

Xác định khả năng chịu lực của liên kết chân cột bản đế uốn xiên theo tiêu chuẩn EC3

Determining joint resistance of steel column base under biaxial loading conditions according to EC3

Vũ Quốc Anh⁽¹⁾, Chu Thị Hoàng Anh⁽²⁾

Tóm tắt

Theo phương pháp tổ hợp độ cứng thành phần tiêu chuẩn EC3 có thể hoàn toàn xác định được độ cứng chống uốn ban đầu và khả năng chịu lực của liên kết bản đế chân cột. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu phương pháp thành phần để xác định khả năng chịu lực của liên kết chân cột bản đế chịu mô men uốn xiên và lực dọc, đồng thời xây dựng đường quan hệ giữa hai thành phần mô men uốn xoắn thời theo cả hai trục quán tính chính (uốn xiên).

Từ khóa: độ cứng, phương pháp tổ hợp thành phần, chiều dày bản đế, bulông neo

Abstract

According to the EC3, the initial stiffness and bearing capacity of the steel column base connection can be determined. In this paper, the author introduces the component method to determine the bearing capacity of the column base under biaxial loading conditions. Moment resistance interaction curve could also be built.

Key words: stiffness, component method, base plate thickness, anchor bolt

1. Đặt vấn đề

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 [2] 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.

Trong mô hình tính toán khung phẳng chân cột chịu mô men uốn và lực dọc tuy nhiên thực tế làm việc kết cấu làm việc không gian nhờ các giằng liên kết các khung phẳng, chân cột chịu mô men uốn xiên và lực dọc. Vì vậy xác định khả năng chịu lực của liên kết chân cột chịu mô men uốn xiên và lực dọc là một vấn đề cần quan tâm nghiên cứu. Bài báo này giới thiệu cách xác định khả năng chịu mô men uốn xiên của một liên kết chân cột bản đế đàn hồi khi chịu một lực nén nhất định.

2. Khả năng chịu lực của liên kết chân cột bản đế

Tiêu chuẩn EC3 [2] đưa ra phương pháp thành phần để xác định độ cứng thành phần cũng như khả năng chịu lực của các thành phần cấu tạo nên liên kết bản đế chân cột. Độ cứng và khả năng chịu lực của nút liên kết là tổng hợp các thành phần này.

2.1. Xác định khả năng chịu lực của bản đế chịu uốn và bu lông chịu kéo

Dạng 1: Bản đế bị chảy dẻo Hình 2b

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

trong đó:

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

$m_{pl,Rd}$ - mô men dẻo của chân bản cánh chữ T như Hình 2 theo đơn vị chiều dài $m_{pl,Rd} = 1/4 t_2 f_y / \gamma_{M0}$ với t là chiều dày cánh, f_y là ứng suất chảy của bản cánh, γ_{M0} là hệ số an toàn, m và e_a, e_b, p là các đặc trưng hình học xem Hình 1.

Dạng 2: Dạng 2 trên Hình 2c

⁽¹⁾TS, Giảng viên, khoa Xây dựng,
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,
Email: <anhvq@hau.edu.vn>

⁽²⁾PGS, TS, Giảng viên, khoa Xây dựng,
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,
Email: <anhcth@hau.edu.vn>

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

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. $B_{t,Rd} = 0,9A_s f_{ub} / \gamma_{Mb}$ với A_s là diện tích chịu kéo của bu lông, f_{ub} là ứng suất tới hạn của bu lông và γ_{Mb} là hệ số an toàn, n được xác định là khoảng cách giữa lực Q đến vị trí của bu lông (xem Hình 2), (n được lấy bằng e nhưng không lớn hơn 1,25m) l_{eff} được xác định như Hình 1.

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:

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

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

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

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, I_{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:

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd,1*}; F_{Rd,3}) \quad (6)$$

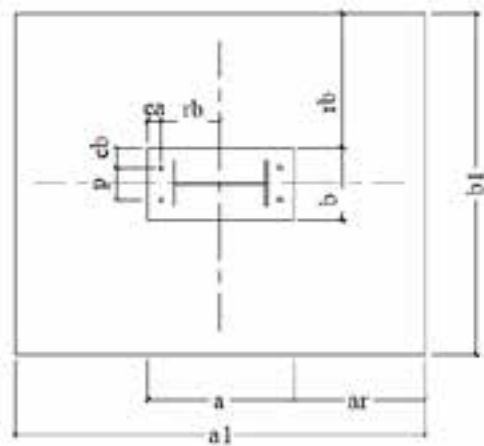
2.2. Xác định khả năng chịu lực của thành phần bản đế chịu uốn và bê tông nén

