

Tính toán ổn định tổng thể dầm thép tiết diện chữ I theo tiêu chuẩn TCVN 5575: 2012 và AISC 360-10

Study on lateral torsional buckling of the steel I-beam by vietnamese standard TCVN 5575: 2012 and american standard AISC 360-10

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG^{1*}; THS VÕ NHẬT TIẾN¹

¹Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang

*Email: nguyenngocthang@tgu.edu.vn

THS NGUYỄN HOÀI SƠN²

²BQLDA và Phát triển Quỹ đất huyện Chợ Gạo, tỉnh Tiền Giang

TÓM TẮT

Kết cấu thép là kết cấu thanh mảnh, bề dày của chúng nhỏ hơn so với bề rộng, dẫn đến kết cấu thép dễ bị mất ổn định. Tính mất ổn định trong kết cấu thép là nguyên nhân phá hoại chính. Theo tiêu chuẩn TCVN 5575: 2012 quy định về thiết kế kết cấu thép thì phần quy định liên quan đến mất ổn định là chiếm chủ yếu. Tuy nhiên việc sử dụng kết cấu thép trong ngành xây dựng dân dụng, công nghiệp hiện nay đang phát triển, việc nghiên cứu tìm hiểu về tiêu chuẩn một số nước như AISC, BS5950, Eurocode là rất cần thiết. Trong đó, tiêu chuẩn Mỹ AISC quy định chi tiết và có nhiều ví dụ thiết kế giúp cho người kỹ sư dễ hiểu và áp dụng. Bài báo nghiên cứu tính toán ổn định của dầm thép tiết diện chữ I theo tiêu chuẩn Việt Nam 5575: 2012 và tiêu chuẩn của Mỹ AISC 360-10.

Từ khóa: Kết cấu thép; ổn định tổng thể; phương pháp LRFD; dầm chữ I

ABSTRACT

Steel structures are slender structures, their thickness is small compared to the width. Leading to structural steel is prone to instability. Instability in steel structures is the main cause of sabotage. According to the standard TCVN 5575: 2012, which prescribes steel structure design, the provisions related to instability account for the majority. However, the process of globalization is developing rapidly, the demand for using steel structures in the construction industry is strongly developed, leading to research and study on foreign standards such as AISC, BS5950, Eurocode is very necessary. In particular, the American Standard AISC specifies in detail and there are many design examples that help engineers understand and apply. This paper study on the Lateral Torsional Buckling of the steel I-beam according to Vietnamese Standard TCVN 5575: 2012 and American Standard AISC 360-10.

Keywords: Steel structures; lateral Torsional Buckling; LRFD method; I-beam

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, việc thiết kế kết cấu thép có thể được thực hiện dựa trên nhiều tiêu chuẩn khác nhau, do quá trình toàn cầu hóa nhanh chóng. Người chủ trì thiết kế kết cấu thép có thể sử dụng kết hợp nhiều loại tiêu chuẩn để nghiên cứu thiết kế. Do đó các kỹ sư thiết kế phải áp dụng một tiêu chuẩn cho loại vật liệu nhất định. Tiêu chuẩn TCVN 5575: 2012 [1] và AISC 360-10 [2] nói về việc thiết kế kết cấu thép, nội dung của hai tiêu chuẩn này có nhiều điểm tương đồng và khác biệt trong ứng dụng.

Vũ Quốc Anh và Vũ Quang Duẩn (2015) đã có nghiên cứu tính xoắn dầm thép chữ H bằng biểu đồ theo quy phạm Mỹ AISC [3]. Kết quả nghiên cứu cho thấy theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện chưa có chỉ dẫn cụ thể về việc tính toán dầm chịu xoắn, do đó việc áp dụng quy trình tính toán dầm chịu xoắn theo quy phạm AISC là

cần thiết và có ý nghĩa thực tế trong công tác thiết kế công trình thép.

Huỳnh Minh Sơn (2004) đã có thực hiện nghiên cứu so sánh áp dụng tiêu chuẩn AISC/ASD (Mỹ) với tiêu chuẩn TCVN 5575-91 (Việt Nam) để kiểm tra ổn định cục bộ dầm thép bản tổ hợp [4]. Tác giả đã kết luận rằng theo TCVN thì việc tính toán ổn định cục bộ khắc khe hơn khi chỉ cần cánh hay bụng mất ổn định cục bộ là xem như mất bền và theo tiêu chuẩn AISC/ASD chỉ bỏ qua phần bụng oằn, phần còn lại phân phối lại ứng suất và cho phép tăng chiều dày cánh để giảm ứng suất cắt cho bụng mà không cần tăng bề dày bản bụng và bố trí sườn gia cường.

