



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.47-54>

***Corresponding author:**

Email address:

lemanhds@utt.edu.vn

Received: 20/09/2025

Received in Revised Form:
09/10/2025

Accepted: 29/11/2025

Optimal sizing of concrete-filled steel tubes under axial compression considering slenderness ratio

Manh Van Le¹, Anh Thuy Nguyen¹, Thuong Manh Nguyen²

¹University of Transport Technology, Hanoi, Vietnam

² Military Technical Academy

Abstract: This article presents a study on determining the minimum dimensions of concrete-filled steel tubes (CFST) that satisfy stability requirements for both centrally and eccentrically compressed columns, based on the concept of optimal slenderness ratio. The research develops formulas derived from relevant principles and design codes to ensure both local and global stability of CFST members. The cross-section of the member is considered in two forms circular and rectangular in order to determine the optimal slenderness ratio of the compression member in relation to dimensionless parameters. The findings provide a foundation for engineers to select initial cross-sectional dimensions of CFST members during the preliminary design stage.

Keywords: Concrete-filled steel tubes, Slenderness ratio, CFST, Minimum cross-sectional dimension, Stability of compression members.



Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.4.47-54>

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ Email:

lemanhds@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 20/09/2025

Ngày nộp bài sửa: 09/10/2025

Ngày chấp nhận: 29/11/2025

Nghiên cứu xác định kích thước tối ưu của ống thép nhồi bê tông chịu nén theo độ mảnh

Lê Văn Mạnh¹, Nguyễn Thùy Anh¹, Nguyễn Mạnh Thường²

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Hà Nội, Việt Nam

²Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu xác định kích thước tối thiểu của ống thép nhồi bê tông (CFST) thỏa mãn các yêu cầu về ổn định cho các cột chịu nén đúng tâm và nén lệch tâm, dựa trên khái niệm độ mảnh tối ưu. Nghiên cứu phát triển các công thức được dẫn xuất từ các nguyên lý và tiêu chuẩn thiết kế liên quan nhằm đảm bảo ổn định cục bộ và tổng thể cho các cấu kiện CFST. Tiết diện của thanh được xem xét gồm hai dạng là tiết diện tròn và tiết diện chữ nhật, nhằm xác định độ mảnh tối ưu của thanh chịu nén trong mối quan hệ với các tham số không thứ nguyên. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở giúp các kỹ sư lựa chọn kích thước tiết diện ban đầu của các cấu kiện CFST trong giai đoạn thiết kế sơ bộ.

Từ khóa: Ống thép nhồi bê tông, độ mảnh, CFST, kích thước nhỏ nhất, ổn định thanh chịu nén.

1. Giới thiệu

Ống thép nhồi bê tông (CFST) đang ngày càng được sử dụng rộng rãi trong xây dựng dân dụng cũng như xây dựng công trình giao thông. Ở Việt Nam đã có một số công trình cầu vòm ống thép nhồi bê tông như cầu Đông Trù, cầu Hoàng Văn Thụ, cầu Châu Giang...

Ngoài ra ống thép nhồi bê tông còn được sử dụng làm trụ cầu, nhất là các cầu được xây dựng trong trung đô thị, nhờ vào những ưu điểm nổi bật như vận chuyển, lắp đặt nhanh chóng và đơn giản tại công trường trong điều kiện không gian chật hẹp của thành phố. Khả năng chịu động đất, chịu cháy tốt và chi phí xây dựng hợp lý.

Khả năng chịu lực của cột ống thép nhồi bê tông sẽ được tăng cường đáng kể khi sử dụng vật liệu cường độ cao, do đó có thể giảm tiết diện ống thép nhồi bê tông nếu xét theo điều kiện chịu lực. Nhưng thực tế chỉ ra rằng sự thay đổi tiết diện có thể làm ảnh hưởng đến khả năng chịu ổn định của

kết cấu, cột mảnh có xu hướng bị mất ổn định trước khi đạt được khả năng chịu nén tối đa của kết cấu vì vậy các cột mảnh thường cần phải được tính toán kỹ lưỡng hơn về khả năng ổn định và độ cứng. [1, 2, 3]