Cường độ chịu ép mặt tính toán của bê tông [3]:

$$f_j = \beta_j \frac{k_j f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_2 b_2}{ab}}$$

với k_j là hệ số tập trung; β_j hệ số khi ảnh hưởng lớp vữa lót không đáng kể thì $\beta_j = 2/3$; f_{ck} - cường độ chịu nén của bê tông móng; a, b là chiều dài và rộng bản đế, giá trị của a_2 và b_2 được xác định như sau:



Hình 1. Đặc trưng hình học của bản đế chân cột

$$a_2 = \min \left\{ \begin{matrix} a + h \\ 3a \\ a_1 \end{matrix} \right\} \text{ và } a_2 \geq a \text{ và } b_2 = \min \left\{ \begin{matrix} b + h \\ 3b \\ b_1 \end{matrix} \right\} \text{ và } b_2 \geq b$$

với h là chiều sâu hiệu dụng của bê tông móng, các kích thước a, b, a_1, b_1, a_2, b_2 xem trên Hình 3.

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

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

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

Xác định diện tích hữu hiệu vùng bê tông chịu nén

$$I_{eff} = \min \left\{ \begin{matrix} b_c + 2c \\ b \end{matrix} \right\} \quad (9)$$

$$b_{eff} = \min \left\{ \begin{matrix} (a - h_c) / 2 \\ c \end{matrix} \right\} + t_f + c \quad (10)$$

$$A_{eff} = I_{eff} b_{eff}$$

trong đó: h_c, b_c , là chiều cao tiết diện cột, bề rộng bản cánh cột.

Khả năng chịu lực của phần nén

$$F_{c,pl,Rd} = A_{eff} f_j \quad (11)$$

2.4. Xác định khả năng chịu nén của thành phần bụng và cánh cột

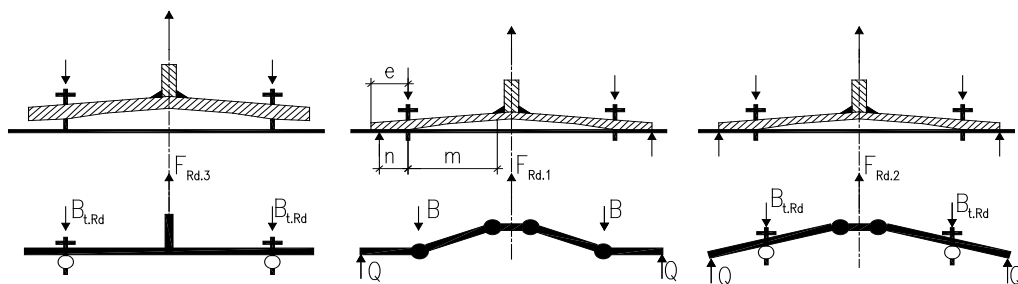


Figure 29. Failure modes in a T-stub

a) Dạng 3

b) Dạng 1

c) Dạng 2

Hình 2. Các dạng phá hoại của bản đế chân cột [3]

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{pl,Rd}}{(h_c - t_f)} \quad (12)$$

Trong đó $M_{pl,Rd}$ là khả năng chịu mô men của cột

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{Mo} \quad (13)$$

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.

2.5. Xác định mô men tới hạn (khả năng chịu mô men) của liên kết

$$\text{Xác định độ lệch tâm } e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

từ đó xác định trường hợp chịu lực tương ứng theo 1 trong 4 sơ đồ theo bảng 6.7 EC3 [2] như bảng 1.

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 trục trung hòa kéo:

$$z_c = \frac{h_c}{2} - \frac{t_f}{2}; z_t = \frac{h_c}{2} + e_c$$

2.6. Xác định biểu đồ quan hệ M_y, M_z

Đường quan hệ M_y, M_z xây dựng sau khi xác định được mô men tới hạn theo hai phương trục y và z $M_{z,Rd}$ và $M_{y,Rd}$ theo phương trình sau [1]:

$$\left(\frac{M_z}{M_{z,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{y,Rd}} \right)^2 = 1 \Leftrightarrow M_z = \sqrt{1 - \left(\frac{M_y}{M_{y,Rd}} \right)^2} M_{z,Rd}$$

Từ đó xác định với một mô men uốn xiên bất kì có thể xác định giá trị tới hạn $M_{\alpha,y}; M_{\alpha,z} = \tan \alpha M_{\alpha,y}$ và xác định giá trị mô men tới hạn theo góc lệch khỏi trục chính góc α như sau:

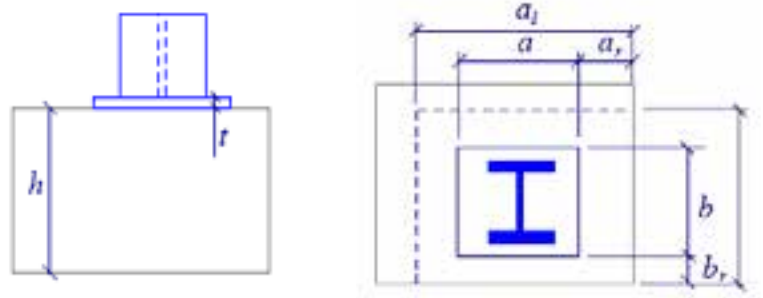
$$M_{\alpha,Rd} = \sqrt{M_{y,\alpha}^2 + M_{z,\alpha}^2}$$