Lê Văn Duy (2013) đã kiến nghị với nhiều ưu điểm công trình thép đang ngày càng phát triển ở Việt Nam về ảnh hưởng của xoắn lên cấu kiện thép là không thể tránh khỏi và không thể bỏ

qua trong tính toán [5]. Do đó cần sớm đưa bài toán phân tích xoắn vào tiêu chuẩn hoặc chưa có điều kiện thì cần một chỉ dẫn tính toán để thuận lợi cho các kỹ sư thiết kế.

Trần Thoại (2011) đã tính toán ổn định của dầm thép tiết diện chữ I không đối xứng theo tiêu chuẩn Eurocode 3 và đưa ra kiến nghị về tiết diện dầm chữ I không đối xứng khó chế tạo định hình, nhưng khi được nghiên cứu tiết diện hợp lý sẽ thích hợp làm dầm đỡ trong các công trình nhà cao tầng [6].

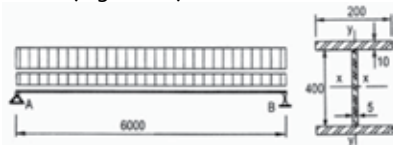
Trong báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp đại học Đà Nẵng của Trần Quang Hưng (2016) về tính toán ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện chữ I với chiều cao tiết diện thay đổi tuyến tính [7]. Đây là hình thức cấu kiện khá phổ biến trong kết cấu nhà thép công nghiệp và dân dụng. Việc tính toán thực tế gặp nhiều khó khăn do chưa có quy định cụ thể về vấn đề này, kể cả trong tiêu chuẩn tính toán và tài liệu hướng dẫn về kết cấu thép. Đề tài đã trình bày được sơ lược phương pháp phần tử hữu hạn áp dụng trong trường hợp này, trong đó chú trọng đến dùng phần tử tấm để mô phỏng dầm, đề tài đã xây dựng được các biểu đồ và công thức gần đúng, xác định nhanh mômen giới hạn đàn hồi của dầm tiết diện thay đổi dựa vào dầm tiết diện không đổi có chiều cao $h = h_{\max}$. Để xây dựng được dữ liệu đầy đủ hơn thì cần thêm nhiều tính toán khác. Kết quả của đề tài này có thể hoàn thiện thêm để làm tài liệu chỉ dẫn thiết kế kết cấu thép nhà dân dụng và công nghiệp.

H. Ronagh và M.A. Bradford (1994) đã phát triển mô hình gần đúng dùng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán ổn định của dầm tiết diện chữ I có chiều cao thay đổi, trong đó có xét đến lực nén và ảnh hưởng của tỉ số diện tích cánh và bụng dầm [8]. Tác giả dùng phần tử thanh thuần túy nên đơn giản được bài toán nhưng chưa xét đến hết các vấn đề khác liên quan đến cấu tạo tiết diện, vị trí tải trọng.

A.B. Benyamina (2013) đã tìm lời giải giải tích và phương pháp số mô hình một cách khá toàn diện, nghiên cứu này chỉ áp dụng cho dầm đơn giản chịu tải phân bố [9]. Liliana Marques đã tổng hợp các nghiên cứu và khảo sát số để đề xuất một số vấn đề khi thiết kế dầm chữ I có tiết diện thay đổi [10]. A. Andrade đã khảo sát dầm tiết diện thay đổi trong đó bụng dầm được bố trí các điểm cố kết ngoài mặt phẳng để chống lật bằng mô hình các thanh cố kết bằng các liên kết tương đương [11].

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Dầm chữ I có kích thước như hình 1, chịu lực phân bố đều với tĩnh tải là $W_0 = 10 \text{ kN/m}$ và hoạt tải là $W_L = 16 \text{ kN/m}$. Thép có $F_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$. Sử dụng tiết diện I 420x200x5x10.