Trong các tiêu chuẩn Eurocode, ACI hoặc TCVN 5575 [4, 5, 6, 7] thì diện tích tiết diện ngang của các thanh chịu nén đúng tâm và nén lệch tâm của kết cấu được xác định, theo quy luật theo điều kiện độ ổn định của nó theo công thức:

$$A_1 \geq \frac{N}{\Phi \varphi R_n} \quad (1)$$

Trong đó

N – Lực nén;

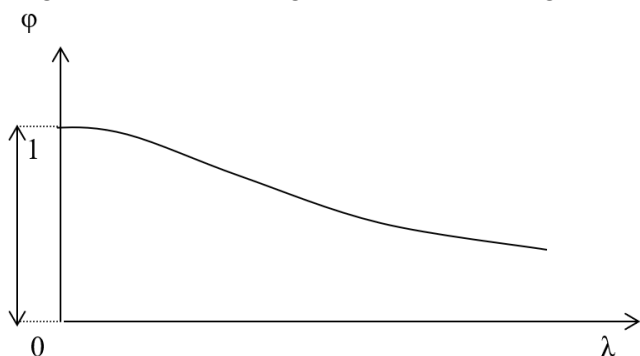
Φ – Hệ số sức kháng;

φ – Hệ số độ uốn dọc (hoặc hệ số giảm ứng suất cho phép) phụ thuộc vào độ mảnh λ của thanh chịu nén dạng thanh có độ lệch tâm m_{ef} .

Các giá trị độ mảnh λ khi đó được xác định bằng phương pháp tiệm cận. Bằng cách xác định

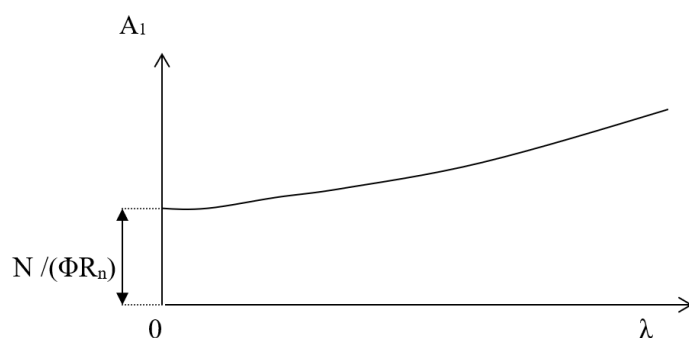
2 ảnh số số - A1 và φ trong bất đẳng thức (1)

Ta có sự phụ thuộc của hệ số độ uốn dọc φ vào độ mảnh λ đối với tất cả các dạng kết cấu có biểu đồ Hình 1 [8, 9]. Khi độ mảnh λ gần tới 0 thì hệ số φ trong trường hợp nén đúng tâm gần tới 1, khi độ mảnh λ tăng thì hệ số φ giảm dần, lúc đầu thì giảm từ từ, sau đó giảm mạnh đến giá trị 0,3-0,15. Trong trường hợp nén lệch tâm giá trị φ khi độ mảnh gần bằng 0 thì nó phụ thuộc vào giá trị của độ lệch tâm, nhưng xu hướng giảm giá trị φ khi tăng độ mảnh λ là cùng có đặc điểm tương tự.



Hình 1. Sự phụ thuộc của hệ số độ uốn dọc φ vào độ mảnh λ

Trên cơ sở Hình 1 dựa theo bất đẳng thức (1) diện tích tiết diện thanh chịu nén với dạng tiết diện bất kỳ của kết cấu phụ thuộc vào độ mảnh λ có dạng Hình 2.



Hình 2. Sự phụ thuộc diện tích tiết diện A1 thanh chịu nén vào độ mảnh λ

Trên Hình 2 thấy rằng diện tích tiết diện thanh chịu nén tăng lên theo sự tăng của độ mảnh λ , khi đó giá trị nhỏ nhất chính là $A_{\min} = \frac{N}{\Phi \varphi R_n}$ khi độ mảnh gần bằng 0, tức là hệ số độ uốn dọc có giá trị lớn nhất.