3. Ví dụ tính toán

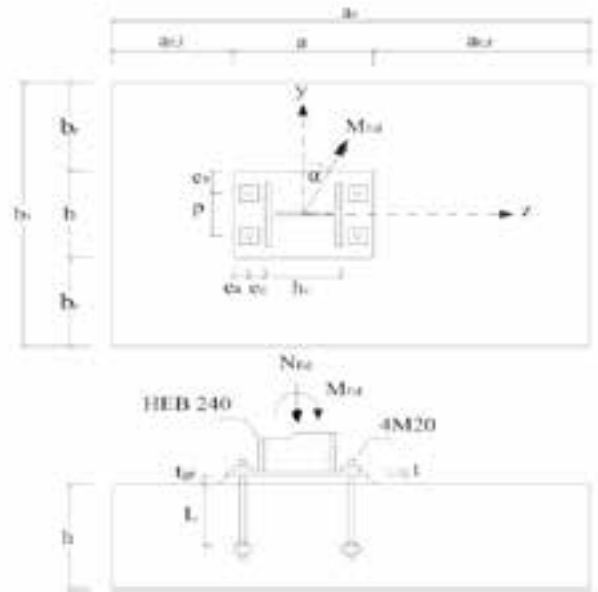
Kiểm tra khả năng chịu lực thông qua xác định biểu đồ quan hệ mô men M_y, M_z của chân cột tiết diện HEB240, mác thép S235 có cường độ $f_y=235\text{MPa}$, $f_u=360\text{MPa}$, mô đun đàn hồi $E=210000\text{MPa}$ (theo tiêu chuẩn EN10025-2) chịu lực nén dọc $N_{Ed}=-200\text{kN}$, mô men uốn $M_{26.56,Ed}=50\text{kN.m}$ lệch so với trục y góc 26.56° . Độ lệch tâm tương ứng $e=-0,25\text{m}=-250\text{mm}$.

Móng kích thước $1500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 400\text{mm}$ với cấp bền C16/20. Bản đế chiều dày $t=20\text{mm}$, bu lông cấp bền 8.8 đường kính 20, chiều dài neo 250mm, mũ bu lông dày 20mm. Bản đế $a \times b=440\text{mm} \times 330\text{mm}$, như hình 4.

Với các bước tính toán như đã giới thiệu ở mục 2, ta thu được kết quả như trong bảng 2, và xây dựng được biểu đồ tương tác của mô



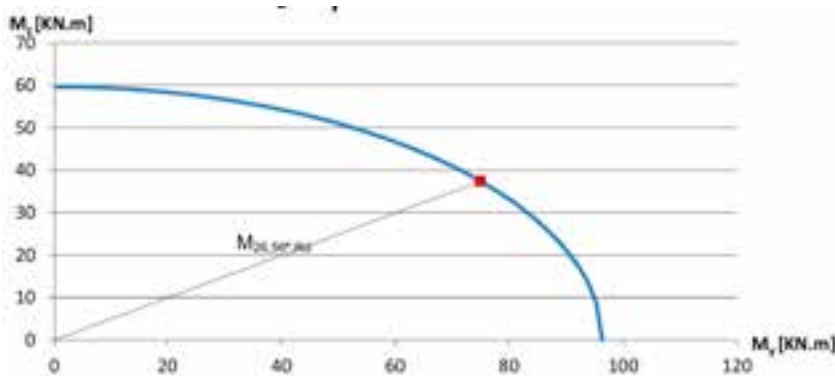
Hình 3. Sơ đồ dùng để xác định các thông số để tính hệ số k_j [3]



Hình 4. Cấu tạo liên kết bản đế chân cột

Bảng 1. Xác định khả năng chịu mô men của liên kết chân cột bản đế theo tiêu chuẩn EC3