Hình 1. Mô hình dầm chữ I

2.1. Các thông số tính toán

Diện tích tiết diện: $A = 2b_f t_f + h_w t_w = 2 \times 20 \times 1 + 40 \times 0,5 = 60 \text{ cm}^2$

Mô đun chống uốn dẻo quanh trục x:

$$Z_x = 22x \left[20 \times 1 \times 20,5 + 20 \times 0,5 \times 10 \right] = 1020 \text{ cm}^3$$

Moment quán tính của tiết diện theo trục x:

$$I_x = 2x \left(\frac{20 \times 1^3}{12} + 20 \times 1 \times 20,5^2 \right) + \frac{0,5 \times 40^3}{12} = 19480 \text{ cm}^4$$

Moment chống uốn đàn hồi của tiết diện theo trục x:

$$W_x = \frac{19480}{21} = 928 \text{ cm}^3$$

Moment quán tính của tiết diện theo trục y:

$$I_y = \frac{2 \times 1 \times 20^3}{12} + \frac{40 \times 0,5^3}{12} = 1334 \text{ cm}^4$$

Bán kính quán tính của tiết diện quanh trục y:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1334}{60}} = 4,72 \text{ cm}$$

Moment quán tính xoắn của tiết diện:

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{(2 \times 20 \times 1^3 + 40 \times 0,5^3)}{3} = 15 \text{ cm}^4$$

$$\text{Hằng số vênh của tiết diện } \Gamma = \frac{I_y h_0}{4} = \frac{1334 \times 41^2}{4} = 560614 \text{ cm}^6$$

$$\text{Moment dẻo của cấu kiện } M_p = F_y Z_x = 34,5 \times 1020 = 35190 \text{ kNm}$$

Moment lớn nhất của tiết diện $M_{\max}$

$$M_{\max} = \frac{q l^2}{8} = \frac{(1,2 \times 10 + 1,6 \times 16) \times 6^2}{8} = 169,2 \text{ kNm}$$

2.2. Tính toán ổn định tổng thể theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575: 2012

Ổn định tổng thể dầm tiết diện chữ I có hai trục đối xứng:

$$\frac{M_{\max}}{\phi_b W_c} \leq f \gamma_c$$

Trong đó F là cường độ tính toán chịu kéo, chịu nén của thép,

$$f = \frac{F_y}{\gamma_m} = \frac{34,5}{1,1} = 31,36 \text{ kN/cm}^2$$

ϕ : hệ số ổn định tổng thể

$$\alpha = 8 \left(\frac{l_0 t_f}{h_{fk} b_f} \right)^2 \left(1 + \frac{a t_w^3}{b_f t_f^3} \right) = 8 \left(\frac{600 \times 2}{41 \times 20} \right)^2 \left(1 + \frac{20,5 \times 0,5^3}{20 \times 2^3} \right) = 17,41$$

Do $\alpha = 17,41$, từ điều kiện $0,1 < \alpha < 40$, theo yêu cầu dầm chịu tải trọng phân bố đều, không có cổ kết và tải trọng được đặt ở cánh trên của dầm: $\Psi = 1,6 + 0,08\alpha = 1,6 + 0,08 \times 17,41 = 2,993$

$$\phi_1 = \Psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h}{l_0} \right)^2 \frac{E}{f} = 2,993 \times \frac{1334}{19480} \times \left(\frac{42}{600} \right)^2 \times \frac{20000}{31,36} = 0,64$$

Điều kiện $\phi_1 < 0,85$ thì $\phi_b = \phi_1 = 0,64$

Kiểm tra ổn định tổng thể:

$$\frac{M}{\phi_b W_c} = \frac{169,2 \times 100}{0,64 \times 928} = 28,48 \text{ kN/cm}^2 \leq f \gamma_c = 31,36 \times 0,95 = 29,792 \text{ kN/cm}^2$$

Vậy dầm thỏa mãn điều kiện ổn định tổng thể.

2.3. Tính toán ổn định tổng thể theo tiêu chuẩn AISC 360-10:

Xét các điều kiện của bản bụng và của bản cánh:

Bản bụng:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w} = \frac{40}{0,5} = 80 < \lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53$$

: Bụng đặc chắc

Bản cánh:

$$\lambda_f = \frac{h_f}{2 t_f} = \frac{20}{2 \times 1} = 10 < \lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 9,15$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h_w}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{40}{0,5}}} = 0,45 \quad (\text{thỏa điều kiện } 0,35 < k_c < 0,76)$$

$$\lambda_w = 0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{0,7 F_y}} = 0,95 \times \sqrt{\frac{0,45 \times 20000}{0,7 \times 34,5}} = 18,34$$