Độ mảnh λ của thanh chịu nén trong thực tế có thể gần bằng 0 chỉ trong 2 trường hợp: khi chiều

dài $l_0 \rightarrow 0$ và khi bán kính quán tính $r = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \infty$.

Trường hợp đầu tiên không có ý nghĩa thực tế: chiều dài của thanh rất ngắn, khi đó rõ ràng là không xuất hiện sự mất ổn định. Trường hợp thứ 2 tương ứng với điều kiện lựa chọn tiết diện ngang để cho diện tích A là nhỏ nhất tương ứng với giá trị moment quán tính I lớn nhất trên cơ sở bảo đảm về độ ổn định cục bộ của các thanh chịu nén.

Khi tính diện tích A1 theo bất đẳng thức 1 chỉ phụ thuộc độ mảnh của thanh, nhưng không chịu ảnh hưởng bởi dạng tiết diện ngang của nó. Diện tích tổng A2 của thanh của kết cấu bất kỳ luôn bằng tổng các diện tích của những hình chữ nhật của nó

$$A_2 = \sum b_i \delta_i \quad (2)$$

Trong đó b_i – chiều rộng hoặc chiều cao của thanh thứ i ; δ_i – chiều dày.

Ta đưa ra hệ số tương đối của chiều dày vào chiều rộng $k_i = \frac{\delta_i}{b_i}$ theo điều kiện đảm bảo sự ổn định cục bộ và sử dụng như một trong những kích thước cơ bản của tiết diện và có thể thể hiện dưới dạng

$$\begin{aligned} A_2 &= \sum b_i \delta_i = b_1^2 \frac{\delta_1}{B_1} + b_2^2 \frac{\delta_2}{B_2} + \dots + b_n^2 \frac{\delta_n}{B_n} \\ &= b_1^2 k_1 + b_2^2 k_2 + \dots + b_n^2 k_n = b_1^2 \sum \frac{b_i^2}{b_1^2} k_i = K b_1^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Trong công thức (3) hệ số $K = \sum \frac{b_i^2}{b_1^2} k_i$ cho thấy liên hệ giữa diện tích tiết diện ngang của thanh có dạng bất kỳ với bình phương kích thước cơ bản của nó.

Đối với tiết diện ngang có hoặc có thể tìm ra hệ số không thứ nguyên α liên quan tới giá trị nhỏ nhất của bán kính quán tính $r_{\min}$ với kích thước cơ bản b (chiều cao, rộng hoặc là đường kính):

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \alpha b \quad (4)$$

Với $I_{\min}$ – giá trị nhỏ nhất của moment quán tính tiết diện ngang thanh; A – diện tích tiết diện ngang.

Giữa bán kính quán tính và chiều dài l_0 và độ

mảnh lớn nhất của thanh $\lambda_{\max}$ có mối liên hệ sau:

$$r_{\min} = \frac{l_0}{\lambda_{\max}} \quad (5)$$

Từ đó chúng ta có sự phụ thuộc kích thước cơ bản b của tiết diện thanh chịu nén với kết cấu bất kì vào độ mảnh λ của nó:

$$b = \frac{l_0}{\alpha \lambda_{\max}} \quad (6)$$

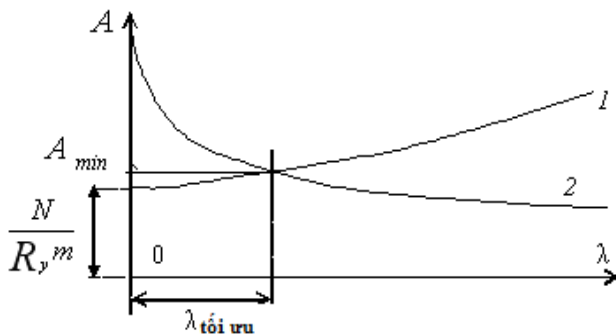
Từ (3) và (6) có thể biểu diễn diện tích A_2 dưới dạng sau:

$$A_2 = K b_1^2 = K \left(\frac{l_0}{\alpha \lambda_{\max}} \right)^2 = \frac{K}{\alpha^2} \left(\frac{l_0}{\lambda_{\max}} \right)^2 = \beta \left(\frac{l_0}{\lambda_{\max}} \right)^2 \quad (7)$$

$$\text{Với } \beta = \frac{K}{\alpha^2} \quad (8)$$

Trong công thức (7) hệ số không thứ nguyên β thể hiện sự ảnh hưởng của tiết diện thanh chịu nén và điều kiện bảo đảm ổn định cục bộ của nó tới tổng diện tích tiết diện. Từ đó có kết luận sau: diện tích tiết diện thanh chịu nén đúng tâm và nén lệch tâm, được xác định theo điều kiện đảm bảo độ mảnh nhất định, tỉ lệ nghịch với bình phương độ mảnh đó.

