = 1,314; \mu = (1,5\gamma)^{2,7} = 6,242$$

**Bảng: Giá trị tính toán độ cứng ban đầu liên kết chân cột với móng**

Chân cột	Đường kính d (mm)	$F_{Rd,1^*}$ (N)	$F_{Rd,3}$ (N)	$F_{rd}$ (N)	$A_{eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$M_{Rd}$ (N.mm)	$k_t$	$S_{j,ini}$ (kN.m/rad)
C1	20	225022	141120	141120	31980	1,15E+08	1,65	4994
	22	225022	174528	174528	34899	1,29E+08	1,86	6851
	24	225022	202752	202752	37366	1,41E+08	2,01	8553
	27	225022	264484	225022	39312	1,5E+08	2,31	10916
	30	225022	322560	225022	39312	1,5E+08	2,54	11871
	36	225022	460016	225022	39312	1,5E+08	3,05	13845
	42	225022	645120	225022	39312	1,5E+08	3,45	15547
C2	20	251810	141120	141120	33801	1,58E+08	1,65	15966
	22	251810	174528	174528	36888	1,77E+08	1,86	22095
	24	251810	202752	202752	39495	1,94E+08	2,01	27787
	27	251810	264384	251810	44027	2,22E+08	2,31	40810
	30	251810	322560	251810	44027	2,22E+08	2,54	44388
	36	251810	470016	251810	44027	2,22E+08	3,02	51795
	42	251810	645120	251810	44027	2,2E+08	3,45	58185



Hình 8. Biểu đồ quan hệ giữa đường kính bu lông d và độ cứng chống uốn ban đầu  $S_{j,ini}$  của liên kết chân cột với móng



Hình 9. Biểu đồ quan hệ giữa đường kính bu lông d và khả năng chịu mô men của chân cột  $M_{rd}$

$$S_{j,ini} = \frac{e}{e + a} \frac{E_s z^2}{\mu \sum 1/k_i} = 11,871 \times 10^9 \text{ N.mm / rad}$$

$$= 11871 \text{ kN.m / rad}$$

So sánh giới hạn

$$S_{j,ini} = 11871 \text{ kN.m / rad} < 30EI_c / L_c = 120309 \text{ kN.m / rad}$$

Liên kết chân cột bản đế này được phân loại là liên kết đàn hồi.

Giá trị các bước tính toán cho các trường hợp được đưa vào bảng sau.

Với cùng một kích thước bản đế, vị trí đặt bulông thì đường kính bu lông tăng dẫn đến bề rộng dài bản đế xung

không tăng.

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả tính toán trên ta thấy với một kích thước cột và bản đế, móng nhất định đường kính bu lông tăng làm tăng khả năng chịu mô men của chân cột  $M_{rd}$  và độ cứng chống uốn ban đầu  $S_{j,ini}$  của liên kết móng và chân cột, nhưng tăng đến một giới hạn nhất định thì khả năng chịu mô men của chân cột không bị ảnh hưởng nữa. Vì vậy khi thiết kế chân cột bằng phương pháp độ cứng thành phần cần chọn đường kính bu lông này tối ưu nhất sao cho bu lông và bản đế đồng phá hoại  $FRd,1^* \approx FRd,3$ , khả năng chịu mô men của chân cột là tối ưu và độ cứng thành phần bu lông và bản đế xấp xỉ nhau  $k_p \approx k_b \approx k_t$ .

quanh bản cánh và bản bụng cột c, độ cứng thành phần bản đế  $k_p$  và bê tông  $k_c$  tăng và cuối cùng dẫn đến tổng  $k_t$  và độ cứng ban đầu  $S_{j,ini}$  của chân cột tăng.

#### Nhận xét:

Bản đầu kích thước dài bản đế chịu nén xung quanh bản cánh và bản bụng cột tăng khi đường kính bu lông  $d$  tăng, nhưng dẫn đến những giá trị lớn hơn thì diện tích hữu hiệu của vùng bê tông chịu nén dưới đáy bản đế Aeff không tăng nữa, cường độ thiết kế  $FRd,1^*$  theo dạng phá hoại xuất hiện khi không có lực ép của mép bản đế lên bê tông móng khi bulông chịu kéo gây ra và bản đế hình thành hai khớp không tăng. Trong khi đó cường độ thiết kế theo bulông bị kéo đứt  $FRd,3$  tăng. Khi đó cường độ thiết kế tính theo  $FRd,1^*$  là một giá trị phụ thuộc bề dày bản đế và chất liệu thép cột cũng như vị trí bố trí bu lông, không phụ thuộc đường kính bu lông. Thành phần độ cứng của bản đế và bê tông không đổi nhưng thành phần độ cứng của bu lông tăng nên độ cứng chống uốn tổng tăng nhưng cường độ thiết kế  $M_{rd}$

#### Tài liệu tham khảo

- Ed. Moore D.B., Wald F, Design of Structural Connections to Eurocode 3 – Frequently Asked Questions, Building Research Establishment Ltd, Watford, ISBN 80-01-02838-0, 2003
- Miklos Ivanyi, Charalambos C. Baniotopoulos, "Semi-rigid Joints in Structural Steelwork CISM International Centre for Mechanical Sciences", Springer-Verlag wien, New York, ISBN 981-02-4138-0, 2000.
- Ciro Faella, Vincenzo Piluso, Gianvittorio Rizzano, "Structural Steel Semirigid Connections: Theory, Design, and Software", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, ISBN 981-02-4138-0, 2000.
- Vũ Quốc Anh, Nguyễn Thanh Hoà, "Ứng xử của khung thép nhà công nghiệp khi xét đến sự làm việc đàn hồi của liên kết", Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2011.
- Vũ Quốc Anh, Vũ Quang Duẩn, "Xác định hệ số đàn hồi liên kết chân cột với móng bằng phương pháp tổ hợp độ cứng thành phần", Tạp chí Xây dựng, số 05, 2012.
- Vũ Quốc Anh, Chu Thị Hoàng Anh (2019). Khảo sát ảnh hưởng của chiều dày bản đế lên độ đàn hồi của liên kết chân cột với móng theo tiêu chuẩn EUROCODE 3. Hội thảo quốc tế về Kiến trúc và Xây dựng: Đào tạo, Hội nhập và Phát triển bền vững (ICACE), tiểu ban 2, 344-352, Hà Nội.