Vậy cánh không đặc chắc $\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{wf}$

Xác định moment danh nghĩa M_n của dầm theo điều kiện ổn định cục bộ của dầm có bụng đặc chắc, cánh không đặc chắc nên

moment danh nghĩa M_n :

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

$$= \left[35190 - (35190 - 0,7 \times 34,5 \times 928) \times \left(\frac{10 - 9,15}{18,34 - 9,15} \right) \right]$$

$$= 34008 \text{ kNcm} = 340,08 \text{ kNm}$$

Xác định moment danh nghĩa M_n của dầm theo điều kiện ổn định tổng thể. Chiều dài dầm $L_b = 6\text{m} = 60\text{cm}$.

$$L_p = 17,6r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 17,6 \times 4,72 \times \sqrt{\frac{2000}{34,5}} = 200\text{cm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y \Gamma}{S_x}} = \sqrt{\frac{1334 \times 560614}{928}} = 5,43\text{cm}$$

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J}{S_x h_0}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y S_x h_0}{EJ} \right)^2}}$$

$$= 1,95 \times 5,43 \times \frac{2000}{0,7 \times 34,5} \sqrt{\frac{15}{928 \times 41}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times 34,5 \times 928 \times 41}{2000 \times 15} \right)^2}} = 523\text{cm}$$

Vì tải trọng tác dụng lên dầm phân bố đều nên biểu đồ moment có dạng đường cong bậc 02 với giá trị moment lớn nhất tại giữa dầm $M_{\max} = \frac{ql^2}{8}$ và moment tại các điểm cách hai gối tựa

1/4 là $M_{\max} = \frac{3ql^2}{32}$. Do vậy hệ số C_b xác định theo công thức sau:

$$C_b = \frac{12,5 \left(\frac{ql^2}{8} \right)}{2,5 \left(\frac{ql^2}{8} \right) + 6 \left(\frac{3ql^2}{32} \right) + 4 \left(\frac{ql^2}{32} \right)} = 1,14$$

Khi $L_b = 600\text{cm} > L_r = 523\text{cm}$ nên ứng suất tới hạn theo điều

kiện ổn định tổng thể: $F_{cr} = \frac{M_{cr}}{S_x} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$

$$h_0 = d - r_f = 42 - \frac{2 \times 1}{2} = 41\text{cm}$$

$$F_{cr} = \frac{1,14 \times 3,14^2 \times 2000}{\left(\frac{600}{5,43} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{15}{9,28} \left(\frac{600}{5,43} \right)^2} = 21,59\text{ kN/cm}^2$$

$$M_n = F_{cr} S_x = 21,59 \times 928 = 20038\text{ kNcm} = 200,39\text{ kNm}$$

M_n là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị M_n được xác định theo điều kiện ổn định cục bộ của cánh nén và điều kiện ổn định cục bộ tổng thể:

$$M_n = \min(340,08; 200,39) = 200,39\text{ kNm}$$

Kiểm tra điều kiện chịu uốn theo phương pháp LRFD: $M_u \leq \phi_b M_n$

$$M_u = 1,2D + 1,6L = (1,2 \times 10) \times \frac{6^2}{8} + (1,6 \times 16) \times \frac{6^2}{8} = 169,2\text{ kNm}$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \times 200,39 = 180,34\text{ kNm} > 169,2\text{ kNm}$$

Vậy dầm thỏa mãn điều kiện chịu uốn về tổng thể.

2.4. Nhận xét

Nguyên nhân mất ổn định tổng thể khi tăng tải trọng đến một giá trị nào đó thì dầm có thể bị cong vênh, chuyển vị ra ngoài mặt phẳng. Công thức tính M_{cr} cho giá trị moment tới hạn của dầm đơn giản tiết diện chữ I chịu uốn thuần túy. Giá trị moment tới hạn M_{cr} tỷ lệ thuận

với độ cứng chống uốn theo phương y (lateral bending stiffness EI_y), độ cứng chống xoắn của tiết diện (torsional stiffness GJ) và độ cứng chống vênh (warping stiffness E). Như vậy moment M_{cr} không phụ thuộc vào độ cứng theo phương x (EI_x) mặc dù tải trọng chỉ tác dụng theo phương x, do quá trình thiết kế về độ bền chỉ tính toán theo phương x nên khi xảy ra mất ổn định tổng thể cần phải xét thêm độ cứng theo phương y (EI_y), độ cứng chống xoắn (GJ) và độ cứng chống vênh (E). Đây là cơ sở để các tiêu chuẩn quy định trong việc thiết kế dầm tiết diện chữ I mất ổn định tổng thể.