Trong nghiên cứu [10] đã đưa ra sự kết hợp phương trình (7) cùng với bất đẳng thức (1) Để đưa ra biểu đồ xác định độ mảnh tối ưu:



Hình 3. Biểu đồ phụ thuộc diện tích tiết diện thanh chịu nén vào độ mảnh λ theo điều kiện: 1- Ổn định tổng thể của thanh, không liên quan tới dạng tiết diện ngang, 2- Ổn định cục bộ cũng như tổng thể của thanh có tính tới dạng tiết diện ngang.

Trên Hình 3 phần nằm cao hơn hoành bằng đường 1 và 2 đó chính là vùng an toàn, như vậy dễ dàng nhận thấy điểm giao nhau của 2 đường đồ thị chính là điểm mà độ mảnh λ , mà với độ mảnh đó diện tích tiết diện thanh có giá trị nhỏ nhất thỏa

mãn các điều kiện (1) và (7). Giá trị độ mảnh đây gọi là tối ưu.

2. Nguyên lý tối ưu về độ mảnh của các thanh chịu nén đúng tâm và lệch tâm

Để đưa ra nghiên cứu về độ mảnh của các thanh chịu nén, trong nghiên cứu [10] đã đưa ra khái niệm độ mảnh tối ưu λ_{opt} có thể tính bằng cách giải phương trình (8), tương ứng với điều kiện $A_1 = A_2$:

$$\frac{N}{\Phi \Phi R_n} = \beta \left(\frac{l_0}{\lambda} \right)^2 \quad (9)$$

Khi giải phương trình (8) có thể sử dụng bảng hoặc phân tích sự phụ thuộc Φ vào λ .

Phương trình (8) – điều kiện để nhận được giá trị độ mảnh tối ưu λ của thanh chịu nén, khi đó tiết diện ngang của nó có diện tích nhỏ nhất và thỏa mãn các điều kiện ổn định tổng thể và cục bộ.

Khi chia vế phải và vế trái của phương trình (8) cho $\frac{N}{\Phi \Phi R_n}$ nhận được nguyên lý (10), điều kiện để tìm độ mảnh tối ưu

$$\frac{\beta l_0^2 \Phi R_n \Phi}{N \lambda^2} = 1 \quad (10)$$

Giá trị của độ mảnh λ với các thông số l_0, N, R_c , hệ số β tìm được và hệ số sức kháng Φ được lấy từ các tiêu chuẩn thiết kế và thỏa mãn nguyên lý (9) thì khi đó độ mảnh λ chính là độ mảnh tối ưu.

Từ nguyên lý (10) suy ra rằng độ mảnh tối ưu λ_{opt} của thanh được xác định phụ thuộc vào các thông số đầu vào bắt buộc của bài toán thiết kế đó là (l_0, N, R) và không cần phải lựa chọn ngẫu nhiên các thông số này nếu như kĩ sư thiết kế đang tìm kiếm một giải pháp kết cấu sao cho thanh chịu nén đúng tâm và lệch tâm với tiết diện ngang nhỏ nhất.