+ Khi $N_{Ed} > 0$ và $e > z_{t,l}$ hoặc $N_{Ed} \leq 0$ và $e \leq -z_{c,r}$ thì $M_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{t,l,Rd} z}{z_{c,r} / e + 1} \\ \frac{-F_{c,r,Rd} z}{z_{t,l} / e - 1} \end{array} \right\} \quad (14)$	+ Khi $N_{Ed} > 0$ và $N_{Ed} > 0$ hoặc $N_{Ed} > 0$ và $-z_{t,r} < e \leq 0$ thì $M_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{t,l,Rd} z}{z_{t,r} / e + 1} \\ \frac{-F_{t,r(l),Rd} z}{z_{t,l} / e - 1} \end{array} \right\} \quad (15)$
+ Khi $N_{Ed} > 0$ và $N_{Ed} \leq 0$ hoặc $N_{Ed} \leq 0$ và $e > z_{c,l}$ thì $M_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{-F_{c,l,Rd} z}{z_{t,r} / e + 1} \\ \frac{F_{t,r,Rd} z}{z_{c,l} / e - 1} \end{array} \right\} \quad (16)$	+ Khi $N_{Ed} \leq 0$ và $N_{Ed} \leq 0$ hoặc $N_{Ed} \leq 0$ và $-z_{c,r} < e \leq 0$ thì $M_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{-F_{c,l,Rd} z}{z_{c,r} / e + 1} \\ \frac{-F_{c,r,Rd} z}{z_{c,l} / e - 1} \end{array} \right\}$



Hình 5. Biểu đồ tương tác M_y - M_z

men tới hạn theo hai trục quán tính chính (Hình 5).

Với góc lệch $\alpha=26,56^\circ$ xác định được giá trị tới hạn của các thành phần mô men $M_{\alpha,y}, M_{\alpha,z}$ bằng cách giải hệ phương trình:

$$\begin{cases} M_{\alpha,z} = \sqrt{\left(1 - \left(\frac{M_{\alpha,y}}{M_{y,Rd}}\right)^2\right)} M_{z,Rd} \\ M_{\alpha,z} = \tan \alpha M_{\alpha,y} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M_{\alpha,y} = 70281234(N.mm) \\ M_{\alpha,z} = 35132873(N.mm) \end{cases}$$

Khả năng chịu mô men xiên góc $\alpha = 26,56^\circ$ là

$$M_{26,56,Rd} = 78573346 N.mm = 78,6 kN.m$$

Kiểm tra mô men tác dụng

$$M_{26,56,Ed} = 50 kN.m < M_{26,56,Rd} = 78,6 kN.m$$

Thỏa mãn!

Tài liệu tham khảo

1. Amaral P.M., "Steel column bases under biaxial loading", Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, Portugal, 2014.
2. Eurocode 3. EN 1993-1-2, "Design of steel structures," in Part 1.2: General rules- structural fire design, European committee for Standardization, 2005.
3. 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.
4. Vũ Quốc Anh, Chu Thị Hoàng Anh, "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, 2019.
5. 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.

4. Nhận xét và kết luận

Việc tính toán liên kết chân cột bản đế chịu lực dọc và mô men uốn theo một phương được nhiều tác giả nghiên cứu và giới thiệu, tuy nhiên chân cột chịu lực dọc và mô men uốn theo hai phương hầu như chưa được đề cập đến.

Với một cấu tạo chân cột bản đế nhất định chịu lực nén và mô men, dựa vào phương pháp thành phần giới thiệu trong tiêu chuẩn châu Âu EC3 chúng ta có thể xác định được khả năng chịu mô men theo hai trục quán tính chính. Từ đó có thể xây dựng được biểu đồ quan hệ mô men tới hạn ứng với hai trục quán tính chính của tiết diện M_y - M_z .

Dùng biểu đồ quan hệ mô men tới hạn M_y - M_z hoàn toàn có thể xác định giá trị mô men tới hạn uốn xiên một góc bất kì (chịu mô men theo cả hai phương trục quán tính chính) đối với trục quán tính chính $M_{\alpha,Rd}$. Đây là cơ sở để kiểm tra bài toán chân cột chịu uốn xiên hay bài toán tính toán liên kết chân cột bản đế mô hình không gian./.

Bảng 2: Giá trị mô men tới hạn của liên kết bản đế chân cột

Giá trị		
Trục y	$F_{rd3,y}$ (N)	282240
	$F_{rd1,y}$ (N)	-162031
	$F_{rd2,y}$ (N)	240431.4
	$F_{rd1*,y}$ (N)	189381.8
	$F_{rd,y}$ (N)	227428.1
	f_j (Mpa)	14.6
	c	46.3
	$F_{c,pl,Rd,y}$ (N)	528588.2
	$F_{c,fc,Rd,y}$ (N)	1109664
	e (mm)	-250
	$Z_{c,y}$ (mm)	111.5
	$Z_{t,y}$ (mm)	170
Trục z	$M_{y,Rd}$ (N.mm)	88569991
	$F_{rd,1*,z}$ (N)	227428.1
	$F_{rd,z}$ (N)	227428.1
	$F_{c,pl,Rd,z}$ (N)	427428.1
	$F_{c,fc,Rd,z}$ (N)	976033.3
	$Z_{c,z}$ (mm)	98.3
	$Z_{t,z}$ (mm)	80
	$M_{z,Rd}$ (N.mm)	57731505