Việc tính toán ổn định tổng thể giữa TCVN 5575: 2012 và Tiêu chuẩn AISC 360-10 đều phải tính toán các thông số đặc trưng hình học. Tuy nhiên theo tiêu chuẩn AISC 360-10 phải kiểm tra điều kiện bản cánh, bản bụng, độ bền danh nghĩa, hệ số Φ_b đã cho trước ($\Phi_b = 0,9$), sau đó tính toán ổn định tổng thể để so sánh với moment $M_{\max}$.

Trong khi đó, theo TCVN 5575:2012 việc tính toán ổn định tổng thể phải tính tham số φ_1 , Ψ , α bằng cách tra bảng đã cho sẵn trong tiêu chuẩn.

Về kết quả tính toán về ổn định tổng thể của dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều không có điểm cố kết, thì giá trị của tiêu chuẩn Việt Nam cho giá trị nhỏ hơn giá trị của tiêu chuẩn Mỹ.

3. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy cấu kiện chịu uốn thường là các dầm sàn có chiều cao tiết diện nhỏ, hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam cho kích thước tiết diện nhỏ hơn hệ thống tiêu chuẩn Hoa Kỳ và khi tính toán các cấu kiện khác đều phải gia cường các sườn ngang để đảm bảo về ổn định tổng thể.

Tính toán ổn định tổng thể của dầm thép tiết diện chữ I theo tiêu chuẩn Việt Nam khá đơn giản, trong đó hệ số Φ_b phụ thuộc vào vật liệu, cấu tạo dầm, tải trọng tác dụng. Trong một số trường hợp với tải trọng xác định có thể lập bảng tra sẵn để tiện dụng.

Thiết kế theo AISC 360-10 việc tính toán khả năng chịu uốn của cấu kiện trước tiên đã xét đến ảnh hưởng của điều kiện cục bộ tiết diện. Do đó quá trình tính toán phức tạp. Tuy nhiên thiết kế theo AISC 360-10 cho phép thiết kế các tiết diện có chiều cao lớn mà không phải gia cường các sườn. Điều này rất thuận tiện trong việc sản xuất tự động hóa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Xây dựng, "Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5575: 2012", Nhà Xuất bản Xây dựng 2012.
- [2] American Standard AISC 360-10, "Specification for Structural Steel Buildings", 2010.
- [3] Vũ Quốc Anh và Vũ Quang Dẫn, "Tính xoắn dầm thép chữ H bằng biểu đồ theo quy phạm Mỹ AISI", Tạp chí KHCN Xây dựng, 2015.
- [4] Huỳnh Minh Sơn, "So sánh áp dụng tiêu chuẩn AISI/ASD (Mỹ) với tiêu chuẩn TCVN 5575-91 (Việt Nam) để kiểm tra ổn định cục bộ dầm thép bản tổ hợp", Tạp chí KH&CN Đại học Đà Nẵng, 2004.
- [5] Lê Văn Duy, "Tính toán dầm thép tiết diện chữ I chịu xoắn theo tiêu chuẩn AISI", Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Xây dựng, 2013.
- [6] Trần Thoại "Tính toán ổn định của dầm thép tiết diện chữ I không đối xứng theo tiêu chuẩn Eurocode 3", Luận văn Thạc sỹ, 2011.
- [7] Trần Quang Hưng, "Nghiên cứu ổn định tổng thể của dầm thép có tiết diện thay đổi", Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ cấp Đại học Đà Nẵng, 2016.
- [8] H. Ronagh and M.A. Bradford, "Elastic distortional buckling of tapered I-beams", Engineering Structure, Volume 16, Number 2, 1994.
- [9] A. B. Benyamina, "Analytical solutions attempt for lateral torsional buckling of doubly symmetric webtapered I-beams. Engineering Structures 56, 2013.
- [10] Liliana Marques, "Development of a consistent design procedure for lateral-torsional buckling of tapered beams", Journal of Constructional Steel Research 89, 2013.
- [11] A. Andrade, "Elastic lateral-torsional buckling of restrained web-tapered I-beams", Computers and Structures 88, 2010.