3. Xác định hệ số β của ống thép nhồi bê tông (CFST) chịu nén

Để thuận tiện cho việc xác định độ mảnh tối ưu λ_{opt} , có thể thể hiện công thức (10) thành:

$$\frac{\lambda^2}{\Phi} = \frac{\beta l_0^2 \Phi R_n}{N} \quad (11)$$

Như vậy giá trị độ mảnh λ_{opt} tối ưu của thanh chịu nén phụ thuộc vào các tham số không thứ

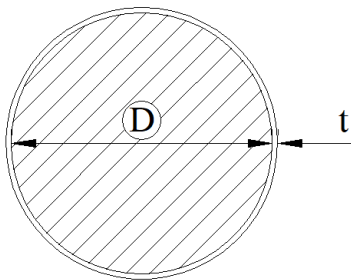
nguyên:

$$T_{\lambda} = \frac{\beta I_0^2 \Phi R_n}{N} \quad (12)$$

Trong các dự án xây dựng hiện nay, các dạng mặt cắt ngang của ống thép nhồi bê tông khá đa dạng, tuy nhiên có thể xem xét 2 dạng mặt cắt ngang đặc trưng là mặt cắt hình tròn và hình chữ nhật

3.1. Xác định hệ số β của ống thép nhồi bê tông hình tròn

Trên Hình 4 thể hiện tiết diện ngang cột ống thép nhồi bê tông có tiết diện hình tròn



Hình 4. Tiết diện ngang cột ống thép nhồi bê tông hình tròn

Diện tích của tiết diện quy đổi sang bê tông:

$$\begin{aligned} A &= A_b + A_s \frac{E_s}{E_b} = \frac{\pi D^2}{4} + \left(\frac{\pi (D+2t)^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4} \right) \frac{E_s}{E_b} \\ &= \frac{\pi D^2}{4} \left[1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^2 - 1 \right) n_s \right] \end{aligned} \quad (13)$$

Với $n_s = \frac{E_s}{E_b}$ Khi đó đặt

$$K = \frac{\pi}{4} \left[1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^2 - 1 \right) n_s \right] \quad (14)$$

Moment quán tính của mặt cắt được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} I_x = I_y &= \frac{\pi D^4}{64} + \left(\frac{\pi (D+2t)^4}{64} - \frac{\pi D^4}{64} \right) \frac{E_s}{E_b} \\ &= \frac{\pi D^4}{64} \left[1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^4 - 1 \right) n_s \right] \end{aligned} \quad (15)$$

Bán kính quán tính của tiết:

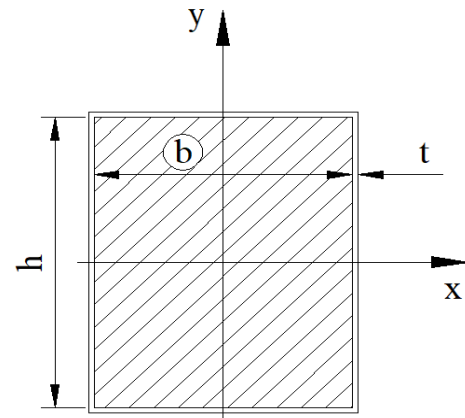
$$= \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \frac{D}{4} \sqrt{\frac{1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^4 - 1 \right) n_s}{1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^2 - 1 \right) n_s}} \quad (16)$$

Khi đó các tham số tính theo công thức sau:

$$\alpha = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^4 - 1 \right) n_s}{1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^2 - 1 \right) n_s}} \quad (17)$$

$$\beta = \frac{K}{\alpha^2} = 4\pi \frac{\left(1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^2 - 1 \right) n_s \right)^2}{1 + \left(\left(1 + \frac{2t}{D} \right)^4 - 1 \right) n_s} \quad (18)$$

3.2. Xác định hệ số β của ống thép nhồi bê tông hình chữ nhật



Hình 5. Tiết diện ngang của ống thép nhồi bê tông hình chữ nhật

Diện tích của tiết diện (Hình 5) quy đổi sang

bê tông:

$$\begin{aligned} A &= A_b + A_s \frac{E_s}{E_b} \\ &= bh + ((b+2t)(h+2t) - bh) \frac{E_s}{E_b} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} &= bh + (2bt + 2th + 4t^2) n_s \\ &= h^2 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right] \end{aligned}$$

$$K = \left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \quad (20)$$

Mô men quán tính của tiết diện này tương ứng với trục X và Y được thể hiện ở các công thức sau:

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} bh^3 + \left(\frac{1}{12} (b+2t)(h+2t)^3 - \frac{1}{12} bh^3 \right) \frac{E_s}{E_b} \\ &= \frac{1}{12} bh^3 + \left(\frac{1}{12} (b+2t)(h+2t)^3 - \frac{1}{12} bh^3 \right) n_s \\ &= \frac{h^4}{12} \left[\frac{b}{h} (1 - n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s \right] \end{aligned} \quad (21)$$

$$I_y = \frac{h^4}{12} \left[\left(\frac{b}{h} \right)^3 (1-n_s) + \frac{(h+2t)^3}{h^4} n_s \right] \quad (22)$$

Bán kính quán tính của tiết diện tương ứng với trục X và Y phụ thuộc vào kích thước cơ bản thể hiện công thức sau:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{h^4}{12} \left[\frac{b}{h} (1-n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s \right]}{h^2 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]}}$$

$$= h \sqrt{\frac{\frac{b}{h} (1-n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s}{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]}} \quad (23)$$

$$r_y = h \sqrt{\frac{\left(\frac{b}{h} \right)^3 (1-n_s) + \frac{(h+2t)^3}{h^4} n_s}{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]}} \quad (24)$$

Khi đó các tham số tính theo công thức sau:

$$\alpha_x = \sqrt{\frac{\frac{b}{h} (1-n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s}{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]}} \quad (25)$$

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{\left(\frac{b}{h} \right)^3 (1-n_s) + \frac{(h+2t)^3}{h^4} n_s}{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]}} \quad (26)$$

$$\beta_x = \frac{K}{\alpha_x^2} = \frac{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]^2}{\frac{b}{h} (1-n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s} \quad (27)$$

$$\beta_y = \frac{K}{\alpha_y^2}$$

$$= \frac{12 \left[\left(\frac{b}{h} \right) + \left(\frac{2bt}{h^2} + \frac{2t}{h} + \frac{4t^2}{h^2} \right) n_s \right]^2}{\left(\frac{b}{h} \right)^3 (1-n_s) + \frac{(h+2t)^3}{h^4} n_s} \quad (28)$$

Tỉ lệ giữa chiều rộng b với chiều cao h, cũng như chiều dày t với chiều cao h có thể lấy dựa theo các điều kiện ổn định theo các tiêu chuẩn hiện

hành. Chúng ta biết rằng đối với kết cấu thép nếu liên kết giữa hai phương khác nhau thì người ta chế tạo sao cho độ mảnh theo hai phương phải tương đương nhau tức là

$$\frac{L_{0x}}{r_x} = \frac{L_{0y}}{r_y} \quad (29)$$

Trong đó L_{0x} , L_{0y} – tương ứng với chiều dài thanh tính toán tương ứng với trục X và Y.

Từ đó có phương trình theo tỉ lệ b/h:

$$\frac{L_{0x}}{L_{0y}} = \frac{r_x}{r_y} = \frac{\alpha_x}{\alpha_y}$$

$$= \frac{\frac{b}{h} (1-n_s) + \left(\frac{b+2t}{h} \right) \left(1 + \frac{2t}{h} \right)^3 n_s}{\left(\frac{b}{h} \right)^3 (1-n_s) + \frac{(h+2t)^3}{h^4} n_s} \quad (30)$$

4. Xác định kích thước tối ưu của thanh chịu nén theo độ mảnh

Từ (1) thì diện tích cần thiết tiết diện ống thép nhồi bê tông chịu nén theo điều kiện ổn định được xác định theo công thức sau:

$$N \leq \phi R_f A_1 \quad (31)$$

Trong đó $R_f = \phi R_n$ là sức kháng tính toán.

Như vậy công thức (15) đối với trường hợp thanh chịu nén là ống thép nhồi bê tông có thể được thể hiện dưới dạng:

$$N \leq \phi R_b A_b \left(1 + \frac{R_s A_s}{R_b A_b} \right) = \phi R_b A_b (1 + m \mu_s) \quad (32)$$

Với $m = R_s / R_b$, $\mu_s = A_s / A_b$. Trong đó R_b – cường độ chịu nén của bê tông, R_s – Cường độ chịu nén của thép.

Khi đó diện tích tiết diện A_{1b} của thanh phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$A_{1b} \leq \frac{N}{\phi R_b (1 + m \mu_s)} \quad (33)$$

Khi đó diện tích A_2 của thanh theo độ mảnh λ như đã trình ở công thức (7).

Khi độ mảnh λ là tối ưu khi $A_{1b} = A_2$:

$$\beta \left(\frac{l_0}{\lambda} \right)^2 = \frac{N}{\phi R_b (1 + m \mu_s)} \quad (34)$$

Từ (34):

$$\frac{\lambda^2}{\phi} = \frac{\beta l_0^2 R_b (1 + m \mu_s)}{N} \quad (35)$$

Như vậy giá trị độ mảnh λ_{opt} tối ưu của thanh chịu nén phụ thuộc vào các tham số không thứ nguyên:

$$T_{\lambda} = \frac{\beta I_0^2 R_b (1 + m \mu_s)}{N} \quad (36)$$

Đây là phương trình tổng quát đối với kết cấu ống thép nhồi bê tông bất kỳ chịu nén đúng tâm và nén lệch tâm. Việc giải phương trình này cho phép xác định chính xác độ mảnh λ_{opt} và khi đó diện tích mặt cắt ngang là nhỏ nhất.

Biểu đồ Hình 6 thể hiện sự phụ thuộc độ mảnh tương đương tối ưu vào tham số không thứ nguyên OPT đối với ống thép nhồi bê tông, chịu nén lệch tâm (nén uốn), mặt phẳng tác dụng của mômen trùng với mặt phẳng đối xứng. được xây dựng bằng cách giải phương trình (34) với 5 giá trị độ lệch tâm m và khoảng giá trị OPT từ 1-10.

Từ Hình 6 ta nhận thấy, khi tăng giá trị của tham số không thứ nguyên OPT thì giá trị của độ mảnh tương đương tối ưu $\bar{\lambda}_{\text{opt}}$ tăng, và tốc độ tăng của độ mảnh tương đương tối ưu giảm dần, nó có tốc độ tăng cao nhất trong khoảng từ 1-10, Xu hướng này phù hợp với các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đã được công bố đối với cấu kiện CFST chịu nén lệch tâm [11, 12]. Ngoài ra ta nhận thấy rằng khi giá trị độ lệch tâm tương đối tính

đổi ngược thì giá trị của độ mảnh tương đương tối ưu $\bar{\lambda}_{\text{opt}}$ giảm, phản ánh ảnh hưởng bất lợi của mômen uốn đối với khả năng ổn định tổng thể của cấu kiện [13, 14].

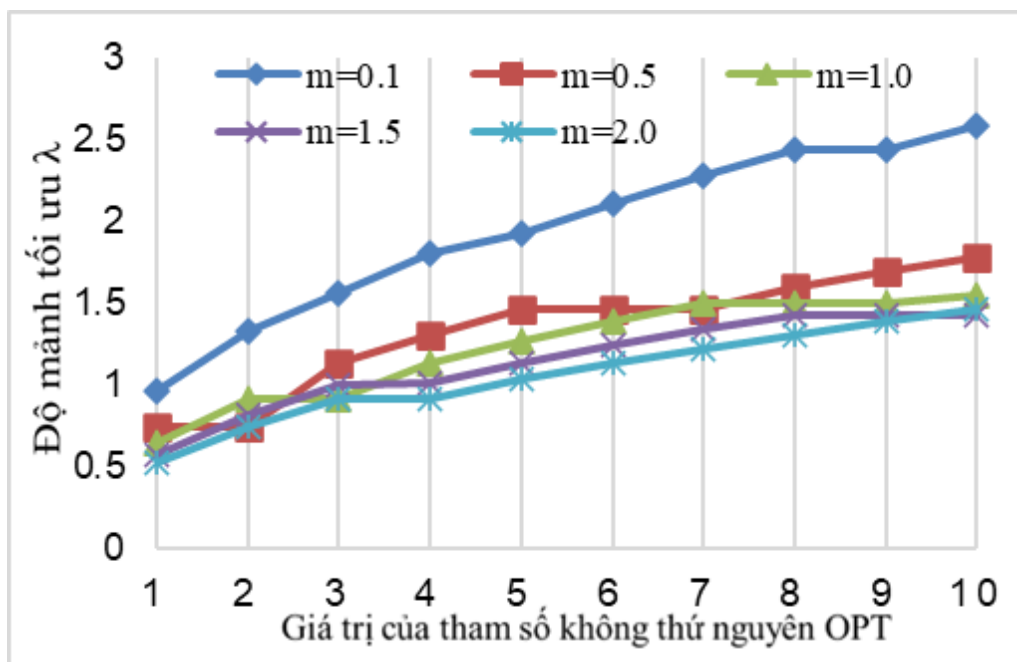
Phương trình (34) và biểu đồ độ mảnh tương đương tối ưu $\bar{\lambda}_{\text{opt}}$ trên hình 5 cho phép từ những tham số thiết kế ban đầu (N, I_0, R_y) và giá trị β tìm được bằng phương pháp trình bày ở mục 3 ta có diện tích tiết diện ngang nhỏ nhất của thanh thép chịu nén đúng tâm và nén lệch tâm [15].

5. Kết luận

Từ công thức (7) ta nhận thấy rằng diện tích A_2 tiết diện ngang của thanh chịu nén tỉ lệ thuận với độ dài thanh tính toán và hệ số dạng kết cấu của thanh β .

Độ mảnh tối ưu của thanh chịu nén có thể được xác định theo phương trình phi tuyến (10) bằng cách sử dụng tham số không thứ nguyên OPT mà tham số này được tính toán dựa trên các thông số đầu vào R , chiều dài thanh l_0 , hệ số kết cấu β và lực nén N .

Việc sử dụng độ mảnh tối ưu λ_{opt} cho phép việc lựa chọn tiết diện ngang ban đầu của thanh trở nên dễ dàng hơn, giúp các kỹ sư có thể định hình được kích thước nhỏ nhất thỏa mãn điều kiện ổn định trong tính toán thanh chịu nén.



Hình 6. Sự phụ thuộc độ mảnh tối ưu của ống thép nhồi bê tông vào tham số không thứ nguyên OPT

Tài liệu tham khảo

- [1]. T. Chủng, N.Đ. Cống. (2010). Nghiên cứu ứng dụng kết cấu vòm ống thép nhồi bê tông trong xây dựng cầu nhịp lớn ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 4, 15–22.
- [2]. N.Đ. Cống, T. Chủng. (2012). Kết cấu ống thép nhồi bê tông và ứng dụng trong xây dựng cầu. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [3]. Y.B. Chen, J. Nie and J.Q. Wang (2011). Mechanical behavior and design considerations of concrete-filled steel tube arch bridges. *Engineering Structures*, 33(5), 1460–1470.
- [4]. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2020). AASHTO LRFD. Bridge Design Specifications 9th Ed.
- [5]. EUROPEAN STANDARD. (1994). Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures.
- [6]. ACI Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- [7]. Bộ Khoa học và Công nghệ. (2024). Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5575-2024. Thiết kế kết cấu thép.
- [8]. L. Euler. (1744). *De curvis elasticis*. Lausanne and Geneva. The Euler formula was derived in a later paper, “Sur la force de colonnes,” published 1759 in the *Memoires de V Academie de Barlin*.
- [9]. Н.С. Стрелецкий. (1975). Избранные труды. Стройиздат. Москва.
- [10]. П.М. Саламахин (1977). Метод обобщения закономерностей веса несущих конструкций. Изд. ВИА.
- [11]. Y.B. Chen, J. Nie and J.Q. Wang (2011). Mechanical behavior and design considerations of concrete-filled steel tube arch bridges. *Engineering Structures*, 33(5), 1460–1470.
- [12]. J. Schneider (1998). Axially loaded concrete-filled steel tubes. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 124(10), 1125–1138.
- [13]. L.H. Han, G.H. Yao and Z. Tao (2007). Performance of concrete-filled steel tubular columns under cyclic loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(1), 46–62.
- [14]. L.H. Han and Y.F. Yang. (2005). Concrete-filled steel tube columns subjected to eccentric loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(8), 1183–1204.
- [15]. Bộ Giao thông vận tải. (2017). Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ – TCVN 11823:2017. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.